



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CILT/VOLUME: 14

SAYI/NUMBER: 3

YIL/YEAR: 2024

$$\text{Arf}(q) = \sum_{i=1}^n q^{(a_i)g(b_i)} \in \mathbb{Z}_2$$

$a_i, b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$



EBSCO



TÜBİTAK

ULAKBİM  
TRIZIN



**Sahibi / Owner**

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK

Gümüşhane Üniversitesi Adına / *On the behalf of Gümüşhane University*

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief**

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

**Baş Editörler / Executive Editors**

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER

Öğr. Gör. Salih TÜRK

**Editörler / Editors**

Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ	Doç. Dr. Osman KOMUT
Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU	Dr. Öğr. Üyesi Bülent AKAR
Prof. Dr. Enver AKARYALI	Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA
Prof. Dr. Fatih DÖNER	Dr. Öğr. Üyesi M. Tuğçe TUNÇ ODABAŞ
Prof. Dr. Halil YOLCU	Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Prof. Dr. İbrahim TURAN	Dr. Öğr. Üyesi Samet TONYALI
Prof. Dr. Mehmet MERDAN	Dr. Öğr. Üyesi Şener ALİYAZICIOĞLU
Prof. Dr. Necati ÇELİK	Dr. Öğr. Üyesi Şeyda Merve KARATAŞ
Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ	Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK	Dr. İlker ERKAN
Doç. Dr. Fevzi TOPAL	Dr. Berna GENÇ
Doç. Dr. Nihan GÜNGÖR	Dr. Serdar KESKİN
Doç. Dr. Onur ARAZ	

**Yayın Türü / Publication Type**

Yaygın süreli ve hakemli/ *Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

15 / 09 / 2024



**Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

Abdelhai ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Abdon ATANGANA-Free State University  
Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.  
Abedallah RABABAH-Jordan Üni. Sci. and Tech.  
Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Afşin Ahmet KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.  
Alaaddin VURAL-Ankara Üniversitesi  
Ali Osman YILMAZ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Bahri BAYRAM-Atatürk Üniversitesi  
Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Biol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi  
Candan GÖKÇEĞLU-Hacettepe Üniversitesi  
Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi  
Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Charyyar Ashyralyyev- Bahçeşehir Üniversitesi  
Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University  
Coşkun GÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Eda Feyza AKYÜREK-Atatürk Üni.  
Elif Çelenk KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Emine TANIR KAYIKÇI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Emre AYDINÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Ferkan SİPAHİ-Gümüşhane Üniversitesi  
Fetullah ARIK-Konya Teknik Üniversitesi  
Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi  
Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi  
Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Hazan ALKAN AKINCI-Artvin Çoruh Üniversitesi  
Hilal YILDIZ-Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Hüseyin DEMİR-Samsun Üniversitesi  
Ilyas KHAN- Majmaah University  
İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
İlhan ÇELİK-Samsun Üniversitesi  
İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.  
İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi  
Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet  
Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni

Keewook YI-Korea Basic Science Institute  
Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni  
Kolade M. OWOLABİ-Federal Uni. of Technology  
Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Mehmet Tefik SEFEROĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Melih OKÇU-Atatürk Üniversitesi  
Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Konya Teknik Üniversitesi  
Muhammet M. KAHRAMAN-İstanbul Teknik Üni.  
Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üniversitesi  
Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi  
Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.  
Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.  
Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Okay ÇİMEN-Munzur Üniversitesi  
Osman ÜÇÜNCÜ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi  
Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi  
Rizwan Ul HAQ-Bahria University  
S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi  
Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Sunil PROHİT- Rajasthan Technical University  
Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU-Karadeniz Teknik Üni.  
Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi  
Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Yong WANG- University of Manchester  
Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi  
Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University  
Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.  
Zuhal OKCU-Atatürk Üniversitesi  
Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Emine Dilara KOÇAK Zehra YILDIZ Görkem YUMUŞAK	<b>Liken takviyeli, soya fasulyesi yağı esaslı kaplamaların geliştirilmesi ve tekstil uygulamaları</b> <i>Improvement of lichen reinforced soybean oil based coatings and their applications on textile</i>	<b>673</b>
Nilsu OĞULTEKİN Murat KORU	<b>Çok katmanlı cam sistemlerinin ısı performansının farklı parametrelere bağlı sayısal ve deneysel incelenmesi</b> <i>Numerical and experimental investigation of thermal performance of multilayer glass systems depending on different parameters</i>	<b>685</b>
Abdullah SAR	<b>Gülümuşağı (Malatya) çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı bazik magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri</b> <i>Petrographic and geochemical characteristics of Eocene (?) basic igneous rocks outcropping around Gülümuşağı (Malatya)</i>	<b>706</b>
Ismail Gokhan GURSOY Ozcan BEKTAS	<b>Sedeniyonik matrisler ve özellikleri</b> <i>Sedeniyonik matrisler ve özellikleri</i>	<b>721</b>
Cuma ZEHİROĞLU S. Beyza Ö. SARIKAYA	<b>Determination of synergic antioxidant interactions of Ellagic acid and chemotherapy drug (Docetaxel and Mitoxantron) combinations</b> <i>Elajik asit ve kemoterapi ilaç (Doksetaksel ve Mitoksantron) kombinasyonlarının sinerjik antioksidan etkileşimlerinin belirlenmesi</i>	<b>735</b>
S. Sinem ÖZYURT ÖKTEN Asuman AYSU KAPAN	<b>İskenderun örneğinde mevsimsel ölçümlere göre trafikten kaynaklanan gürültünün mekânsal analizi</b> <i>Spatial analysis of noise caused by traffic according to seasonal measurements in the Iskenderun example</i>	<b>751</b>
Ramazan İNCİR Mete YAĞANOĞLU Ferhat BOZKURT	<b>A study on effective feature extraction and genetic algorithm based feature selection method in fake news detection classification using machine learning approaches</b> <i>Makine öğrenimi yaklaşımları kullanılarak sahte haber tespiti sınıflandırmasında etkili özellik çıkarma ve genetik algoritma tabanlı özellik seçimi yöntemi üzerine bir çalışma</i>	<b>764</b>
Zafer CİNGİZ	<b>Titreşim ve gürültü verileri ile soğutma sistemindeki arızaların teşhisi</b> <i>Diagnosing faults in the refrigeration system with vibration and noise data</i>	<b>777</b>
Nermin TOPTAŞ Celal KARAMAN	<b>Myrmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) of Bozcaada Island of Türkiye</b> <i>Türkiye Bozcaada'nın karınca (Hymenoptera: Formicidae) faunası</i>	<b>793</b>
Orkun KANTARCI Hacı Alim BARAN Sadiye KANTARCI M. Tahir NALBANTÇILAR	<b>Nerdüş Deresi'nin (Şırnak) su kalitesine asfaltit ocaklarının etkisinin değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation of the impact of asphaltite mines on the water quality of Nerdüş Stream (Şırnak)</i>	<b>809</b>
Mehmet ÖZ Cemalettin BALTACI Muhammed Said FİDAN	<b>Investigation of aroma components obtained by HS-SPME (Headspace-solid phase microextraction) method of wild strawberry (<i>Fragaria vesca</i> L.) and strawberry (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) fruits</b> <i>Dağ çileği (<i>Fragaria vesca</i> L.) ve çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) meyvelerinin HS-SPME (Tepe boşluğu katı faz mikro ekstraksiyonu) yöntemi ile elde edilen aroma bileşenlerin araştırılması</i>	<b>824</b>
S. Berkutay DURSUN Sadık BAĞCI	<b>V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin fiziksel özelliklerinin ve süperiletkenlik mekanizmasının teorik olarak incelenmesi</b> <i>Theoretical Investigation of the physical properties and superconductivity mechanism of V<sub>3</sub>Ge compound</i>	<b>834</b>
Nur ÇOBANOĞLU Aziz KOLKIRAN	<b>Düşük maliyetli ve özel tasarım çift ışınlı optik cımbızın performans özellikleri</b> <i>The performance characteristics of low-cost and custom-designed dual beam optical tweezer</i>	<b>851</b>

Arzu FIRAT ERSOY Abdourazakou M. HASSAN	<b>Deniz suyu girişimi etkisinde bulunan yeraltısuyunda hidrojeokimyasal değişimin izlenmesi: arşamba akiferi (Samsun) rneği</b> <i>Monitoring hydrogeochemical change in groundwater under the influence of seawater intrusion: the case of arşamba aquifer (Samsun)</i>	<b>864</b>
Mehmet Safa ARSLAN Asım Oğuz ZEL	<b>Eskişehir havzasında H/V ve SPAC yntemleriyle sismik analiz ve derinlik profili çalışmaları</b> <i>Seismic Analysis and Depth Profile Studies Using H/V and SPAC Methods in the Eskişehir Basin</i>	<b>883</b>
Asiye USANMAZ Ahmet ERDOğAN Alper BARAN	<b>Effectiveness of acetic and citric acid against <i>Staphylococcus aureus</i> contamination in parsley and dill</b> <i>Maydanoz ve dereotunda <i>Staphylococcus aureus</i> kontaminasyonuna karşı asetik ve sitrik asitin etkinliği</i>	<b>910</b>
İbrahim AVUŐOęLU Hale IŞIK	<b>Bir kamu binasının binaların yangından korunması ynetmeliği çerçevesinde incelemesi: rnek bir uygulama</b> <i>Investigation of a public building from the viewpoint of the fire safety building regulations: A case study</i>	<b>919</b>
Hüseyin NAL Salih Hakan YETGİN Veysel Furkan NAL	<b>Poliamit 6/Mika kompozitlerin mekanik ve tribolojik performansına mika katkı oranının etkisi</b> <i>The effect of mica filler content on the mechanical and tribological performance of Polyamide-6/Mica composites</i>	<b>936</b>
Abdussamed BALKAN Gksu GREL	<b>Gneş enerji santrallerinde PV*SOL yazılımının gvenilirliğinin değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation of the reliability of PV*SOL software in solar power plants</i>	<b>949</b>
Engin GNDOğDU	<b>Determination of physicochemical and antioxidant properties of icecream produced with the addition of Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)</b> <i>Yer elması (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) ilavesiyle üretilen dondurmanın fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi</i>	<b>958</b>

---

## Liken takviyeli, soya fasulyesi yağı esaslı kaplamaların geliştirilmesi ve tekstil uygulamaları

*Improvement of lichen reinforced soybean oil based coatings and their applications on textile*

Emine Dilara KOÇAK<sup>1</sup> , Zehra YILDIZ\*<sup>2</sup> , Görkem YUMUŞAK<sup>3</sup> 

<sup>1,2</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, 34854, İstanbul

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, 34854, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 21.11.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 03.05.2024

### Öz

Bu çalışmada soya fasulyesi yağı esaslı, UV ışınları ile kürlenebilen bir oligomer sentezlenmiş ve bu oligomer liken partikülleri ile takviye edilerek kaplama formülasyonları hazırlanmıştır. Geliştirilen kaplama formülasyonları pamuk kumaşlar üzerine çevre dostu bir kaplama malzemesi olarak uygulanmış ve çevre dostu bir yöntemle (UV ışınları ile) kürlenmiştir. Liken partikülleri, kaplama malzemesi ile pamuk kumaş arasında bağlanma mekanizmasını geliştirmek ve sonucunda mekanik özellikleri iyileştirmek amacı ile kullanılmıştır. Liken ve oligomer arasındaki uyumu arttırmak için liken partiküllerinin yüzeyi çevre dostu iki yöntemle (enzimatik ve UV ışınları) modifiye edilmiştir. Sentezlenen biyo-esaslı oligomer Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) ve proton nükleer manyetik rezonans (<sup>1</sup>H NMR) spektroskopileri, modifiye edilen liken partikülleri ise X-ışını kırınım difraktometresi (XRD) ile karakterize edilmiştir. Biyo-esaslı kaplama formülasyonları ile kaplanan pamuk kumaşlar ışık mikroskobu ile incelenmiş, mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla mukavemet ve sürtünme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bulgular değerlendirildiğinde biyo-esaslı kaplama malzemesi ile kaplanan pamuk kumaşların, geleneksel petrokimyasal kaplı dış mekân tekstillerine (tente, branda vb.) çevre dostu malzeme ve yöntemle üretilen bir alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyo-esaslı oligomer, Liken, Pamuk kumaş, UV-kürleme, Yüzey modifikasyonu

### Abstract

In this study, a soybean oil-based, UV-curable oligomer was synthesized and then included in coating formulations together with lichen particles. The prepared coating formulations were applied on cotton fabrics as an environmentally friendly coating material and cured by a green process (UV-curing). The lichen particles were employed in order to enhance the bonding mechanism between the cotton fabric and coating material by improving the overall mechanical properties as well. For a better compatibility between the lichen particles and oligomer, the lichen surfaces were modified by two different green process (enzyme and UV-light). The synthesized oligomer was characterized by Fourier transform infrared (FTIR) and proton nuclear magnetic resonance (<sup>1</sup>H NMR) spectroscopies, respectively. The surface modified lichen particles were characterized by X-ray diffraction (XRD) analysis. After the application of bio-based coating formulations, the coated UV-cured fabrics were characterized in terms of surface characteristics and mechanical properties by using light microscopy, tensile, and abrasion resistance testing. According to the overall results, the coated and UV-cured cotton fabrics can be used as an environmentally friendly alternative in terms of coating material and technique, to the conventional petrochemical-coated outdoor textiles (tarpaulin, tent fabric etc.).

**Keywords:** Bio-based oligomer, Lichen, Cotton fabric, UV-curing, Surface modification.

\*Zehra YILDIZ; zehra.yildiz@marmara.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Lamine edilmiş/kaplanmış kumaşlar, alev, kimyasal, nem, mantar, UV-ışığı gibi spesifik koşullara dayanım gösterebilen, genellikle çadır bezi, branda, tente, çanta kumaşı, kamyon örtüsü vb. amaçlı kullanılabilen tekstil yüzeyleridir. Geleneksel lamine edilmiş kumaş üretiminde takviye edici yüzey genellikle pamuk kumaş iken reçine (matriks) yüzey petrokimyasal esaslı, biyo-bozunur olmayan genellikle yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), etilen vinil asetat (EVA), akrilik, poliüretan (PU) gibi bir polimer olmaktadır (Aliverdipour, vd., 2020; Sayem, vd., 2020). Lamine edilmiş kumaş üretimi, sürdürülebilir üretim metodolojileri ve çevre/insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olan ısı enerjisi, çözücü ve su kullanımını gerektirmektedir. Bu nedenle geleneksel lamine edilmiş kumaş üretimine alternatif olabilecek, temiz, çevreci, su/çözücü kullanımını azaltıcı ya da gerektirmeyen, yeni teknolojilerin araştırılması önem arz etmektedir. Bitkisel yağlar, polimer sentezinde çıkış maddesi olarak kullanılabilir nitelikte olup, petrokimyasal esaslı monomere alternatif olarak tercih edilebilecek bileşiklerdir. Bunun yanı sıra, bitkisel yağların zehirsiz ve ucuz olması, uçucu olmaması, ticari olarak bol miktarda sunulabilmesi ve biyo-bozunur olması gibi özellikleri de bitkisel yağların önemini arttırmaktadır. Bitkisel yağlar arasında soya fasulyesi yağı, ucuz oluşu, bol miktarda bulunuyor olması ve düşük toksisite göstermesi gibi nedenlerle, ticari ve bilimsel çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Baştürk, vd., 2013).

Fotokürleme teknolojisi, yüksek kütleme verimi ile hızlı ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilme, toksik çözücü/su içermeme gibi üstün özellikler gösteren, geleneksel lamine edilmiş/kaplanmış kumaş üretimine alternatif teşkil edebilecek bir yöntemdir. Tipik bir fotokürlenebilen kaplama formülasyonu üç komponentten oluşmaktadır; fotobaşlatıcı, reaktif seyreltici ve reaktif oligomer. Kaplama formülasyonunun performansını belirleyen, istenilen fonksiyonel gruplara sahip reaktif oligomerin dizayn edilmesi, fotokürlenebilen çalışmalarda en önemli kilit unsurdur (Yildiz, vd., 2018).

Liken, tekstil endüstrisinde kaplama formülasyonlarında takviye elemanı olarak kullanılabilir potansiyele sahip ekolojik, lignoselülozik malzemelerden biridir. Likenlerin kullanım alanları arasında sağlık, gıda, kozmetik ve tekstil sektörü bulunmaktadır (Elkhateeb, vd., 2022; Räisänen, 2023). Yapılan çalışmalarda genellikle likenlerin boyama işlemlerinde kullanımı araştırılmıştır. Yapılan bir çalışmada, Hindistan'ın Gharwal Bölgesi'nden on bir farklı liken türü toplanmış, bu likenlerden kaynar su, amonyak fermantasyon ve di-metil sülfoksit ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak boyarmadde eldesi araştırılmıştır. Likenlerden elde edilen turuncu, sarı, mavi-gri, mor ve kahverengi renklerdeki boyarmadde bileşikleri, ipek ve süper emici pamuk renklendirilmesinde kullanılmıştır. Boyarmaddelerin yıkama ve güneş ışığı haslıkları araştırılmıştır. Boyama sırasında mordan kullanılmaması nedeni ile tüm boyanmış ürünlerin güneş ışığı haslıkları düşük bulunmuştur. Boyarmadde ekstraksiyonunda en ekili yöntemin amonyak fermantasyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Shukla, vd., 2014). Başka bir çalışmada ise ultrasonik enerji ve hafif mordanlar kullanarak ipek kumaşın Yeni Zelanda'da yaygın olarak yetişen *Sticta Coronata* likeni ile boyanması incelenmiştir. Mordanlama maddesi olarak çevre kirliliğine sebep olan metal tuzlarının yerine şap ve Hint helvası otunun birlikte kullanımı sonucu liken boyarmaddesiyle ipek boyamacılığında yüksek renk haslıklarına ulaşılmıştır (Mansour, vd., 2011). Likenin boyarmadde olarak kullanıldığı başka bir çalışmada ise ipek kumaşlar *parmotrema praesorediosum* adlı liken türüyle bej, kahverengi ve sarının farklı tonlarında boyanmışlardır. Likenlerden boyarmadde eldesi; kaynatma, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve mikrodalga enzim destekli ekstraksiyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Boyama sonrası ipek kumaşların yıkama, sürtünme ve ışık haslığı gibi özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, mikrodalga enzim destekli ekstraksiyon yönteminin daha yüksek boyarmadde absorpsiyonuna sahip olduğunu ve mikrodalga gücünün artmasının boya verimini arttırdığını göstermiştir (Mohamed, vd., 2014). Ayrıca başka bir çalışmada, yenilenebilir doğal boyarmadde kaynağı olarak bir liken türü olan *Candelariella reflexa* karaçam gövdesinden elde edilmiş, tiftik liflerinin boyanmasında kullanılmıştır (Eyupoglu, vd., 2022). Likenlerin boyarmadde olarak kullanımının yanı sıra yeşil kimya girişimi doğrultusunda boyarmadde (metilen mavisi) içeren bir sulu çözeltiden boyarmaddenin ölü likenler kullanarak biyosorpsiyon ile uzaklaştırılması çalışması da gerçekleştirilmiştir (Koyuncu, vd., 2020). Literatür araştırması ışığında likenin genel olarak tekstil boyamacılığında kullanımı ile ilgili örnekler yer almakta olup, likenin bir kaplama formülasyonu ve tekstil yüzeyi arasında bağlayıcı madde/yapışmayı artırıcı madde olarak kullanımı ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Likenlerin tekstil endüstrisinde kullanımlarını geliştirmek ve yüzey özelliklerini iyileştirmek amacı ile diğer selülozik maddelerde olduğu gibi liken yüzeyine modifikasyon işlemleri uygulanabilir. Bu modifikasyon

işlemleri ile liken yüzeyindeki vaks, pektin, yağ gibi hidrofobik karakterli safsızlıkların giderilmesi sonucu, liken-kaplama tabakası arasındaki uyumun ve bağlanmanın artırılması amaçlanmaktadır. Literatürde selüloz esaslı malzemelerin yüzey modifikasyonu ile ilgili pek çok yayın bulunmakta olup bu çalışmalar genel olarak yüksek miktarlarda toksik bileşiklerin (alkali, asit vb.) ve suyun kullanıldığı kimyasal yöntemlerdir (Kathirselvam, vd., 2019; Nakagaito, vd., 2008; Prihatiningtyas, vd., 2021). Bu çalışmada ise çevre dostu yüzey modifikasyon işlemlerinin kullanımı hedeflenmiş, bu bağlamda liken partikülleri pektinaz enzimi ve UV ışınları ile modifiye edilmiştir. Tekstil endüstrisinde enzimler pişirme, ağartma, haşıl sökme, kot kumaşlarda aşındırma ve yüzey parlatma gibi pek çok farklı amaç için kullanılmaktadır. Enzimatik işlem, sürdürülebilir ve çevre dostu oluşu, lif yüzeyinde deformasyona yol açmaması ve az enerji gerektirmesi gibi üstün özellikleri olan bir yüzey modifikasyon yöntemidir (Silverstein, vd., 2007; Stanescu, vd., 2010). UV ışık altında selülozik malzemeler oksidatif modifikasyon sonucu bozunma ve parçalanmaya uğrarlar. Bunun sonucunda selüloz yüzeyi, dış katmandaki selülozik olmayan safsızlıkların bozunması sonucu daha fibriler hale gelmektedir. Yapılan bir çalışmada pamuk kumaşlar alkali işlem (merserizasyon) ve UV ışık yöntemi ile modifiye edilmiş, kumaşların mekanik özellikleri ve şişme davranışları incelenmiştir. Merseizasyon işleminin mekanik özellikleri geliştirmede daha etkili olduğu, UV ışık ile modifikasyonun ise pamuğun şişme/emicilik davranışını geliştirmede daha başarılı olduğu görülmüştür (Zuber, vd., 2012). Başka bir çalışmada ise merseizasyon ve UV ışık yöntemi ile modifiye edilen pamuk kumaşların reaktif boyarmaddeler ile boyanması sonucu renk özellikleri incelenmiştir. UV ışık ile modifiye edilen pamuk kumaşların merseize edilip boyanan kumaşlara kıyasla boyarmadde alımlarının ve renk haslıklarının daha iyi olduğu gözlenmiştir (Bhatti, vd., 2012).

Bu çalışmada biyo-esaslı bir malzeme (soya fasülyesi yağı) kullanarak, çevre dostu bir kaplama yöntemi olan fotokürlenme ile dış mekân tekstili olarak kullanılabilir bir kaplamalı kumaş geliştirilmesi hedeflenmiştir. Biyo-esaslı oligomer ile kumaş yüzeyi arasındaki bağlanmayı ve kaplama performansını arttırmak amacı ile lignoselülozik bir malzeme olan liken partiküllerinin kullanımı önerilmiştir. Likenin kaplama formülasyonuna daha iyi entegre olabilmesi amacı ile liken yüzeyleri çevre dostu iki teknik ile (enzimatik işlem ve UV işlem) modifiye edilmiştir. Sentezlenen biyo-esaslı oligomer, FTIR ve <sup>1</sup>H NMR spektroskopileri ile analiz edilmiştir. Yüzey işlemleri sonrası liken yapısındaki kristal faz değişimleri XRD ile gözlenmiştir. Kaplanan kumaşların sürtünme direnci ve mukavemet değerleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Malzemeler

##### 2.1. Materials

Etanol, 1,6-hekzan diol diakrilat (HDDA, reaktif seyreltici), ESBO (MW=952 g/mol, EEW=232 g/equ.), tetraetil amonyum bromit, perklorik asit (HClO<sub>4</sub>), asetik asit, kristal violet ve fenoltalein indikatörü, potasyum hidroksit (KOH), dibütil tin dilaurat (T12, katalizör), hidrokinon (HQ, inhibitör) Merck'den temin edilmiştir. Omnirad® 380 foto başlatıcı (fenilbis (2,4,6-trimetil benzoil) fosfin oksit) IGM Resins firmasından ve Sipomer PAM-200 (penta polipropilen glikol (PPG) monometakrilat fosfat Solvay firmasından alınmıştır. 135 g/m<sup>2</sup> gramajlı, 42 çözgü/cm, 30 atk/cm sıklığında bezayağı, haşılı sökülmiş, ağartılmış, boyamaya hazır pamuk kumaşlar yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan likenler, Bolu, Türkiye bölgesinden toplanan çam ağacı likenleridir. Non-iyonik ıslatıcı madde (Uniwett HGA) ve pektinaz enzimi (Scourzyme L Novozymes) Alfa Kimya'dan satın alınmıştır.

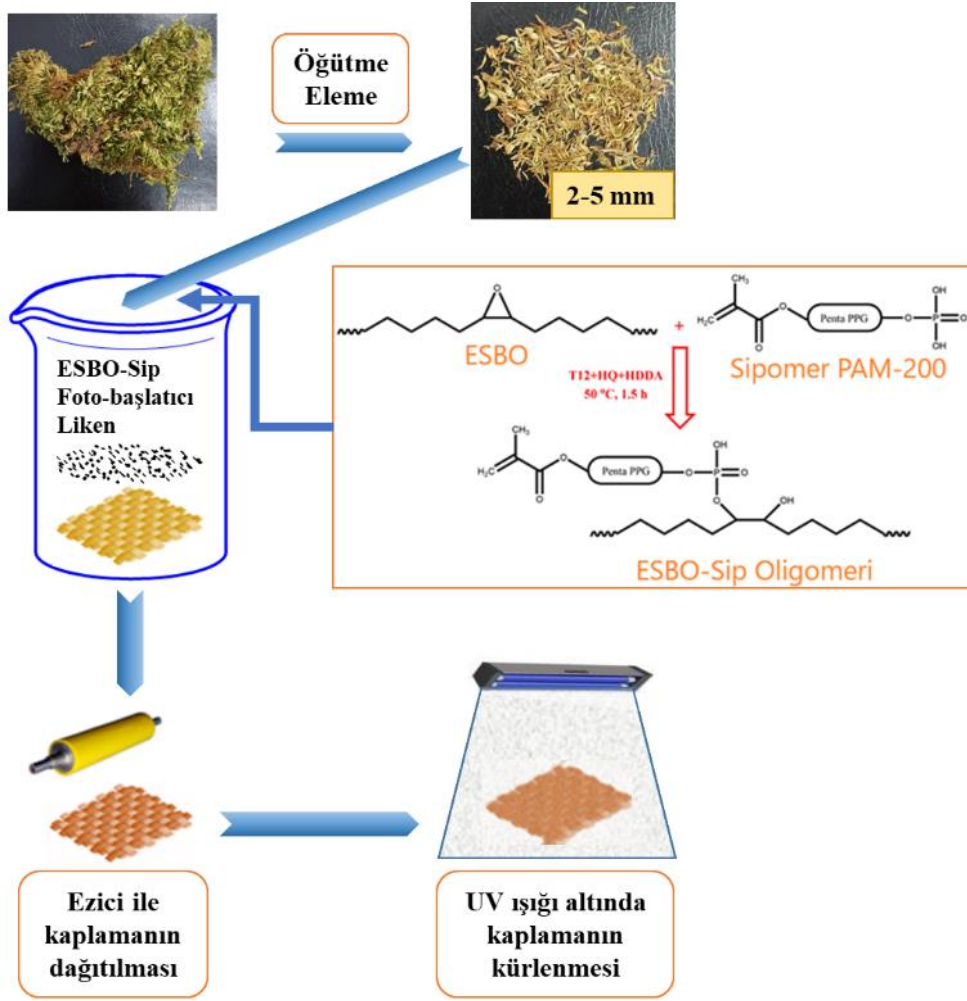
#### 2.2. Soya fasulyesi esaslı oligomerin sentezi

##### 2.2. Synthesis of soybean oil-based oligomer

Epokside edilmiş soya yağının (ESBO) fosfor içeren Sipomer PAM-200 monomeri ile reaksiyonu, yuvarlak altlıklı balonda, manyetik karıştırıcı ile azot altında gerçekleştirilmiştir. ESBO:Sipomer PAM-200 mol oranı, önceki çalışmalarda elde edilen verim düşünüldüğünde, 1:0.5 olarak ayarlanmıştır. Öncelikle ESBO ve toplam ESBO+Sipomerin %30' u kadar reaktif çözücü (HDDA) balona yüklenmiştir. Daha sonra başka bir beherde Sipomer içerisinde 3 damla T12 katalizörü ve 300 ppm HQ (inhibitor) ultrasonik banyoda çözündürülmüş ve balona damla damla eklenmiştir. Reaksiyon ilk 30 dakika oda sıcaklığına daha sonra 1.5 saat de 50 °C' de tamamlanmıştır. Reaksiyonun tamamlandığı epoksit ("[ASTM D1652-11e1, Standard Test Method for Epoxy Content of Epoxy Resins](#), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, [www.astm.org.](#)," 2011) grup



titrasyonu ile anlaşılmıştır. ASTM standardına göre yapılan bu titrasyon işleminde sabit bir değer elde edildiğinde sentez sonlandırılmıştır. ESBO ve Sipomer ile elde edilen ESBO-Sip oligomerinin sentez şeması Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. ESBO-Sip oligomerinin sentez şeması  
Figure 1. Synthesis scheme of the ESBO-Sip oligomer

### 2.3. Liken partiküllerinin yüzey modifikasyonu

#### 2.3. Surface modification of lichen particles

Bu çalışmada, kaplamada kullanılacak olan oligomerin liken partikülleri ile uyumunu arttırmak için, liken yüzeyine yüzey modifikasyonu yapılmıştır. Yüzey modifikasyonu sayesinde likenlerin yapısındaki kristal fazların değişime uğraması sonucu kaplama formülasyonu ile uyumunun artması amaçlanmıştır. Liken selülozik esaslı bir malzemedir ve hücrelerinin en dış kısmında yağ ve vakslardan oluşan ince bir tabaka bulunur. Bu ince mumumsu yüzey, reçine ile oligomer arasındaki bağlanmayı engeller. Yüzey modifikasyonu sayesinde bu dıştaki mumumsu yüzey bozundurulur ve yüzey daha pürüzlü ve fibriler hale getirilir. Bu sayede reçine ve likenin birbirine daha iyi tutunması sağlanır. Yüzey modifikasyonu olarak çevre dostu iki yöntem olan enzimatik yöntem (pektinaz) ve UV ışık metodu uygulanmıştır.

Yüzey modifikasyonu işlemlerinden önce liken partikülleri paslanmaz çelik dokuma tel elek (gözenek boyutu 2-5 mm) ile elenerek, ortalama boyutsal stabilitesi sağlanmıştır. Pektinaz enzimi banyo oranı 1:40 oranında, ağırlıkça % 1.8 pektinaz enzimi ve 0.2 mL/L ıslatıcı madde kullanılarak hazırlanmıştır. Ortamın pH'ı 8.2-8.5 aralığına NaOH çözeltisi ile ayarlanmıştır. Banyo sıcaklığı 55 °C'de 30 dk. 250 rpm'de liken partikülleri banyo içerisinde karıştırılmıştır. 80 °C'de 10 dk. liken partikülleri distile su ile yıkanmış, standart atmosfer koşullarında (20±2 °C sıcaklık ve %65 nisbi nem) 24 saat süre ile kurutulmuştur. UV ışık metodunda liken partikülleri, UV-kabini (Cole-Parmer UVP Longwave UV kürleyici 115 VAC modeli, 365 nm dalga boyunda) içerisinde 1 saat süre ile UV ışığı altında bekletilmiştir.

## 2.4. Pamuk kumaşların kaplanması

### 2.4. Coating process of the cotton fabrics

Kumaş kaplama işlemi Şekil 1'de görülmektedir. Kaplama formülasyonu, sentezlenen ESBO-Sip oligomeri, foto başlatıcı (%3) ve liken partikülleri (ham/UV işlemlenmiş/enzimatik işlemlenmiş) birlikte karıştırılarak bir kristalizuar içerisinde hazırlanmıştır. Foto başlatıcı, formülasyon içerisinde ultrasonik banyo yardımı ile çözündürülmüştür. Pamuk kumaşlar kaplama formülasyonuna daldırılmış, emdirme işlemi sonrası fazla kaplama malzemesinin uzaklaştırılması ve tam emdirmenin sağlanabilmesi amacı ile 500 g'lık bir ezici silindir (roller) yardımıyla manuel olarak ezilmiş, bu sayede kaplamanın yüzeye homojen olarak dağılımı sağlanmıştır. Kaplanan kumaş, UV kürleme işlemi sırasında havanın oksijeninin radikal oluşumunu engelleyici etkisini önlemek amacı ile kilitli PE poşet içerisinde UV kabininde her iki yüzünden 2 dk. süre ile oda sıcaklığında kürlenmiştir.

## 2.5. Karakterizasyon

### 2.5. Characterization

ESBO-Sip oligomerinin kimyasal analizi FTIR (Perkin Elmer Spectrum-100 ATR FTIR) ve  $^1\text{H}$  NMR (Bruker AMX 500 MHz NMR, dimetilsülfoksit içinde ve tetrametil silan referansı kullanarak) spektroskopileri ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey modifikasyonu sonrası selülozik liken partiküllerinin kristal değişimlerini incelemek amacı ile XRD paternleri ( $0.01^\circ$  adım boyutu ve 0.1 saniye adım süresi ile  $10-30^\circ$  ölçüm aralığında, OriginPro 7.0 yazılımı ile Bruker-D2 Phaser X-ışını kırınım cihazında, Cu K $\alpha$  radyasyon;  $\lambda=0.15418$  nm) kullanılmıştır. Liken partiküllerinin kristalinite yüzdeleri DIFFRAC.EVA V3.1 yazılımı kullanılarak hesaplatılmıştır. Yüzey modifikasyonu sonrası liken partikülleri ve kaplama işlemi sonrası kumaşların yüzeyleri, sırasıyla 400 ve 40 kat büyütme altında, ışık mikroskopunda (Olympus Bx51) incelenmiştir. Kopma yükü ve uzama değerleri ise Instron 4411 mukavemet ölçüm cihazında yapılmıştır ("[ISO 13934-1:2013 Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method,](#)" 2013). Aşınma direnci testi, kaplama malzemesi ile pamuk kumaş arasındaki yapışma özelliklerini incelemek amacı ile Martindale piling ve sürtünme test cihazında (zımpara ile 100 devir aşınma sonrası ağırlık kaybı kaydedilerek) gerçekleştirilmiştir ("[ISO 5470-2:2021 Rubber- or plastics-coated fabrics — Determination of abrasion resistance — Part 2: Martindale abrader,](#)" 2021). Aşınma direnci testinde, kumaş gramajı  $500 \text{ g/m}^2$ 'nin altında olduğu için test numunesi PU köpük malzeme ile desteklenmiştir.

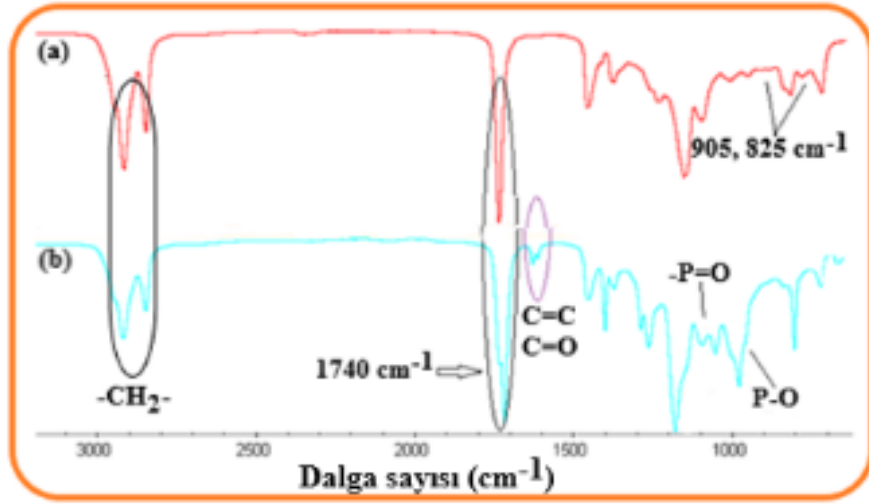
## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

### 3.1. ESBO-Sip oligomerinin karakterizasyonu

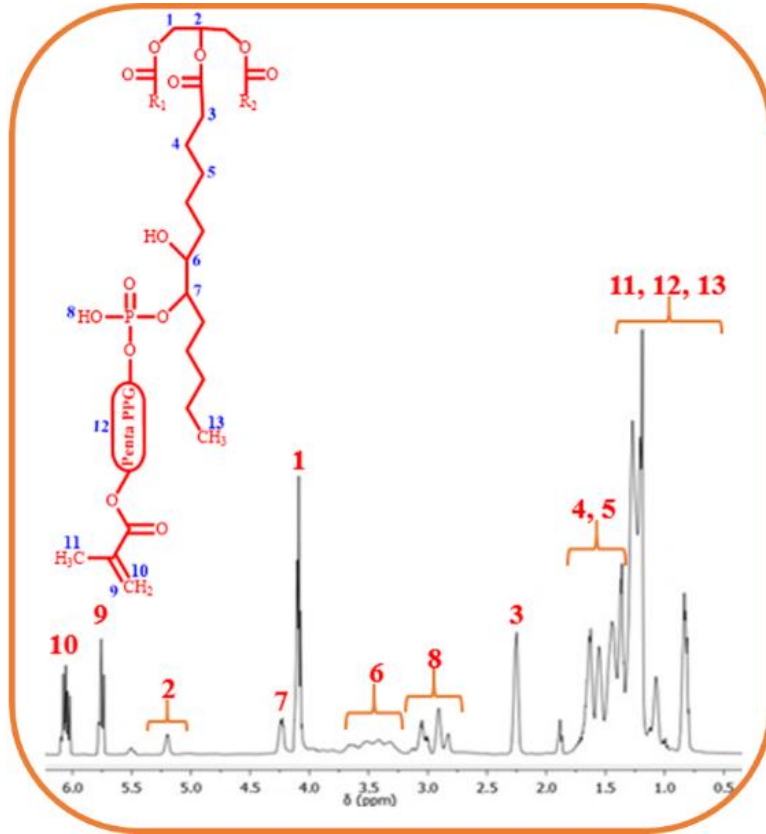
#### 3.1. Characterization of the ESBO-Sip oligomer

ESBO ile Sipomer PAM-200 bileşiği arasındaki reaksiyon sırasında, oligomerin oluşumunu kontrol etmek amacı ile periyodik olarak epoksit değeri titrasyon ile kaydedilmiştir. ESBO üzerindeki epoksit grupları halka açılması reaksiyonu sonucu tükendiği için epoksi eşdeğer ağırlığı (EEW) işlem boyunca artmakta, epoksit grup miktarı azalmaktadır. EEW değeri 1 g epoksit gruba eşdeğer miktarı içeren ESBO-Sip oligomeri miktarıdır. Bu değer reaksiyon başında 232 g/eq. iken reaksiyon sonunda 380 g/eq. olarak kaydedilmiştir. EEW değerinin artışı epoksit gruplarının azaldığını göstermektedir. Bu değer sabitlendiğinde reaksiyon sonlandırılmıştır. Elde edilen ESBO-Sip oligomeri FTIR ve  $^1\text{H}$  NMR spektroskopileri ile karakterize edilmiştir. Şekil 2'de ESBO ve ESBO-Sip oligomerlerinin FTIR spektrumları görülmektedir. Buna göre soya yağının trigliseritlerindeki karakteristik ester gerinim titreşim piki ( $\text{C}=\text{O}$ )  $1740 \text{ cm}^{-1}$ 'de, her iki spektrumda da gözlenmiştir. Ayrıca  $2840-2980 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler ESBO'nun karakteristik alifatik  $-\text{CH}_2-$  grup pikleridir. Sipomer ile reaksiyon sonucu ESBO-Sip oligomerinin spektrumunda  $825$  ve  $905 \text{ cm}^{-1}$ 'de yer alan epoksit (oksiran) grup pikleri kaybolmuştur. Bunun yanı sıra  $809 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen C-H eğilme titreşim piki de epoksit halka açılma reaksiyonunun tamamlandığını göstermektedir. ESBO-Sip spektrumunda  $996 \text{ cm}^{-1}$ 'de (P-O),  $1243 \text{ cm}^{-1}$ 'de (P=O), ve  $1100 \text{ cm}^{-1}$ 'de (fosfat ester titreşimi) gözlenen piklerin tamamı fosfor içeren Sipomer monomerinin oligomer yapısına dahil olduğunu göstermektedir. Akriyat fonksiyonunun varlığını gösteren akriyat grup pikleri de  $1619$  ve  $1636 \text{ cm}^{-1}$ 'de ( $\text{CH}=\text{CH}_2$ ) gözlenmiştir (Baştürk et al., 2013; Çakmakçı, 2017; Y. Wu, vd., 2019).



Şekil 2. ESBO (a) ve ESBO-Sip (b) oligomerlerinin FTIR spektrumları  
 Figure 2. FTIR spectra of ESBO (a) and ESBO-Sip (b) oligomers

Şekil 3’de ESBO-Sip oligomerinin  $^1\text{H}$  NMR spektrumu görülmektedir. Buna göre Sipomer PAM-200 oligomerinin metakrilat grup protonları 5.59-5.60 ppm ( $\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$  trans) ve 6.10-6.18 ppm ( $\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$  cis) bölgelerinde gözlenmektedir. Metakrilat grubunun, penta PPG’ün ve doymuş trigliserit gruplarının metil protonları 0.82-1.45 ppm bölgesinde kaydedilmiştir. Ayrıca trigliseritlerin karakteristik metin ve metilen protonları 4.1-4.3 ppm ve 5.1-5.3 ppm bölgelerindedir. Allilik pozisyonundaki protonlar 2.4 ppm’dedir. ESBO zincirinin metilen protonları 1.45-1.70 ppm aralığında yer almaktadır. Fosfor gruplarının alifatik -OH protonları 2.8-3.2 ppm aralığında kaydedilmiştir. 4.35 ppm’deki metin piki ve 3.3-3.6 ppm aralığındaki hidroksil proton pikleri, reaksiyon sonucu epoksit halkalarının açıldığını doğrulamaktadır (Liu, vd., 2011; Uysal, vd., 2017; Q. Wu, vd., 2018).



Şekil 3. ESBO-Sip oligomerinin  $^1\text{H}$  NMR spektrumu  
 Figure 3.  $^1\text{H}$  NMR spectra of ESBO-Sip oligomer

### 3.2. Modifiye edilmiş liken partiküllerinin karakterizasyonu

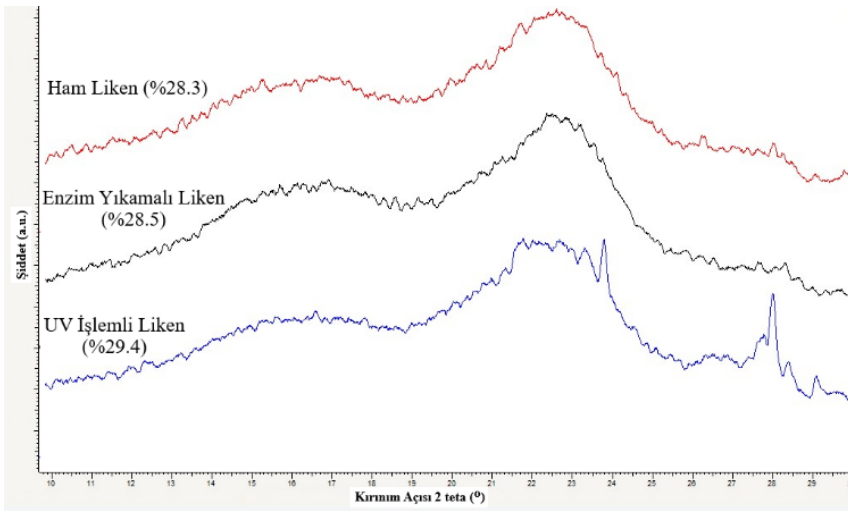
#### 3.2. Characterization of the surface modified lichen particles

Şekil 4'te ham liken ve yüzey modifikasyon işlemleri sonrasındaki likenlerin ışık mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Buna göre ham likende partikül yüzeyinde bulunan selüloz esaslı olmayan safsızlıklar, UV ve enzimatik işlem sonrası uzaklaşmış ve yüzeyde adezyona yardımcı olacak pürüzlü bir yüzeyin oluştuğu görülmüştür. Selülozik partiküllerde (kenaf vb.) yüzey modifikasyonu sonrası benzer bulgular literatürde de elde edilmiştir (Mıstık, vd., 2016). Pektinaz enzimi ve UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonu sonucu liken yüzeylerinde fibrilleşme meydana gelmiş, reçine ile bağlantı yapabilecek yüzey alanı miktarı artmıştır. Selülozik liflerin pektinaz enzimi ile fibrilleşmesine yönelik literatürde de çalışmalar mevcuttur (Yıldız, 2022).

XRD paternlerinde geniş ve yayvan pikler amorf bölgelerin varlığından sorumlu iken dar ve sivri pikler ise kristalin alanların varlığını göstermektedir. Yüzey modifikasyonu sonucu lignoselülozik liken partiküllerinin yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük ve fibrilleşme sonucu, selülozun kristal yapısında değişiklikler meydana gelmekte, bunun sonucunda karakteristik selüloz XRD piklerinin yoğunlukları değişmektedir. Şekil 5'te ham liken, UV ışınları ve pektinaz enzimi ile yüzeyi modifiye edilen liken numunelerinin XRD paternleri ve kristalinite değerleri (%) görülmektedir. Buna göre karakteristik selüloz pikleri her üç liken örneğinde de  $14.7^\circ$ ,  $16.8^\circ$  ve  $22.7^\circ$ 'lerde farklı şiddetlerde gözlenmektedir. Pik şiddetlerindeki değişim, yüzey modifikasyonu sonucu meydana gelen fibrilleşme ve liken yüzeyindeki selüloz yapısında olmayan amorf karakterli safsızlıkların giderilmesi sonucu selüloz kristallerinde meydana gelen yapısal değişim ile açıklanabilir (Gupta, vd., 2013; Rowe, vd., 2018). Amorf/kristalin alan dağılımı açısından incelendiğinde ise ham likende daha geniş ve yayvan pikler, UV ve enzim işlemleri ile yüzey modifikasyonu sonucu kısmen daralmıştır. Diğer bir deyişle yüzey modifikasyonu sonucu lignoselülozik yapıdaki liken partiküllerinin dış yüzeyindeki amorf yapıda olan safsızlıkların uzaklaşması sonucu kristalin alan oranı artmış, amorf karakter ise azalmıştır. Kristalinite değerleri incelendiğinde, ham likendeki % 28.3'lük kristalinite değeri enzim ve UV işlem sonrası sırasıyla % 28.5 ve % 29.4 değerlerine ulaşmıştır. UV işlem ile yüzeyi modifiye edilen likenin kristalin alanlarının UV ışınlarına maruz bırakılan likene göre daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı zamanda UV işlemlili likenin selüloz mikrofibrillerindeki kristal yapıyı kuvvetlendirdiği ve arttırdığı söylenebilir.



Şekil 4. Ham liken ve yüzey modifikasyonu sonrası likenlerin ışık mikroskobu görüntüleri (x400).  
Figure 4. Light microscopy images of raw lichen and surface modified lichens (400x).

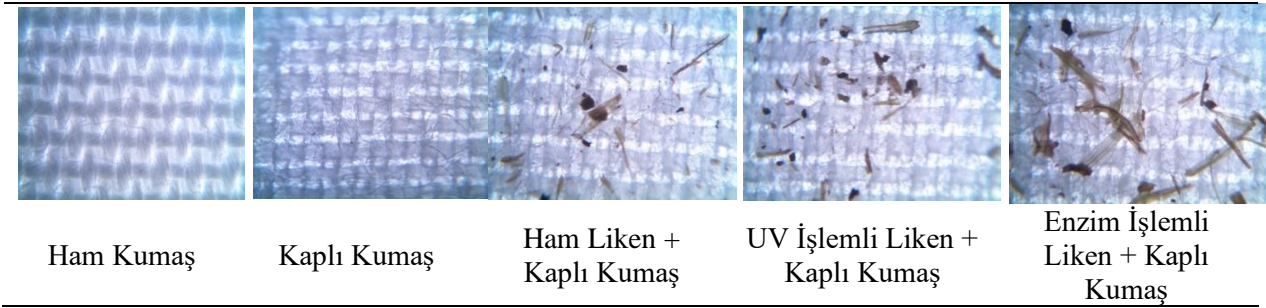


**Şekil 5.** Ham liken ve yüzey modifikasyonu uygulanmış likenlerin XRD paternleri  
**Figure 5.** XRD patterns of raw lichen and surface modified lichens

### 3.3. Kaplanmış kumaş yüzeylerinin karakterizasyonu

#### 3.3. Characterization of the coated fabrics

Şekil 6’da ham kumaş, likenli ve likensiz kaplama uygulanmış kumaşların ışık mikroskobu görüntüleri yer almaktadır. Buna göre ESBO-Sip ile kaplanmış kumaşın belirgin ve açık olan gözenekleri küçülmüş ve kısmen kaybolmuştur. Kaplama malzemesine ham liken ilave edilerek kumaş kaplandığında liken partiküllerinin yüzeyde heterojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte ön işlem yapılmış liken partikülleri içeren kaplamaların daha homojen bir dağılım oluşturduğu gözlenmiştir. Yüzey modifikasyonu ile liken partiküllerinin dış yüzeyinde bulunan mumumsu tabaka uzaklaştırılmış/bozundurulmuş dolayısı ile likenlerin reçine içerisinde homojen dispers olabilme yeteneği artmıştır. UV ve enzimatik işlemler kıyaslandığında enzim ile işleme alınan liken partiküllerinde fibrilleşmenin/açılmanın daha fazla olduğu, dolayısı ile kumaş yüzeyine daha iyi bir adezyon sağladığı görülmektedir. Bu durum XRD analizinde bulunan, enzim ile işlenmiş likenlerin UV işlemlili olanlara göre daha fazla amorf karakterli olması sonucu ile de örtüşmektedir. Amorf alanlardaki polimer zincirleri daha çok serbest hacme dolası ile de kaplama formülasyonu ile etkileşime girebilecek daha çok aktif yüzeye sahiptir. Bu yüzden kaplama yüzeyi ile uyum düşünüldüğünde enzim işlemi ile yüzey modifikasyonunun UV işleme göre daha başarılı olduğu söylenebilir.



**Şekil 6.** Ham kumaş ve kaplama işlemi sonrası kumaş yüzeylerinin ışık mikroskobu görüntüleri (x40).  
**Figure 6.** Light microscopy images of raw fabric and coated fabric surfaces (40x).

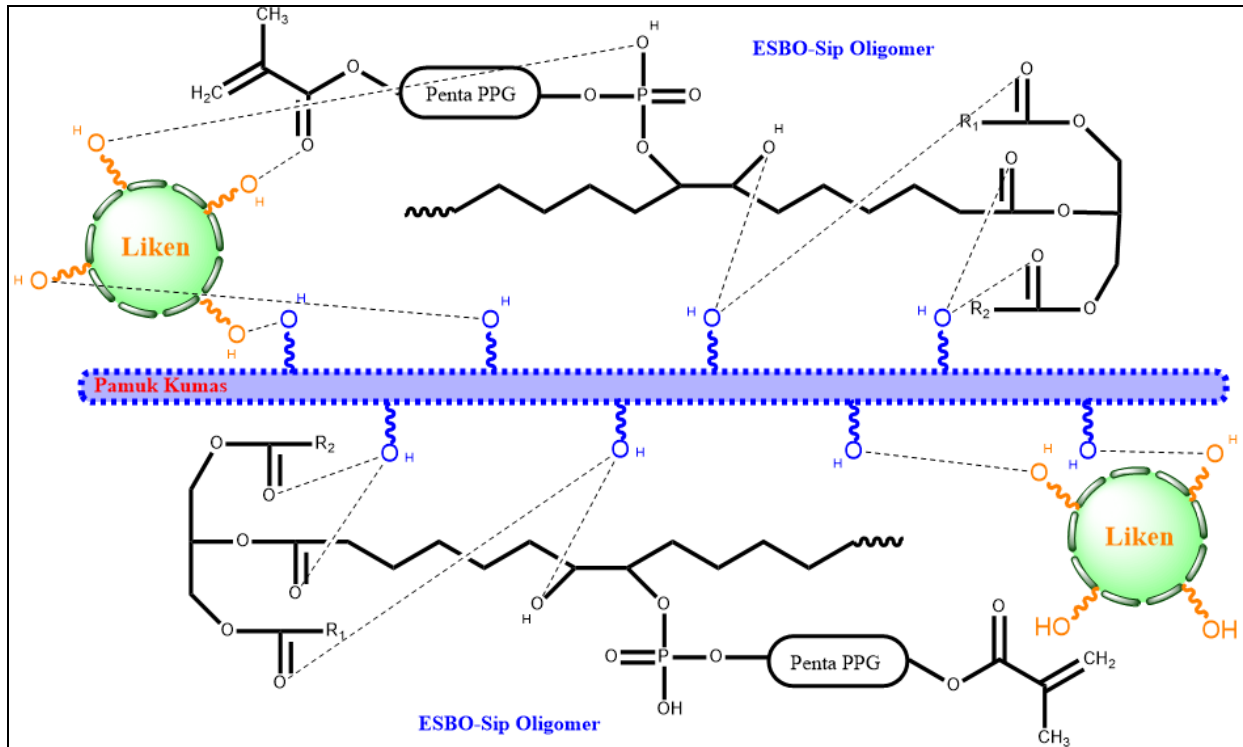
Tablo 1’de ham kumaş ve kaplanmış UV kürlenmiş kumaş kompozisyonlarının kopma yükü ve sürtünme direnci test sonuçları görülmektedir. Buna göre ham pamuk kumaşın kopma yükü ESBO-Sip oligomeri ile kaplandıktan sonra artmıştır. Kopma yükündeki bu artış, selülozik kumaşın hidroksil grupları ile soya yağı trigliseritlerinin karbonil grupları, Sipomer PAM-200 bileşiğinin karbonil ve fosfat ester grupları ve epoksit halka açılma reaksiyonu sonucu oluşan hidroksil grupları arasında oluşan bağlanma mekanizması ile açıklanabilir. Bu bağlanma mekanizması Şekil 7’de görülmektedir. Liken partiküllerinin kaplama formülasyonuna dahil edilmesi sonucu kopma yükünde genel olarak bir artış gözlenmektedir. Enzimatik ön işlemlide; yüzey fibrilasyonunun artışına bağlı meydana gelen OH grupları ile selülozik kumaşta yer alan OH grupları birbirleri ile etkileşime geçmektedir. UV işlem ile kıyaslandığında, enzimatik yıkamanın, selülozik partiküllerin yüzey temizliğinde/fibrilleştirilmesinde daha başarılı ve etkili olduğu görülmektedir. Liken partiküllerinin kaplama yüzeyi (ESBO-Sip) ile kumaş arasında bağlanmayı artırıcı/geliştirici yönde davrandığı sonucuna varılmaktadır. Lignoselülozik yapıdaki liken partiküllerinde bulunan hidroksil grupları

hem pamuk kumaşın hidroksil grupları ile hem de ESBO-Sip reçinesindeki trigliseritlerdeki karbonil, Sipomer PAM-200 bileşiğindeki fosfat ester ve karbonil ve oksiran halkası açılması sonucu oluşan diğer hidroksil grupları ile etkileşim kurma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda liken partiküllerinin pamuk kumaş üzerine kaplama işlemleri sırasında çapraz bağlayıcı ve yapışmayı artırıcı bir davranış sergileyebileceği görülmüştür. Uzama değerlerine bakıldığında pamuk kumaşın kaplanması sonucu uzama değerlerinde azalma görülmüştür. Bunun nedeni, esnek ve yumuşak pamuk kumaşın sert ve esnek olmayan bir kaplama malzemesi ile kaplanmış olması ve bunun sonucunda kaplı yüzeyin kırılabilirliğinin artması ve sertleşmesidir.

Sürtünme direnci testi, reçine kaplı yüzeyin 100 devir boyunca bir aşındırıcı yüzeye (zımpara) sürtünmesi sonucu, numunede oluşan ağırlık kaybının yüzde olarak hesaplanması esasına dayanmaktadır. Sürtünme sonrası ağırlık kayıpları incelendiğinde liken içermeyen kaplı kumaşta % 2.9'luk ağırlık kaybı; ham liken eklenmesi sonucu kayıp % 2.5'e düşmüştür. Yüzeydeki ağırlık kaybı azalmış, yüzey sürtünmeye karşı daha dirençli hale gelmiştir. Liken ilavesinin kaplamanın kumaş yüzeyine tutunmada iyileştirici rol oynadığı görülmektedir. Enzim ve UV işlemlerle liken partikülleri içeren kaplı kumaşlar incelendiğinde, enzimatik yıkama işleminin, liken ve formülasyon arasındaki artan uyum sonucu, kaplama tabakasını kumaş üzerinde tutma yeteneğinin UV işleminden daha başarılı ve etkili olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında liken partiküllerinin pamuk kumaş kaplama işlemlerinde güçlendirici malzeme olarak etki ettiği ve kaplama performansını olumlu yönde etkilediği söylenmektedir. Bununla birlikte geleneksel yöntemle üretilen bir tente/branda kumaşı 500-850 g/m<sup>2</sup> ağırlık ve 900-1600 N kopma yükü değerlerine (Witkowska, vd., 2004) sahip iken bu çalışmada önerilen kaplı kumaşların yaklaşık 160 g/m<sup>2</sup> ağırlık ve 983-1196 N kopma yükü değerleri gösterdiği kaydedilmiştir.

**Tablo 1.** Kaplanmış kumaşların kopma yükü, kopma uzaması ve sürtünme sonrası ağırlık kaybı değerleri  
*Table 1. Tensile strength, elongation at break, and weight loss after abrasion values of the coated fabrics*

Numune Kompozisyonları	Kopma Yükü (N)	Uzama (%)	Sürtünme Sonrası Ağırlık Kaybı (%)
Ham Kumaş	893	12.9	--
Kaplı Kumaş	932	11.8	2.9
Ham Liken + Kaplı Kumaş	983	9.8	2.5
UV İşlemlerle Liken + Kaplı Kumaş	1102	10.4	1.7
Enzim İşlemlerle Liken + Kaplı Kumaş	1196	9.6	1.3



**Şekil 7.** Liken içeren biyo-esaslı kaplama malzemesi ile kaplı pamuk kumaşa bağlanma mekanizması şeması

**Figure 7.** Scheme of the bonding mechanism between the coated cotton fabric and lichen included bio-based coating material

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Bu çalışmada, geleneksel solvent/su/ısı enerjisi kullanılarak üretilen kaplı kumaşlara alternatif olarak, çevre dostu bir yöntemin (fotokürlenme) hafifletilmiş dış mekan (tente, branda vb.) tekstili üretiminde kullanımı hedeflenmiştir. Bu amaçla ESBO'nun oksiran halkalarının Sipomer PAM-200 bileşiği ile reaksiyonu sonucu elde edilen ESBO-Sip oligomeri kaplama malzemesi olarak pamuk kumaş üzerine uygulanmıştır. Kaplı kumaşların mukavemet özellikleri ve sürtünme direncini geliştirmek amacı ile liken partikülleri kaplama formülasyonlarına dahil edilmiştir. ESBO-Sip oligomeri ve liken partikülleri arasındaki uyumu arttırmak amacı ile UV ve enzimatik işlem kullanılarak, liken partiküllerinin yüzeyi temizlenmiş/modifiye edilmiştir. Bu sayede selüloz dışındaki diğer amorf karakterli safsızlıklar bozundurulmuş ve uzaklaştırılmıştır. ESBO-Sip oligomeri FTIR ve <sup>1</sup>H NMR spektroskopileri ile karakterize edilmiş, oksiran halkalarının halka açılma reaksiyonu ve fotokürlenilebilir akrilat gruplarının varlığı kanıtlanmıştır. Kaplama formülasyonuna liken partiküllerinin dahil edilmesi sonucu kaplı kumaşların kopma yükleri artmış, sürtünme sonrası ağırlık kaybı değeri düşmüştür. Yüzey modifiye işlemleri düşünüldüğünde kaplama işleminin performansını iyileştirmede enzimatik işlemin UV işleminden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile hafifletilmiş ancak benzer mukavemet özelliklerini gösterebilen, kaplanmış, tente, branda gibi dış mekân tekstil ürünlerinin, çevreci bir yöntemle biyo-esaslı çıkış maddeleri ile üretilebileceği görülmüştür.

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Lisans öğrencileri Funda Şengül ve Tayanç Aktaş'a laboratuvar çalışmalarındaki yardımları için teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

**Emine Dilara KOÇAK:** Düzenleme, kurgu. **Zehra YILDIZ:** Literatür taraması, düzenleme, kurgu, yazım, deneysel, karakterizasyon. **Görkem YUMUŞAK:** Yazım, karakterizasyon.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Bu çalışmanın yazarları, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Kaynakça

##### References

- Aliverdipour, N., Ezazshahabi, N., & Mousazadegan, F. (2020). Characterization of the effect of fabric's tensile behavior and sharp object properties on the resistance against penetration. *Forensic Science International*, 306, 110097. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110097>
- ASTM D1652-11e1, Standard Test Method for Epoxy Content of Epoxy Resins, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, [www.astm.org](http://www.astm.org). (2011).
- Baştürk, E., İnan, T., & Güngör, A. (2013). Flame retardant UV-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating. *Progress in Organic Coatings*, 76(6), 985-992. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.10.007>

- Bhatti, I. A., Zia, K. M., Ali, Z., & Zuber, M. (2012). Modification of cellulosic fibers to enhance their dyeability using UV-irradiation. *Carbohydrate Polymers*, 89(3), 783-787. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.04.010>
- Çakmakçı, E. (2017). Allylamino diphenylphosphine oxide and poss containing flame retardant photocured hybrid coatings. *Progress in Organic Coatings*, 105, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.11.013>
- Elkhateeb, W. A., El-Ghwas, D. E., & Daba, G. M. (2022). Lichens uses surprising uses of lichens that improve human life. *J Biomed Res Environ Sci*, 3(2), 189-194. <https://doi.org/10.37871/jbres1420>
- Eyupoglu, C., Eyupoglu, S., & Merdan, N. (2022). Investigation of dyeing properties of mohair fiber dyed with natural dyes obtained from candelariella reflexa. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 12829-12848. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2076273>
- Gupta, P., Uniyal, V., & Naithani, S. (2013). Polymorphic transformation of cellulose I to cellulose II by alkali pretreatment and urea as an additive. *Carbohydrate Polymers*, 94(2), 843-849. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.012>
- ISO 5470-2:2021 Rubber- or plastics-coated fabrics — Determination of abrasion resistance — Part 2: Martindale abrader. (2021).
- ISO 13934-1:2013 Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method. (2013).
- Kathirselvam, M., Kumaravel, A., Arthanarieswaran, V., & Saravanakumar, S. (2019). Characterization of cellulose fibers in Thespesia populnea barks: Influence of alkali treatment. *Carbohydrate polymers*, 217, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.063>
- Koyuncu, H., & Kul, A. R. (2020). Removal of methylene blue dye from aqueous solution by nonliving lichen (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.), as a novel biosorbent. *Applied Water Science*, 10(2), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1156-9>
- Liu, Z., Wang, L., Bao, C., Li, X., Cao, L., Dai, K., & Zhu, L. (2011). Cross-linked PEG via degradable phosphate ester bond: synthesis, water-swelling, and application as drug carrier. *Biomacromolecules*, 12(6), 2389-2395. <https://doi.org/10.1021/bm2004737>
- Mansour, H. F., & Heffernan, S. (2011). Environmental aspects on dyeing silk fabric with sticta coronata lichen using ultrasonic energy and mild mordants. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(1), 207-213. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0296-2>
- MISTIK, S. İ., Koçak, E. D., & Merdan, N. (2016). Effect of the ecological methods on the surface modification of the kenaf fibers. *Materials Science*, 22(3), 409-414. <https://doi.org/10.5755/j01.ms.22.3.8694>
- Mohamed, N., Wan Ahmad, W., Ngalib, K., Ahmad, M., Ab Kadir, M., & Ismail, A. (2014). *Microwave-Enzyme-Assisted Extraction and Dyeing of Lichen Species: Parmotrema praesorediosum*. Paper presented at the Proceedings of the International Colloquium in Textile Engineering, Fashion, Apparel and Design 2014 (ICTEFAD 2014).
- Nakagaito, A. N., & Yano, H. (2008). Toughness enhancement of cellulose nanocomposites by alkali treatment of the reinforcing cellulose nanofibers. *Cellulose*, 15(2), 323-331. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9168-2>
- Prihatiningtyas, I., Hartanto, Y., & Van der Bruggen, B. (2021). Ultra-high flux alkali-treated cellulose triacetate/cellulose nanocrystal nanocomposite membrane for pervaporation desalination. *Chemical Engineering Science*, 231, 116276. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116276>
- Räisänen, R. (2023). Natural Colorants from Lichens and Mushrooms. *Handbook of Natural Colorants*, 317-331. <https://doi.org/10.1002/9781119811749.ch14>
- Rowe, M. C., & Brewer, B. J. (2018). AMORPH: A statistical program for characterizing amorphous materials by X-ray diffraction. *Computers & Geosciences*, 120, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.07.004>
- Sayem, A. S. M., Haider, J., & Sayeed, M. A. (2020). Development and characterisation of multi-layered jute fabric-reinforced HDPE composites. *Journal of Composite Materials*, 54(14), 1831-1845. <https://doi.org/10.1177/0021998319885440>



- Shukla, P., Upreti, D., Nayaka, S., & Tiwari, P. (2014). Natural dyes from Himalayan lichens. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 13, 195-201.
- Silverstein, R. A., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R. R., Boyette, M. D., & Osborne, J. (2007). A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Bioresource Technology*, 98(16), 3000-3011. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.022>
- Stanescu, M. D., Dochia, M., Radu, D., & Sirghie, C. (2010). Green solution for cotton scouring. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 18(3), 80.
- Uysal, N., Acik, G., & Tasdelen, M. A. (2017). Soybean oil based thermoset networks via photoinduced CuAAC click chemistry. *Polymer International*, 66(7), 999-1004. <https://doi.org/10.1002/pi.5346>
- Witkowska, B., & Frydrych, I. (2004). A comparative analysis of tear strength methods. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 12(2), 42-47.
- Wu, Q., Hu, Y., Tang, J., Zhang, J., Wang, C., Shang, Q., . . . Lei, W. (2018). High-performance soybean-oil-based epoxy acrylate resins: "Green" synthesis and application in UV-curable coatings. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(7), 8340-8349. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00388>
- Wu, Y., Liu, A., Li, W., & Li, Z. (2019). Synthesis of carborane acrylate and flame retardant modification on silk fabric via graft copolymerization with phosphate-containing acrylate. *Fire and Materials*, 43(7), 880-891. <https://doi.org/10.1002/fam.2748>
- Yildiz, Z. (2022). Usage of UV-Curable Soybean Oil Based Coating Formulations for Pretreated Cotton Fabrics. *Textile and Apparel*, 32(3), 232-242. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.940434>
- Yildiz, Z., Onen, H. A., Gungor, A., Wang, Y., & Jacob, K. (2018). Effects of NCO/OH ratio and reactive diluent type on the adhesion strength of polyurethane methacrylates for cord/rubber composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(10), 935-944. <https://doi.org/10.1080/03602559.2017.1364382>
- Zuber, M., Zia, K. M., Bhatti, I. A., Ali, Z., Arshad, M. U., & Saif, M. J. (2012). Modification of cellulosic fibers by UV-irradiation. Part II: After treatments effects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51(5), 743-748. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.07.001>

## Çok katmanlı cam sistemlerinin ısı performansının farklı parametrelere bağlı sayısal ve deneysel incelenmesi

*Numerical and experimental investigation of thermal performance of multilayer glass systems depending on different parameters*

Nilsu OĞULTEKİN\*<sup>1</sup> , Murat KORU<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 08.03.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 03.05.2024

### Öz

Ülkemizde binalar için harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma işlemleri için kullanılmaktadır. Bu enerji tüketimini azaltmak için doğru enerji kullanımı ve etkili ısı yalıtımı gerekmektedir. Bu çalışma, camlardan kaynaklanan ısı kaybı minimize etmek ve ısı yalıtımını artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. İki tür hesaplama yapılmıştır: deneysel ve sayısal. Çeşitli cam numuneleri kullanılarak bu hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar için Comsol Multiphysics 5.4 ve Heat Transfer Modülü kullanılırken, deneysel hesaplamalar için ısı iletkenlik katsayıları ölçümü TS EN 12667 standardına uygun olarak HFM Fox-314 ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Isparta ili için yapılan ölçümler ve karşılaştırmalar sonucunda, ısı iletkenlik katsayısı 0.113 W/mK, ısı geçirgenlik katsayısı 0.388 m<sup>2</sup>K/W, ısı geçirgenlik katsayısı 1.1 W/m<sup>2</sup>K olan üç katmanlı 16 mm gaz dolgulu argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamasının en ideal olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 10 numunenin TS 825'e göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Binalarda enerji verimliliği, Binalarda ısı yalıtımı, Cam uygulamalarında ısı transferi, Çok katmanlı cam, Isı iletkenlik katsayısı

### Abstract

Significant portion of the energy consumed in our country is used for heating and cooling processes in buildings. To reduce this energy consumption, proper energy utilization and effective insulation are essential. This study was conducted with the aim of minimizing heat loss through windows and enhancing thermal insulation. Two types of calculations were performed: experimental and numerical. Various glass samples were used for these calculations. Numerical calculations were conducted using Comsol Multiphysics 5.4 and the Heat Transfer Module, while experimental measurements of thermal conductivity coefficients were carried out in accordance with TS EN 12667 standards using the HFM Fox-314 measurement device. Based on the measurements and comparisons conducted for Isparta province, it was determined that the three-layered 16 mm gas-filled argon gas Solar Low-e coated glass with a thermal conductivity coefficient of 0.113 W/mK, a thermal transmittance coefficient of 0.388 m<sup>2</sup>K/W, and a thermal transmittance coefficient of 1.1 W/m<sup>2</sup>K is the most ideal application. Furthermore, it was observed that 10 samples outperformed the TS 825 standards.

**Keywords:** Energy efficiency in buildings, Heat transfer in glass applications, Multi-layered glass, Thermal conductivity coefficient, Thermal insulation in buildings

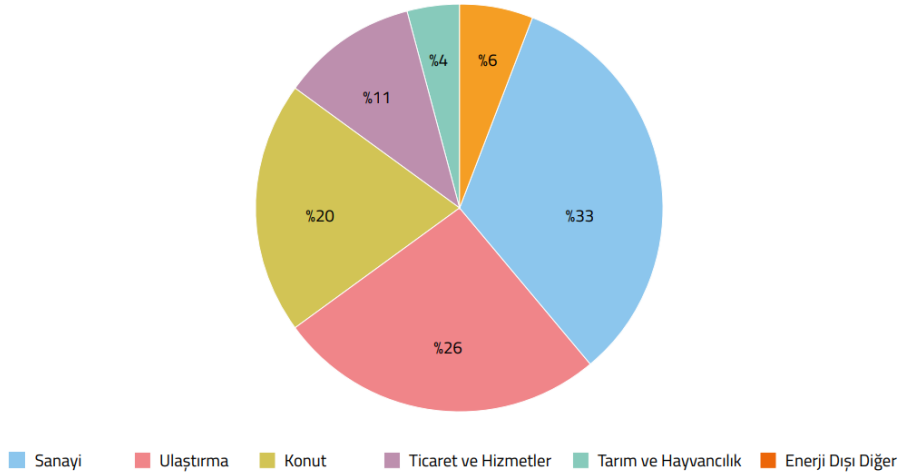
\*Nilsu OĞULTEKİN; nilsuogultekin4@gmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Dünya çapında artan nüfusla doğru orantılı olarak gelişen sanayi ve kentleşme, beraberinde enerjiye olan ihtiyacı getirmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması doğa ve insanlık için büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca bu kaynakların doğru ve verimli kullanılması da büyük önem arz etmektedir. Enerji verimliliği ürün miktarını, ürünün kalitesini azaltmadan tüketilen enerjiyi en aza indirmek olarak tanımlanabilir fakat tüm bunları yaparken ekonomik kalkınma ve sosyal refah engellenmemelidir. Gelişmiş ülkeler, sektörlerde kullanılan enerjinin verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalara başlamıştır. Enerji verimliliğinin daha karlı ve çevre dostu olduğunun anlaşılması ile birlikte bu konuda yapılan çalışmalarda son yıllarda bir artış görülmektedir. Ülkemizdeki enerjinin tüketim oranı incelendiğinde Uluslararası Enerji Ajansının yayınladığı verilere göre Türkiye’de kişi başına düşen enerji tüketimi yüzdesi 0.38 iken diğer gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde bu oran 0.09 ve 0.19’ dur (Ekosmart, t.y.).

Enerji, dünya ekonomisine ve siyasi politikalara yön vermeye başlamıştır. Ayrıca iklim değişikliği üzerine olan etkisi nedeniyle geleceğin ekonomi, sosyal ve coğrafi düzeninin belirleyicisi olacaktır. Dolayısıyla günümüz enerji ve verimlilik politikaları; yüksek maliyetli enerji arzı, yaşamın sürdürülebilirliğini ve ekonomik kalkınmayı tehdit etmektedir. Enerji, dışa bağımlı olan ve iklim değişikliğinden etkilenen ülkeler için önemli bir politika alanı haline gelmiştir. Son 20 yılda gelişmiş ülkeler ve tüm sektörlerin ortak çabalarıyla enerji yoğunluğunu azaltmaya yönelik yaptırımlarda artış görülmüştür. Dünya çapında enerji politikalarını incelediğimizde, enerji tasarrufu ve verimi konusunun önemli bir yeri olduğu görülmüştür. Ayrıca binalarda ısı verimliliği arttırmaya yönelik çalışmaların arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin yeşil binalara (yapılacağı konumun tabiatına uygun olan standartlarda yapılan, tasarlanan ayrıca enerji ihtiyaçlarında diğer binalara oranla tasarruflu, malzeme olarak çevre dostu malzemelerden seçilen, yenilenebilir özellikte olan binalar) olan talep gün geçtikçe artmaktadır.



**Şekil 1.** Sektörlere göre nihai enerji tüketimi (ETKB, 2018)

**Figure 1.** Final energy consumption by sectors

ETKB Tarafından hazırlanan 2018 Enerji denge tablosuna göre bina ve konut sektörü nihai enerji tüketiminin %20’i kaplamaktadır. Şekil 1’de 2018 nihai enerji tüketiminin sektörlere göre olan dağılımı verilmiştir (ETKB, 2018). Şekil 1 incelendiğinde konut sektöründe enerji tüketiminin payının fazla olduğu görülmektedir. Yapı sektöründeki aşırı enerji tüketimini azaltmak, enerjiyi daha tasarruflu ve verimli kullanmak için ısı yalıtımı, mekanik ve doğal havalandırmadan kaynaklanan ısı kayıplarını mümkün olduğunca en aza indirmek gerekmektedir. Binalarda ısı kayıplarını asgari bir sınırdan tutmak için başlıca yöntem ısı yalıtımıdır. Binalarda ısı yalıtım gereksinimleri hakkında piyasaya yol göstermek ve ısı yalıtımında denetim şartlarını belirlemek amacıyla TS 825 standardı kullanılmaktadır. TS 825 standardı, iklim bölgesine ve bina yapı elemanlarına göre maksimum U değerlerini de belirlemektedir. U değeri, ısının bir yapıdaki (tekil bir materyal veya bir kompozit olabilir) transfer hızının, yapının tamamındaki sıcaklık farkına bölünmesiyle elde edilen ısı geçirgenliğini ifade etmektedir. Ölçü birimi  $W/m^2 K$ ’dir. Yapı ne kadar iyi yalıtımlı olursa, U değeri o kadar düşük olacaktır. TS 825 iklim bölgelerine göre duvarlar, çatı, döşeme ve pencerelere ilişkin tavsiye edilen U değeri gerekliliklerini tanımlamaktadır (TS 825, 2009).

Enerjide verim faktörü ve buna bağlı olan yatırım ve kullanım teşviğini artırmak adına kullanılacak olan sistemlerin enerji tasarruf oranlarında da iyileştirilmelere gidilmesi sektöre olumlu yansımacaktır. Binalar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplam enerji sarfiyatının %40 'ı ile %60'ını oluşturmaktadır (Underwood ve Yik, 2004). Konut sektörlerinde oluşturulacak olan iyileştirmeler sayesinde enerjinin geri dönüşümü sağlanacak dolaylı olarak verimliliği de arttıracaktır. Enerji verimliliği ve ısı yalıtımı birbirlerini takip eden hususlardır. Yapıların ısıtılmasında, enerji verimliliğinin optimum seviyede olabilmesi için ısı yalıtımı, ürün tasarımlarında büyük önem kazanmıştır. Konut inşası sırasında gerekli standartlara göre yapılan yalıtımlar enerji verimliliğini artırarak uzun vadede kendi maliyetini karşılayarak ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır. Binalarda sağlanan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaçakları önlenilmekte ve böylece kışın ısıtma, yazın soğutma için harcanan maliyet azaltılmaktadır. Binalarda kullanılan yapı elemanlarının ısı yalıtımı bakımından önemi büyüktür. Bina enerji verimliliğini arttırmak için yapılan uygulamalardan ısı yalıtımı bazında cam sektörü önemli bir yer teşkil etmektedir. Isı yalıtımının iyileştirilebilmesi için ısı transferinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Isı transferinin radyasyon, iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen iletimlerin toplamı olduğu bilindiğine göre bu iletimleri en aza indirmek için yapabileceklerimiz araştırılmıştır. Isı iletim türü olan taşınımın gerçekleşen geçişi azaltmak için akışkanın hareketinin azaltılması (yüksek viskozite), iletimle olan geçiş için  $\lambda$  iletim değerinin daha düşük olduğu gazların, gaz dolgusunda kullanılması, radyasyonla olan geçişin ise cam plakaların yüzeylerinin üzeri düşük emissiviteli kaplamalarla kaplanmasıyla azaltılabilir (Aksoy vd., 2001). Konuya binalar üzerinden yaklaşırsa, camlardan ışımayla oluşan ısı transferi gayet yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür. Bu durum, konu kapsamında araştırmaları bulunan uzmanların dikkatini çekmiştir. Mevsim doğrultusunda güneş ışınımına dayalı kayıp ve kazançlar binaların soğutma ve ısıtma yükünü etkilemektedir. Roos ve Karlsson (1994), Yohanis ve Norton (1999), gibi araştırmacılar camların performansını belirleyebilmek doğrultusunda bahsi geçen parametrelerin kullanılması ile ulaşılan genelleştirilmiş enerji nizamlarını meydana getirmişlerdir. Duer vd. (2002), Maccari ve Zinzi (2001), ise termal iletim seviyesi ve hava sızdırmazlık düzeyi gibi parametreleri iklim koşullarını da göz önüne alacak şekilde yeni enerji modelleri meydana getirmişlerdir. Koçu ve Korkmaz (2002), ısı yalıtımı için kullanılan malzemelerin özellikleri ve sınıflandırılması ayrıca Konya ve çevresindeki binalarda ısı yalıtım uygulamalarının TS 825'e göre değerlendirilmesini yapmıştır. Konya ve çevresindeki binalarda ısı yalıtımı hakkında yapılan eksik ve hatalı uygulamaların çevre kirliliğine olan etkileri incelenmiştir. Isı yalıtımında kullanılması gereken maddeler, kurallar belirtilerek yapılması gerekli olan önemler sıralanmıştır ve önerilerde bulunulmuştur. Aşık ve Tezcan (2005) yaptığı çalışma Vallabhan vd. (1993)'nin geliştirdiği modeli daha az hesap vakti ve muhafaza etme alanına gereksinim duyacak şekilde geliştirmiştir. Lamine cam kırımların mekanik davranışlarını ele alarak pek çok çalışmanın yapıldığı görülmektedir (Aşık vd., 2014).

Tek katmanlı camlar yerine çok katmanlı camların kullanılmasının ses ve ısı yalıtımı hususunda daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Katman sayısı arttıkça yalıtımdaki verimlilik de artış göstermektedir. Çok katmanlı cam uygulamalarında cam plakalar arasında ısı transferinin daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir. Isı transferinin yavaşlatılması ısı yalıtımının başarısını artırmaktadır (Firatpen, t.y.). Çok katmanlı camlar hakkındaki deneysel çalışmalar için örnek vermek gerekir ise; Foraboschi (2013) ve Foraboschi (2014), tabakalı plakaların mekanik davranışını açıklamak üzere geliştirmiş olduğu modelin literatürde oldukça önemli bir yeri bulunmaktadır. Ayrıca çok katmanlı camlar hakkında literatüre büyük katkısı bulunan bir diğer çalışma ise iki, üç ve dört katmanlı cam uygulamalarındaki ısı akışını inceleyen Arıcı vd. (2015) çalışmasıdır. Araştırma altı farklı gaz dolgusu kalınlığı ve dört farklı bölgenin dış ortam sıcaklıkları baz alınarak yapılmıştır. Bu çalışmanın ana bulguları aşağıdaki gibi sunulmuştur:

Boşluk genişliğinin enerji tasarrufu üzerindeki etkisi, düşük sıcaklık farklarında daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Isı kaybının yaklaşık %50 veya %67 oranlarında çift katmanlı pencereler kullanılarak azaltılabileceği tespit edilmiştir. Soğuk olan bölgelerde ise çift katmanlı pencereler yerine üç ve dört katmanlı pencereler tercih edilmelidir. Isının yaklaşık %45-75'i (gaz dolgusu genişliği ve sıcaklık farkına bağlı olarak) radyasyonla aktarılır. Gaz dolgusu genişliği arttıkça bu oran artmaktadır. Ayrıca sıcaklık farkı azaldıkça bu oranın arttığı görülmüştür. Isı kaybı üzerindeki parametrelerin önem sırası şu şekilde sıralanmıştır. Katman sayısı, cam yüzeyinin emisyonu ve gaz dolgusu kalınlığı. Sonuç olarak, mühendisler çok katmanlı pencerelerde katman arttıkça ısı verimliliğinin daha iyi olacağını farkında olmasına rağmen endüstri, gaz dolgusu genişliği daha fazla ama çift katmanlı cam uygulamasına sahip olan pencereleri kullanma eğilimindedir. Çünkü katman sayısı arttıkça maliyette artmaktadır. Oysaki gaz dolgusu kalınlığı fazla ve nispeten daha pahalı olan Low-e kaplama yerine gaz dolgu kalınlığı daha az ama üç veya dört katmanlı cam uygulamasına sahip olan pencereler kullanılsa enerji tasarrufunda daha iyi bir seviyeye gelinebileceği belirtilmiştir.

Etzion ve Erell (2000), yaptığı bu çalışmada, Meksika bölgesi için hesaplanan dört adet farklı niteliklere sahip çift ve tek katmanlı cam numuneleri (Numune 1: tek katmanlı şeffaf cam, numune 2: şeffaf cam+ gaz dolgusu+ şeffaf cam, numune 3: şeffaf cam+ gaz dolgusu+ yansıtıcı özellikli cam, numune 4: şeffaf cam+ gaz dolgusu+ Low-e kaplama cam) üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, çift katmanlı pencerenin kullanılması, tek bölmeli pencereye oranla iç ortamdaki ısı kazanımlarını %12'ye kadar azalttığını göstermiştir. Çift katmanlı cam uygulamalarında ise en yüksek enerji tasarrufu numune 3'te tespit edilmiştir. Numune 3'te %72.6'ya varan enerji tasarrufu elde edilmiştir. Numune 4'te ise numune 1'e oranla %28.6 oranında daha fazla enerji tasarrufu olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler doğrultusunda Meksika için en uygun numune 3'teki özelliklere sahip pencerelerin kullanılması önerilmiştir. Çok katmanlı camlarda katmanlar arasında hava dışında havadan daha ağır ısı iletkenlik katsayısı havadan daha düşük olan gazların (Argon, Xenon, Kripton vb.) kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Bu tip gazların kullanımı ile ısı iletkenlik değerlerinde uygulanan gazın türüne bağlı olmakla birlikte %15 oranında ısı performansta iyileşmeler tespit edilmiştir (Özharat, 2007). Özharat ve Ünal (2014), çift camlı pencerenin iki camı arasındaki gaz tabaka kalınlığının ısı transferi üzerindeki etkisini sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda kritik kalınlık değerleri, atmosferik basınçtaki hava ve argon için 12 mm, vakum basınçtaki kuru hava (vakum) için 24 mm olarak hesaplanırken ısı tasarruf oranları hava ile %55 lik düşük değerde iken, vakumlu hava ile % 63 lük yüksek bir değer olarak tespit edilmiştir.

U değeri (ısı iletkenlik katsayısı), bir binanın iç ve dış ortamı arasındaki hava sıcaklığı farkı nedeniyle meydana gelen enerji transferini tanımlar. Daha düşük bir U değeri, camın termal yalıtım performansının daha iyi olduğunu ifade etmektedir. Örneğin, yalıtım kaplamalı camın çift cam içinde kullanılmasıyla U değeri 1.0 W/m<sup>2</sup>K'ye düşürülebilirken, kaplamasız cam kullanılan çift cam uygulamaların bu değer 2.7 W/m<sup>2</sup>K seviyesindedir. Bu değer üçlü cam yapılarında 0.5 W/m<sup>2</sup>K'ye kadar daha da iyileştirilebilmektedir (Guardianglass, t.y.). Low-e kaplamalı camlarda ısı transferinde azalma olmaktadır. İç ortamdaki ısı kaçışında azalma olacağından iç ortamı ısıtmak için kullanılan enerjide de azalma olmaktadır. Ayrıca cam yüzeyinde taşınım ile olan ısı transferi daha az olacağından cam üzerindeki buğulanma riski de azalmaktadır. Böylece Low-e kaplamalı camlar sadece ısı kaybını önlemekle kalmaz, aynı zamanda yılın daha soğuk aylarında ısıyı içeride tutarak ısıtmaya da yardımcı olur (Pilkington, 2023).

Cam sektörünün ana prensibi konutlardaki ısı kontrolünün sağlanmasıdır. Cam tasarımlarında ısı kontrolünün amacı, bina pencerelerindeki camın dışarıya olan ısı kaçışını en aza indirmek ya da kaçışı yavaşlatarak ısıtma için kullanılan enerjinin azaltılması ve iç ortamdaki ısının dengede tutulmasıdır. Camlardaki yalıtımın verimliliğini arttıran en etkin çözüm katman sayısı, gaz dolgusu kalınlığının artırılmasıdır. Ayrıca gaz dolgusunun niteliği de önemli bir faktördür. Bu çalışmada bina iklimlendirme hususunda kullandığımız enerjinin azaltılması ve ısı kaçışının en çok olduğu camlardaki ısı transferini azaltarak enerji verimliliğini arttırmaya yönelik yaklaşımlar incelenmiştir. Çift ve üç katmanlı cam uygulamalarında iki cam arasındaki gaz katmanı kalınlığına, gaz dolgusu niteliğine (argon-kuru hava) ve kaplama özelliğine bağlı olarak Lasercomp marka HFM Fox-314 ölçüm cihazı ile ölçülen ısı iletkenlik katsayıları (k, W/mK) kullanılarak ısı geçirgenlik katsayıları (U, W/m<sup>2</sup>K) belirlenmiştir. Ölçüm cihazı ısı iletkenlik katsayısını ısı akış ölçer (IAÖ) yöntemini kullanarak belirlemektedir. Elde edilen sonuçların mukayesesi için yapılan sayısal çalışmada sonlu elemanlar programı Comsol multiphysics kullanılmıştır. Numuneler üç boyutlu olarak modellenip çözümlenmesi sonucu çıkan ısı transferi katsayısı, deneysel çalışma ile elde edilen değerlerle karşılaştırılarak değerlerin doğruluğu araştırılmıştır. Deneysel hesaplamalarda ısı iletkenlik katsayıları ölçümü için TS EN 12667'ye uygun olarak katman sayısına, gaz dolgusu kalınlığına ve cam kaplama özelliğine bağlı olarak TS 825'e göre belirtilen yöntem ve ilkeler kullanılmıştır. Hesaplamalar 6 mm'den başlayarak 16 mm'ye kadar farklı gaz katmanı kalınlıklarında, gaz dolgusu olarak argon ve kuru hava, Solar Low-e ve klasik kaplama özelliğine sahip cam numuneleri kullanarak yapılmıştır. Cam kalınlıkları 4 mm olarak sabit alınmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar doğrultusunda Isparta ili için optimum cam katman sayısı, gaz dolgusu kalınlığı ve cam kaplama türlerinden hangisinin daha iyi bir yalıtım performansının unsuru olduğu da belirlenmiştir. Türkiye'de cam uygulamalarındaki ısı transferi bağlamında birçok çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışmaların büyük bir kısmı sadece sayısal çalışmalar sunmaktadır. Bu çalışmada sayısal analizler dışında deneysel olarak da çalışılmıştır. Ayrıca TS 825'de belirtilen ısı geçirgenlik katsayısının kanıtlanamayacak derecede aşağısına düşülmüştür. Bu değer güncel TS 825 (15.08.2016) standardında belirlenen 5 bölge için de uygun olduğu görülmüştür.

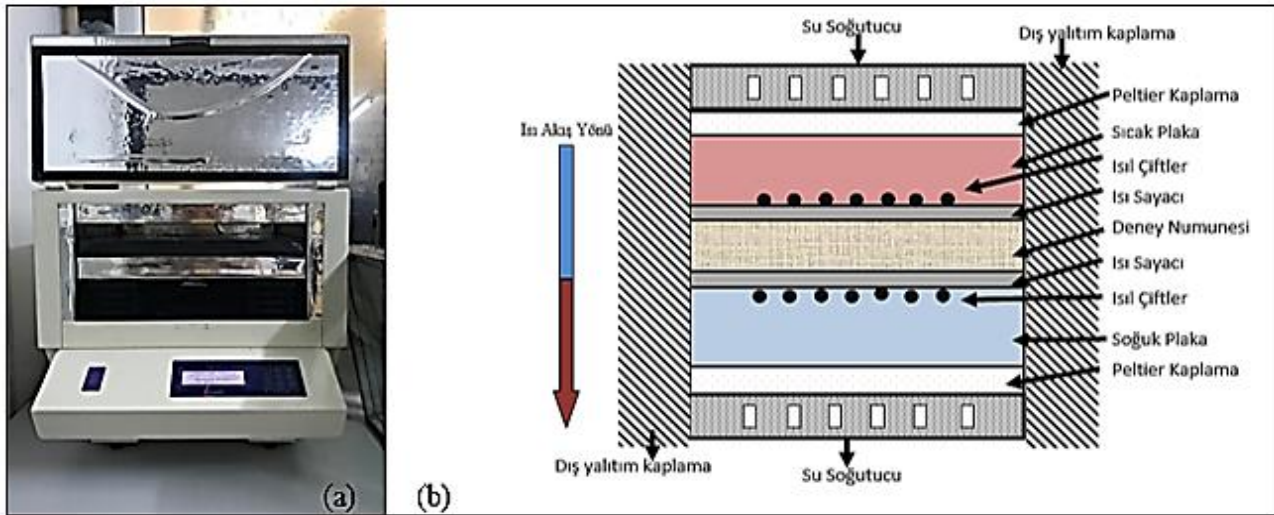
## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

İncelemeler çift katmanlı cam uygulaması için farklı kalınlıklardaki gaz dolguları (6, 9, 11, 12, 14 ve 16 mm) ve üç katmanlı cam uygulaması için farklı kalınlıklardaki (9, 12, ve 16 mm) gaz katmanları, argon gazı ve kuru hava gaz dolgularıyla ve farklı kaplamalarla yapılan cam plakalar (klasik ısıcam, konfor ısıcam) için boyutları 300x300mm olan numuneler ile yapılmıştır. Şekil 2’de argon gaz dolgulu üç ve iki katmanlı cam numuneler verilmiştir. Deneysel hesaplamalar ısı iletkenlik katsayıları ölçümü için TS EN 12667’ye uygun olarak katman sayısına, gaz dolgusu kalınlığına ve cam kaplama özelliğine bağlı ısı iletkenlik katsayıları TS 825’e göre belirtilen şartlara uygun olarak ölçüm yapan Şekil 3’de görülen Lasercomp marka HFM Fox-314 ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm cihazı ısı iletkenlik katsayısını ısı akış ölçer (IAÖ) yöntemini kullanarak belirlemektedir. Kullanılan cihazın kesinlik değeri  $\pm 1\%$  olarak teknik özelliklerinde verilmiştir (Tainstruments, t.y.).



**Şekil 2.** Üç ve iki katmanlı argon gazlı camlar (a) Üç katmanlı cam örneği (b) İki katmanlı cam örneği  
**Figure 2.** Three- and two-layer argon gas glasses (a) Example of three-layer glass (b) Example of two-layer glass



**Şekil 3.** Isıl iletkenlik katsayısı ölçen cihaz (a) HFM Fox-314 ölçüm cihazı (b) ısı akış ölçerin şematik diyagramı  
**Figure 3.** Thermal conductivity coefficient measuring device (a) HFM Fox-314 heat flow measuring device (b) schematic diagram of heat flow meter

Şekil 3’de ısı akış ölçer cihazı ve şematik diyagramı verilmiştir. Şekil 3(b)’de görüldüğü gibi ısı akış ölçer farklı sıcaklık değerlerine ayarlanabilen iki plakaya sahiptir. Bu plakalar Peltier etkisi ile istenilen sıcaklık

değerlerine ayarlanabilmektedirler. Alt ve üst plaka olarak adlandırılan bu plakalara hem ısı çiftler hem de ısı akış ölçer sensörleri yerleştirilmiştir. Isı akışının plakalar üzerinden gerçekleşebilmesi için cihazın diğer yüzeyleri yalıtılmıştır. IAÖ ısı dengeye ulaştığında, plakalar ve test numunesinde üniform sıcaklık gradyanı oluştuğunda ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiş olacaktır. IAÖ cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı Fourier ısı iletim denklemi, Eşitlik (1) ile belirlenmektedir.

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Hava tabakası hesaplamalarında hava boşluğu katı cisim gibi davranacağından iletimle ısı transferini oluşturacaktır. IAÖ bu denklemi ve kalibre edilmiş bilgisayar yazılımını kullanarak ölçüm, kayıt, yazdırma işlemini gerçekleştirmektedir.

Deneysel çalışmalara başlamadan önce ölçüm cihazı, çeşitli sıcaklıklarda ısı iletkenliği bilinen referans numunesi (IRMM-440) kullanılarak ve NIST 1450b kalibrasyon dosyası ile kalibre edilmiştir. Sonuçların doğruluğu ve ölçümlerin tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Deneysel farklı kalınlık, gaz dolgusu, katman sayısı ve dış kaplama özelliklerine göre k değerlerinin belirlenmesine yönelik yapılmıştır.

Hesaplamalarda Isparta ili için dış hava sıcaklıkları TS 825'e göre baz alınıp, İç taraf sıcaklığı ise Dünya Sağlık Örgütü'nün oturma odası ve diğer odalar için koyduğu ideal sıcaklık derecelerinin ortalaması olan 20 °C seçilmiştir. Dış ortam için zorlanmış taşınım, iç ortam için doğal taşınım kabul edilmiştir. Gaz katmanı içerisinde oluşan ısı transferi için doğal taşınım, iletim ve radyasyon/ışınım ile olan ısı transferi denklemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların mukayesesi için cam numuneleri sonlu elemanlar programı Comsol multiphysics kullanılarak üç boyutlu olarak modellenip çözümlenmesi sonucu çıkan ısı transferi katsayısı daha önce elde edilen değerlerle karşılaştırılarak değerlerin doğruluğu araştırılmıştır.

Çok katmanlı cam sistemlerinde iki katman arasındaki hava tabakasının kalınlığının katman sayısı ve cam kaplama özelliğine bağlı olarak belirlenen k değerleri kullanılarak iletimle ısı transferi şartları için sayısal hesaplamalar Comsol multiphysics 5.6, heat transfer modülü kullanılarak yapılmıştır. Comsol multiphysics mühendislik simülasyon yazılım araçları tüm modelleme adımlarını bütünlük olarak sunar (geometri tanımları, ağ örme, fizik ayarları, çözüm ve sonuçların görüntülenmesi). Model oluşturma süreci önceden tanımlı fizik arayüzleri sayesinde hızlıdır ve akış problemlerinden ısı taşınımına, yapısal mekanikten elektromanyetik analizlere kadar geniş bir kapsama sahiptir. Malzeme özellikleri, kaynak terimler ve sınır şartları alan değişkenlerinin keyfi fonksiyonları olarak atanabilir (Eti Yazılım Merkezi, t.y.). Sırasıyla cam ve hava tabakası kalınlıkları, kullanılan cam türüne göre ısı iletkenlik katsayıları, hava tabakası ısı iletkenlik katsayıları, iç ve dış yüzeyler için taşınım ile olan ısı transfer katsayıları, kuru hava dolgusu ısı iletkenlik katsayısı veya argon dolgusu ısı iletkenlik katsayısı sınır şartları olarak belirlenmiştir. Program arayüzü aracılığıyla model ağ yapısına bölünmüş ve hesaplamalar için hazırlanmıştır. Program materyal kütüphanesinden alınan materyal özellikleri (Silica glass, Argon (gas), Air) seçildi ve cam kalınlıkları 4'er mm, gaz dolgu kalınlıkları için numune özelliklerine göre çift katmanlı camlar için 6, 9, 11, 12, 14 ve 16 mm üç katmanlı cam uygulaması için 9, 12, ve 16 mm alındı. Camın uzunluğu, H=1 m kabul edildi. Dış ortamla temas halinde olan yüzey için 0 °C olarak seçilmiştir. TS 825'de verilen değerler doğrultusunda h(W/m<sup>2</sup>K) ısı taşınım katsayısı 25 (W/m<sup>2</sup>K) belirlenmiştir. İç ortamla temas halinde olan yüzey için T<sub>ext</sub>=20 °C olarak seçilip h (W/m<sup>2</sup>K) ısı taşınım katsayısı 7.69 (W/m<sup>2</sup>K) TS 825'e göre belirlenmiştir. İçerden dışarıya birleşik ısı transferi olduğu kabul edildi. Ortam sıcaklığında doğal taşınım sınır şartı uygulanmıştır (TS 825, 2019). Dış ortamla temas halinde olan cam yüzeyin taşınım ile olan ısı transferini hesaplamak için Eşitlik (2) tanımlanmıştır.

$$Q_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_{ext} - T) \quad (2)$$

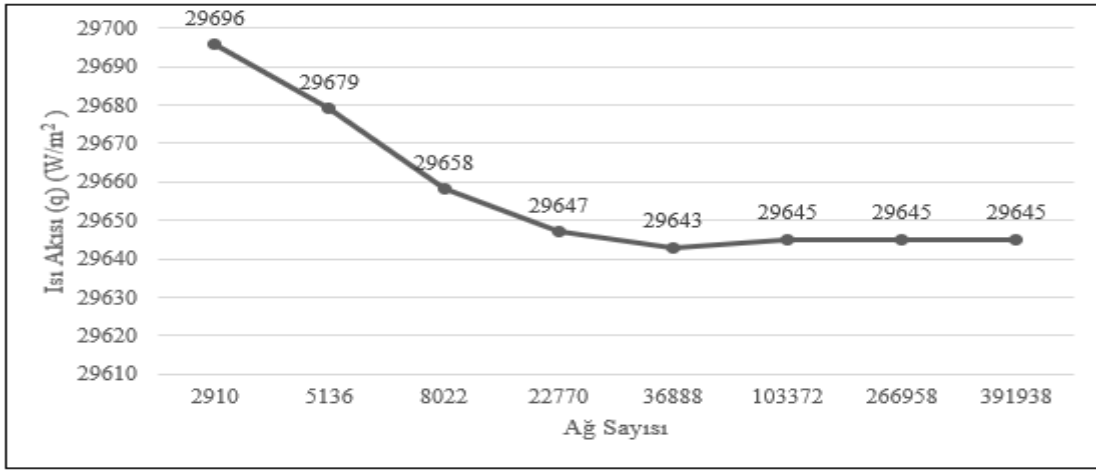
Bu denklemde T<sub>ext</sub> ortam sıcaklığıdır ve bu değer dış ortamla temas halinde olan yüzey için 0 °C olarak h(W/m<sup>2</sup>K) ısı taşınım katsayısı 25 (W/m<sup>2</sup>K), iç ortamla temas halinde olan yüzey için T<sub>ext</sub>=20 °C, h (W/m<sup>2</sup>K) ısı taşınım katsayısı 7.69 (W/m<sup>2</sup>K) olarak tanımlanmıştır.

Kaplama yapılan yüzeyler Eşitlik (3) ile tanımlanır.

$$Q_{ışınım} = \varepsilon\sigma(T^4 - T_{amb}^4) \quad (3)$$

Bu denklemde  $\sigma$  Stefan-Boltzmann katsayısı,  $\varepsilon$  yayma oranı,  $T_{amb}$  ortam sıcaklığını ifade etmektedir. Buna göre bir yüzeyden ışınlama olan net ısı transferi, yüzeyin yapmış olduğu ışınlama ile yüzeye çevreden olan ışınlama farkıdır. Solar Low-e kaplamasının yayma oranı 0.05 alınırken, kaplamasız olan yüzeylerin yayma oranı ise 0.89 alındı (Altınışık, 2006).

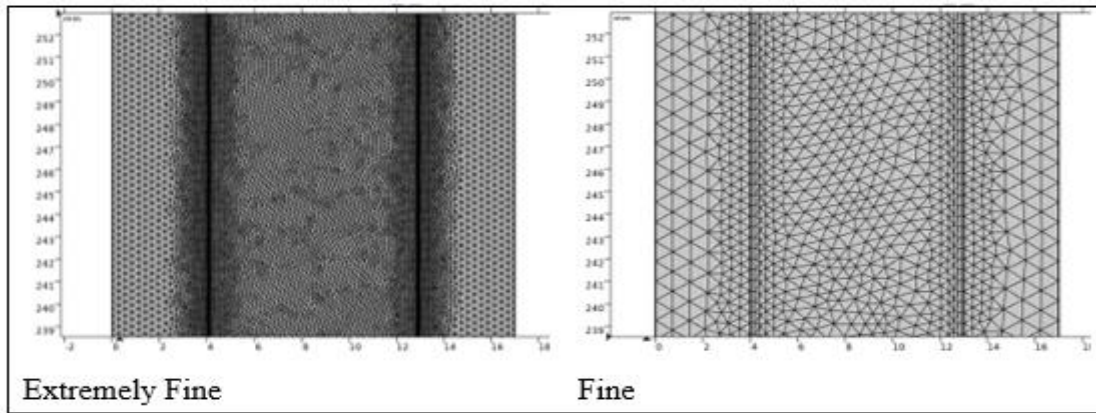
Sonlu hacimler ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda düzgün ve kaliteli bir ağ oluşturmak sonuçların doğruluğu açısından çok önemlidir. Bu yüzden sayısal çalışmalarda ağ kalitesi aranmaktadır. Ancak analizi yapılan geometrilerin karmaşıklığı arttıkça bu ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Sayısal çalışmaların doğrulanmasında başvurulan yöntemlerden birisi de ağdan bağımsızlık testleridir. Sayısal çözümlemede ağ sayısı artmasına rağmen sonuç belli bir değerden sonra değişmiyorsa, çözümlemede ağdan bağımsızlık elde edilmektedir. Comsol üzerinden hesaplamalar yapılmadan önce tüm numuneler için ağ bağımsızlık testi yapılmıştır. Şekil 4’de iki katmanlı argon gazlı klasik cam için yapılan ağ bağımsızlık test grafiği verilmiştir.



Şekil 4. İki katmanlı argon gazlı klasik cam ağ bağımsızlık test grafiği

Figure 4. Two-layer classic glass with argon gas mesh independence test chart

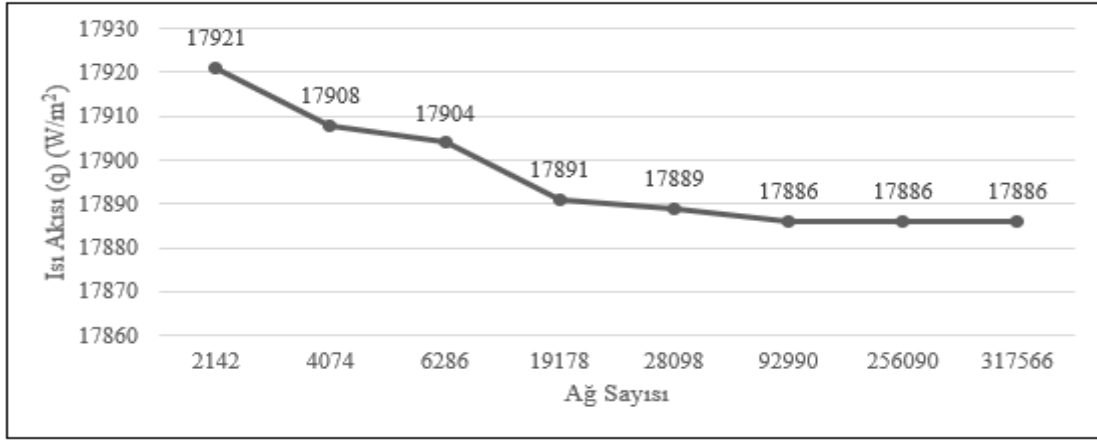
Çift katmanlı argon dolgulu klasik camlar için yapılan ağ bağımsızlık testleri 8 farklı (Extremely Fine, Extra Fine, Fine, Finer, Normal, Coarser, Extra Coarser, Extremely Coarser) ağ yapılarıyla yapılmıştır. Şekil 5’de Extremely Fine, Fine, Coarser, Extra Coarser mesh yapılarına yer verilmiştir. Şekil 4’de görüleceği üzere 103372 adet ağ sayısından sonra yapılan çözümlemelerde  $W/m^2$  değerinde değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden çift katmanlı argon dolgulu klasik cam uygulamalarında ağ eleman sayısı 103372 olarak seçilmiştir.



Şekil 5. Örnek Mesh Ağ Görünümleri

Figure 5. Example Mesh Views





**Şekil 6.** Üç katmanlı argon gazlı klasik cam ağ bağımsızlık test grafiği

**Figure 6.** Classical glass mesh independence test plot with three-layer argon gas

Şekil 6’de görüleceği üzere 92990 adet ağ sayısından sonra yapılan çözümlerinde  $W/m^2$  değerinde değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden Üç katmanlı cam uygulamalarında ağ eleman sayısı 92990 olarak seçilmiştir. Ağ sayısının fazla olması çözümün daha doğru bir sonuç verdiği anlamına gelmemektedir. Çünkü analizi yapılan geometrilerin mesh yapısındaki karmaşıklık arttıkça ağ kalitesinin de bozulduğu durumlar yaşanmaktadır. Ağ sayısının artmasıyla mesh yapısının karmaşası artacaktır ve bu düzgün bir ağ kalitesini elde etmeyi zorlaştırmaktadır.

### 3. Bulgular ve tartışma

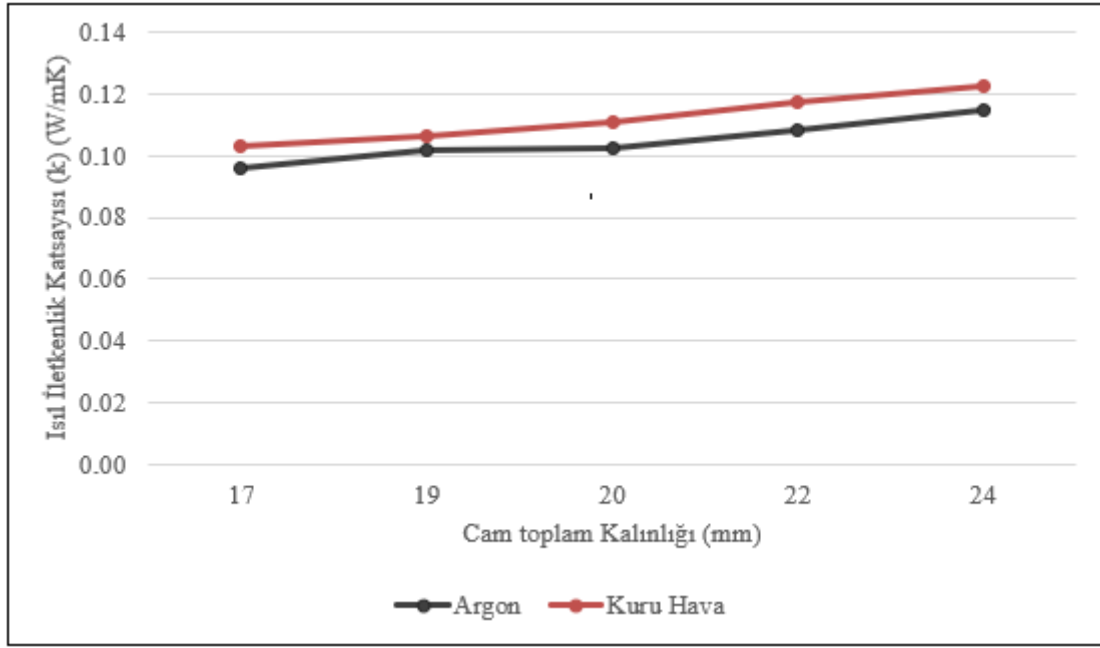
#### 3. Results and discussion

Gaz katman kalınlığının, gaz dolgusu niteliğinin, cam uygulaması katman sayısının ve kaplama özelliğinin, Comsol Multiphysics 5.6, Heat Transfer Modülü programından ve Lasercomp marka HFM Fox-314 ölçüm cihazıyla elde edilen ısı transferi katsayısı ve bu değere bağlı hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik direnci katsayısı üzerine olan etkisi incelenip değerler karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Numunelerin ölçülen ısı transferi katsayısı (k) değerleri

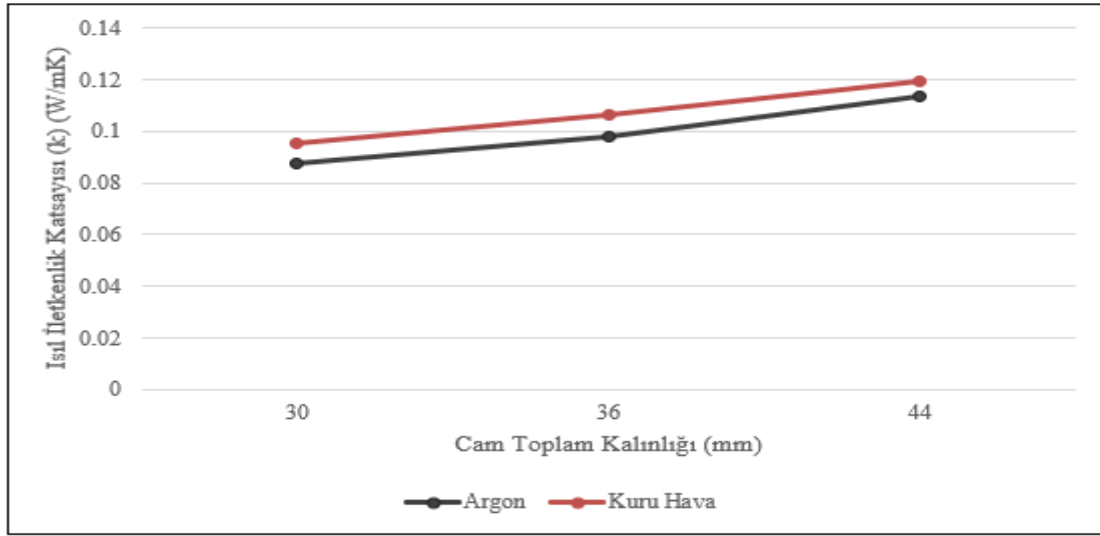
**Table 1.** Measured heat transfer coefficient (k) values of the samples

Cam Özelliği	Deneysel olarak ölçülen k değeri	Sayısal olarak ölçülen k değeri	Sayısal çalışmada kullanılan metodun deneysel olarak ölçülen değere göre doğruluk oranı
4x9x4_Klasik argon	0.095	0.099	%96
4x11x4_Klasik argon	0.102	0.101	%99
4x12x4_Klasik argon	0.102	0.113	%90
4x14x4_Klasik argon	0.108	0.118	%91
4x16x4_Klasik argon	0.114	0.116	%98
4x9x4_Klasik kuru hava	0.102	0.112	%91
4x11x4_Klasik kuru hava	0.106	0.104	%98
4x12x4_Klasik kuru hava	0.110	0.105	%95
4x14x4_Klasik kuru hava	0.117	0.106	%91
4x16x4_Klasik kuru hava	0.122	0.115	%94
4x9x4x9x4_Klasik argon	0.087	0.085	%98
4x12x4x12x4_Klasik argon	0.097	0.099	%98
4x16x4x16x4_Klasik argon	0.113	0.104	%92
4x9x4x9x4_Klasik kuru hava	0.095	0.097	%98
4x12x4x12x4_Klasik kuru hava	0.106	0.099	%93
4x16x4x16x4_Klasik kuru hava	0.119	0.1	%84



**Şekil 7.** İki katmanlı klasik camların Lasercomp marka HFM Fox-314 ölçüm cihazıyla ölçülen k değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 7.** Comparison of k values of two-layer conventional glasses measured with Lasercomp brand HFM Fox-314 measuring device



**Şekil 8.** Üç katmanlı klasik camların Lasercomp marka HFM Fox-314 ölçüm cihazıyla ölçülen k değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 8.** Comparison of k values of three-layer conventional glasses measured with Lasercomp brand HFM Fox-314 measuring device)

Tablo 1’de klasik kaplamaya sahip iki ve üç katmanlı, kuru hava ve argon gazı dolgusuna sahip cam numunelerinin ısı transferi katsayıları, sayısal ve deneysel hesaplamayla elde edilen sonuçları verilmiştir. Şekil 8’de iki katmanlı kuru hava ve argon gazı dolgulu camların deneysel hesaplama sonucu elde edilen sonuçları kendi içinde karşılaştırılması verilirken Şekil 8’da üç katmanlı kuru hava ve argon gazı dolgulu camların deneysel hesaplama sonuçları kendi içinde karşılaştırılması verilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucu iki katmanlı camlarda kuru hava yerine argon kullanıldığında k değeri bazında hesaplamalar yapıldığında; 9 mm, 11 mm, 12 mm 14 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %6.8, %4.13, %7.57, %7.6 ve %6.12 oranında daha iyi sonuç verildiği elde edilmiştir.

Üç katmanlı camlarda kuru hava yerine argon kullanıldığında ise k değerinde; 9 mm, 12 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %8.42, %8.5, %5.04 oranında daha iyi sonuç verildiği elde edilmiştir.

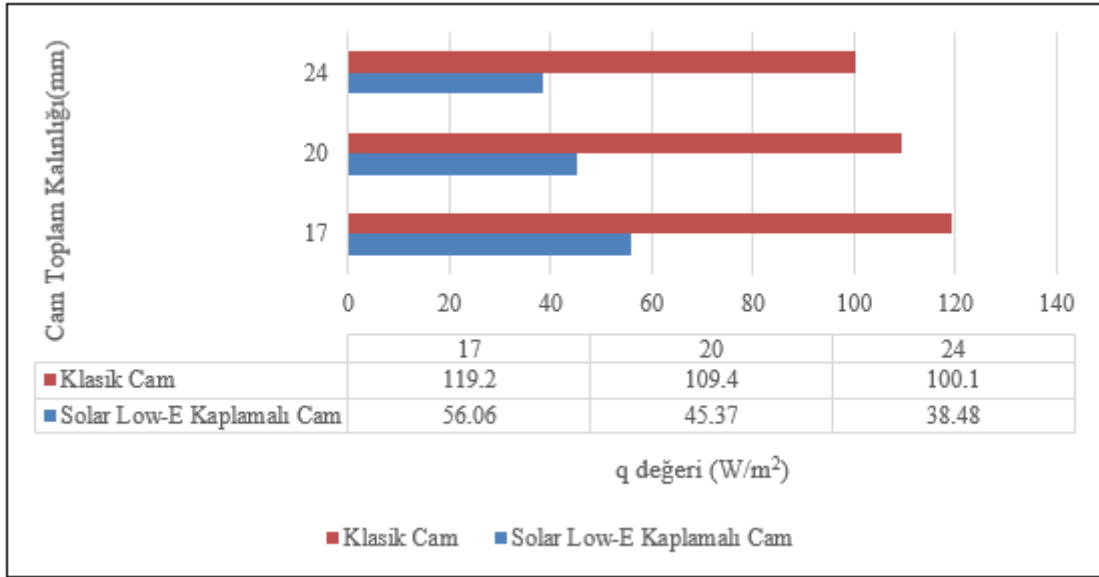
**Tablo 2.** Numunelerin ölçülen k değerlerine bağlı hesaplanan Isıl geçirgenlik direnci katsayısı (R) değerleri  
**Table 2.** Thermal permeability coefficient (R) values calculated based on the measured k values of the samples

Cam Özelliği	Deneysel olarak ölçülen k değerine bağlı hesaplanan R değeri	Sayısal olarak ölçülen k değerine bağlı hesaplanan R değeri	Sayısal çalışmada kullanılan metodun deneysel olarak ölçülen değere göre doğruluk oranı
4x9x4_Klasik argon	0.177	0.171	%97
4x12x4_Klasik argon	0.195	0.176	%90
4x16x4_Klasik argon	0.208	0.206	%99
4x9x4x9x4_Klasik argon	0.342	0.353	%97
4x12x4x12x4_Klasik argon	0.367	0.363	%99
4x16x4x16x4_Klasik argon	0.388	0.422	%92
4x9x4_Klasik kuru hava	0.165	0.151	%91
4x12x4_Klasik kuru hava	0.18	0.193	%93
4x16x4_Klasik kuru hava	0.196	0.208	%94
4x9x4x9x4_Klasik kuru hava	0.313	0.34	%92
4x12x4x12x4_Klasik kuru hava	0.338	0.426	%79
4x16x4x16x4_Klasik kuru hava	0.369	0.469	%79
4x9x4_SolarE argon	0.372	0.359	%97
4x12x4_SolarE argon	0.51	0.446	%87
4x16x4_SolarE argon	0.563	0.463	%82
4x9x4x9x4_SolarE argon	0.533	0.528	%99
4x12x4x12x4_SolarE argon	0.664	0.613	%92
4x16x4x16x4_SolarE argon	0.697	0.665	%95

Tablo 1’de kaplama özelliğine bakılmaksızın katman sayısının ısı yalıtımı üzerine etkisi incelenirken Tablo 2’de kaplama özelliğinin ısı yalıtımı üzerine etkisi incelendiği için deney numuneleri ona göre seçilip karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 2 ‘de klasik ve Solar Low-e kaplamaya sahip iki ve üç katmanlı, kuru hava ve argon gazı dolgusuna sahip cam numunelerinin ısı geçirgenlik direnci katsayıları, sayısal ve deneysel hesaplamayla elde edilen sonuçları verilmiştir. Argon gazı dolgulu klasik camlarda iki katmanlı yerine üç katmanlı cam uygulandığında ısı direnç katsayısının, 9 mm gaz katmanı kalınlığında %51.55, 12 mm gaz katmanı kalınlığında %51.51, 16 mm gaz katmanı kalınlığında ise %51.18 oranında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Solar Low-E cam argon dolgulu iki katmanlı yerine Solar Low-E cam argon dolgulu üç katmanlı cam uygulandığında ısı direnç katsayısının, 9 mm gaz katmanı kalınlığında %30.2, 12 mm gaz katmanı kalınlığında %23.19, 16 mm gaz katmanı kalınlığında ise %19.22 oranında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Solar Low-E cam kuru hava dolgulu iki katmanlı yerine Solar Low-E cam kuru hava dolgulu üç katmanlı cam uygulandığında ısı direnç katsayısının, 9 mm g gaz katmanı kalınlığında %8.3, 12 mm gaz katmanı kalınlığında %5.84, 16 mm gaz katmanı kalınlığında ise %2.53 oranında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

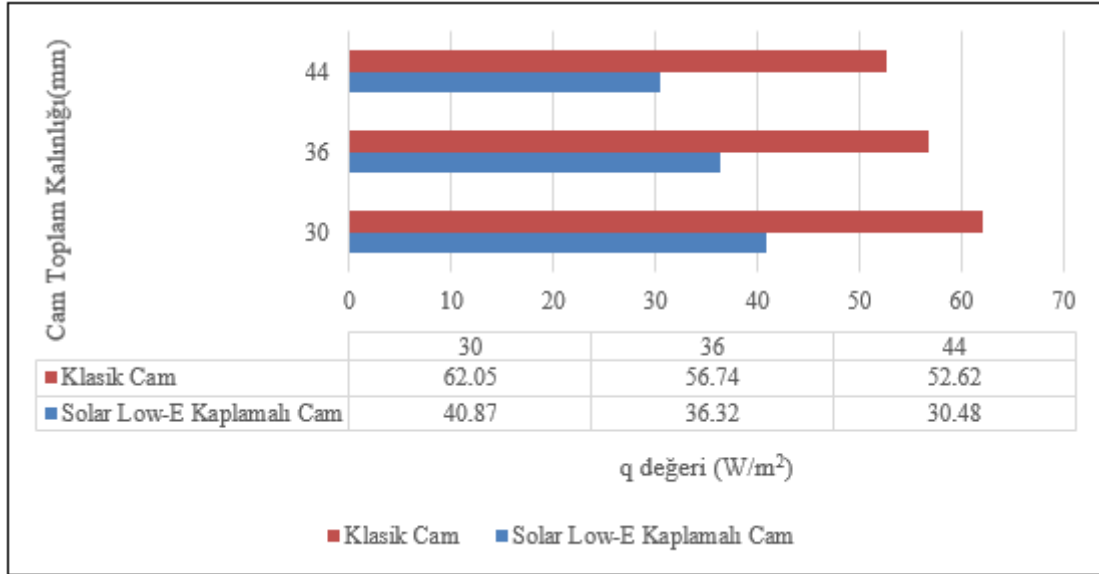
Çift katmanlı ve üç katmanlı cam numunelerinin değişen kaplama özellikleri ve gaz dolgusu nitelikleri parametreleri doğrultusunda hesaplanan ısı direnç değerlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- 1-Kuru hava dolgulu klasik camlarda iki katmanlı cam uygulaması yerine üç katmanlı cam uygulaması kullanılması halinde ortalama olarak % 44.85,
- 2-Argon dolgulu klasik camlarda iki katmanlı cam uygulaması yerine üç katmanlı cam uygulaması kullanılması halinde ortalama olarak % 51.41,
- 3-Kuru hava dolgulu Solar Low-e kaplamalı camlarda iki katmanlı cam uygulaması yerine üç katmanlı cam uygulaması kullanılması halinde ortalama olarak % 5.55,
- 4-Argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı camlarda iki katmanlı cam uygulaması yerine üç katmanlı cam uygulaması kullanılması halinde ortalama olarak %24.2 oranında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.



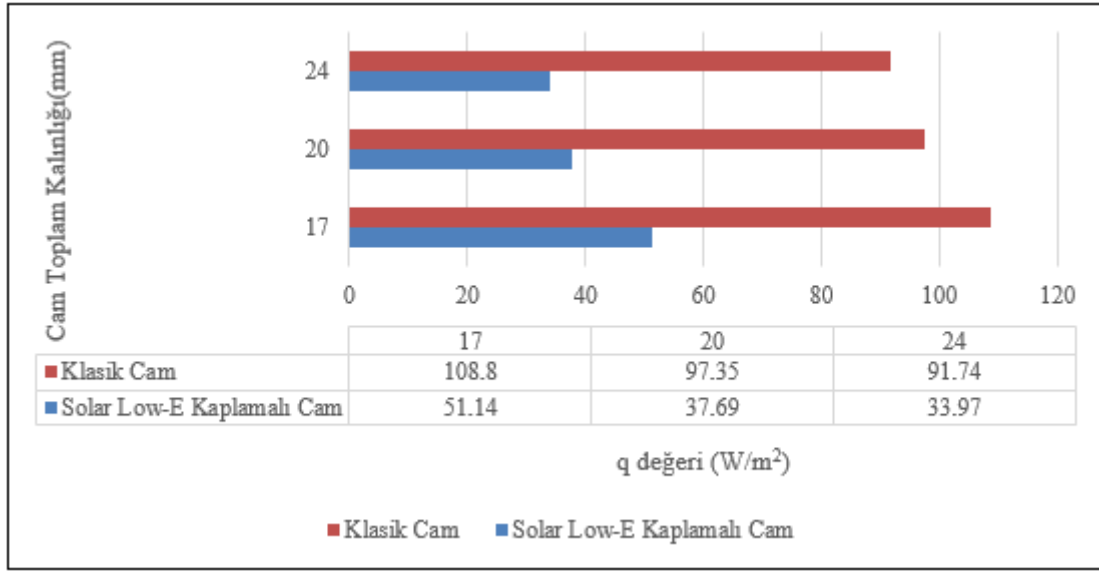
**Şekil 9.** Kuru hava dolgulu farklı dolgu kalınlığına sahip iki katmanlı camların q değerinin karşılaştırılması  
**Figure 9.** Comparison of the q value of two-layer glasses with different filling thicknesses filled with dry air

Şekil 9’da iki katmanlı kuru hava dolgulu camların deneysel hesaplama sonucunda ölçülen ısı akış yoğunlukları verilmiştir ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Isı akış yoğunluğu katsayısında (q), iki katmanlı kuru hava dolgulu klasik cam uygulamaları yerine iki katmanlı kuru hava dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamaları kullanıldığında; 9 mm, 12 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %53, %58.52, %61.55 oranında daha iyi sonuç verildiği tespit edilmiştir.



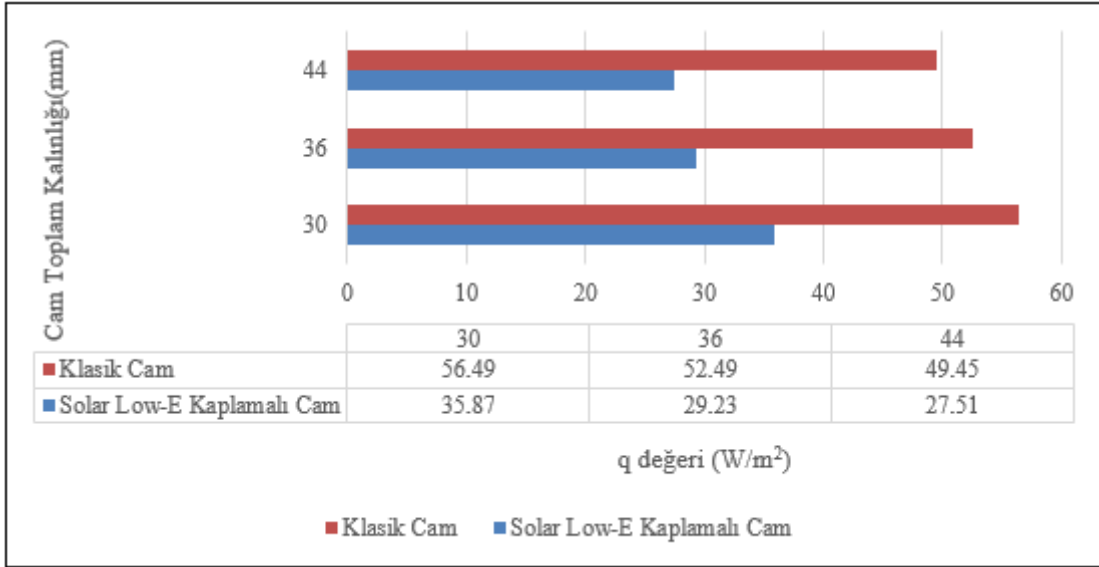
**Şekil 10.** Kuru hava dolgulu farklı dolgu kalınlığına sahip üç katmanlı camların q değerinin karşılaştırılması  
**Figure 10.** Comparison of the q value of three-layer glasses with different filling thicknesses filled with dry air

Şekil 10’da üç katmanlı kuru hava dolgulu camların deneysel hesaplama sonucunda ölçülen ısı akış yoğunlukları verilmiştir ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Isı akış yoğunluğu bazında hesapları yapıldığında üç katmanlı kuru hava dolgulu klasik cam uygulamaları yerine üç katmanlı kuru hava dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamaları kullanıldığında; 9 mm, 12 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %34.15, %35.45, %42.07 oranında daha iyi sonuç verildiği elde edilmiştir.



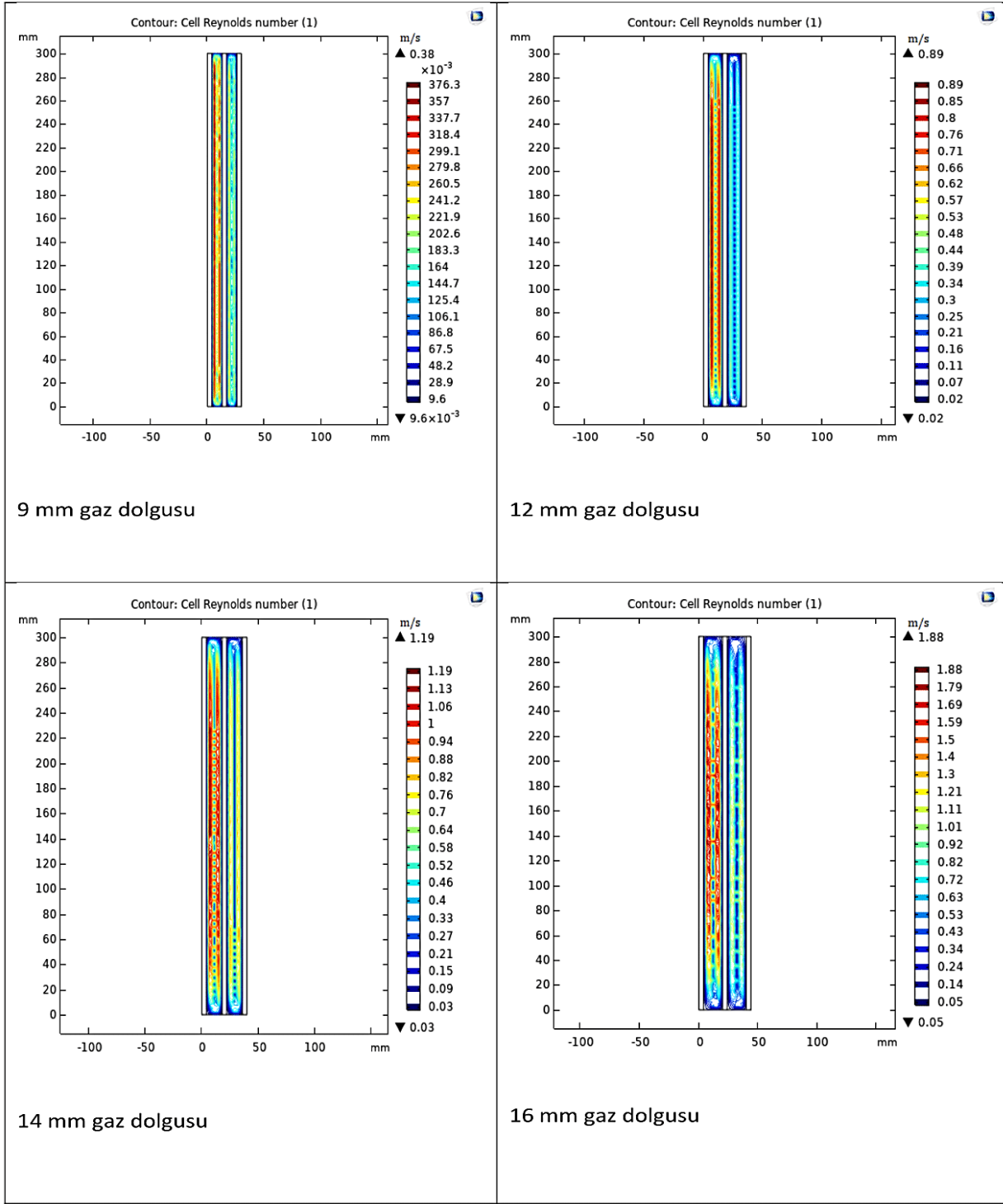
**Şekil 11.** Argon dolgulu farklı dolgu kalınlığına sahip iki katmanlı camların q değerinin karşılaştırılması  
**Figure 11.** Comparison of the q value of argon filled two-layer glasses with different filling thicknesses

Şekil 11 'de iki katmanlı argon dolgulu camların deneysel hesaplama sonucunda ölçülen ısı akış yoğunlukları verilmiştir ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Isı akış yoğunluğu bazında hesaplamalar yapıldığında iki katmanlı argon dolgulu klasik cam uygulamaları yerine üç katmanlı argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamaları kullanıldığında; 9 mm, 12 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %53, %61.28, %62.97 oranında daha iyi sonuç verildiği elde edilmiştir.



**Şekil 12.** Argon dolgulu farklı dolgu kalınlığına sahip üç katmanlı camların q değerinin karşılaştırılması  
**Figure 12.** Comparison of the q value of argon-filled three-layer glasses with different filling thicknesses

Şekil 12'de üç katmanlı argon dolgulu camların deneysel hesaplama sonucunda ölçülen ısı akış yoğunlukları verilmiştir ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Isı akış yoğunluğu bazında hesaplamalar yapıldığında üç katmanlı argon dolgulu klasik cam uygulamaları yerine üç katmanlı argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamaları kullanıldığında; 9 mm, 12 mm ve 16 mm hava dolgusuna sahip camlarda sırasıyla %36.5, %44.31, %44.14 oranında daha iyi sonuç verildiği elde edilmiştir.



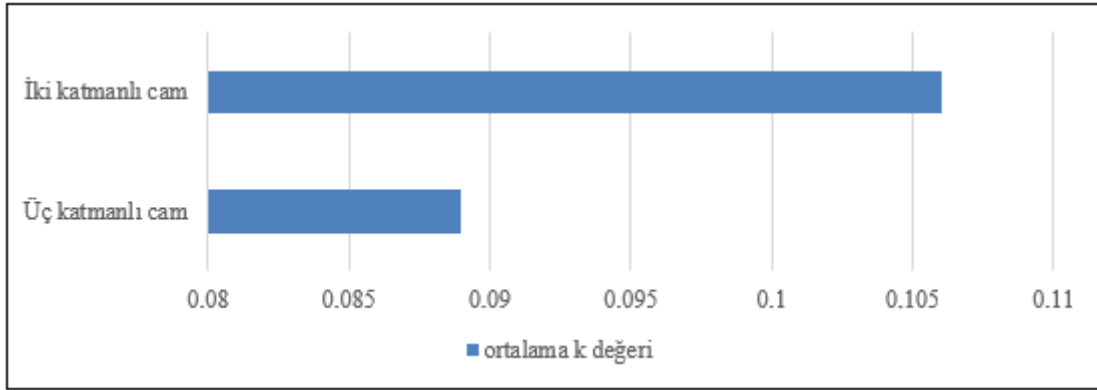
**Şekil 13.** Üç katmanlı argon dolgulu 9,12,14,16 mm ara katman kalınlıklarındaki klasik camların gaz dolgusu içerisindeki hız profili

**Figure 13.** Velocity profile of three-layer argon-filled conventional glasses with 9,12,14,16 mm interlayer thicknesses in gas filling

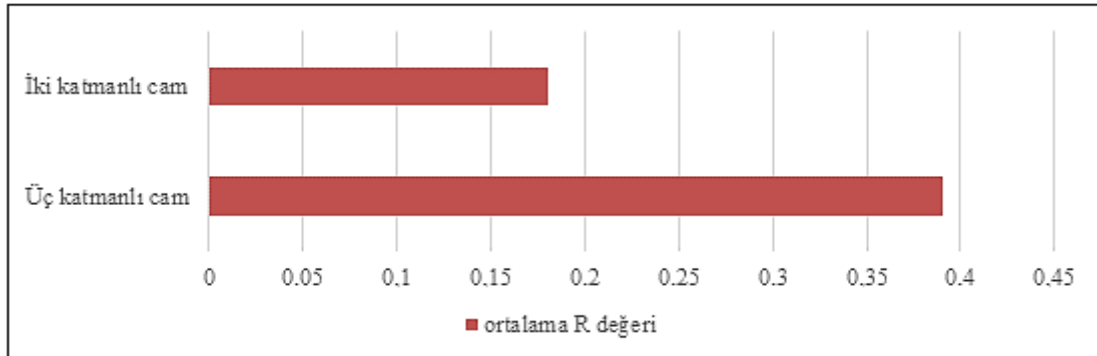
Şekil 13’de üç katmanlı argon dolgulu 9,12,14,16 mm ara katman kalınlıklarındaki klasik camların gaz dolgusu içerisindeki hız profilleri verilip karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 13’de görüldüğü gibi gaz dolgu kalınlığı arttıkça gaz katmanının içerisindeki gazın hızının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum gaz dolgu kalınlığının artmasıyla birlikte katman arasında hava hareketi başlar ve kaldırma kuvveti, akışkan direncini yenemediğinde iletim yoluyla ısı transferi gerçekleşir. Kaldırma kuvveti, akışkan direncini yendiğinde Bernard hücreleri olarak adlandırılan ve sekizgen hücre biçiminde olduğu gözlemlenen laminar akış başlayacağı için taşınımın ısı transferi gerçekleşir. Kaldırma kuvveti, akışkan direncini yenemediği zaman Bernard hücreleri bozulur ve akış türbülanslı olur (Pul vd., 2015). Bundan dolayı hava tabakasının kalınlığı arttıkça ısı iletkenlik katsayısının

da arttığı gözlemlenmiştir. Optimum hava tabakası kalınlığına kadar taşınım ile olan ısı transferi engellenmektedir. Bu durum pencerelerde optimum hava tabakasının üzerine çıkılması negatif etki oluşturmaktadır. Dış duvarlardaki ısı kayıpları en fazla pencerelerde olduğu için, pencerelerde ısı kaybını azaltacak yalıtım tekniklerini geliştirmek önem arz etmektedir (Ertürk vd., 2016).

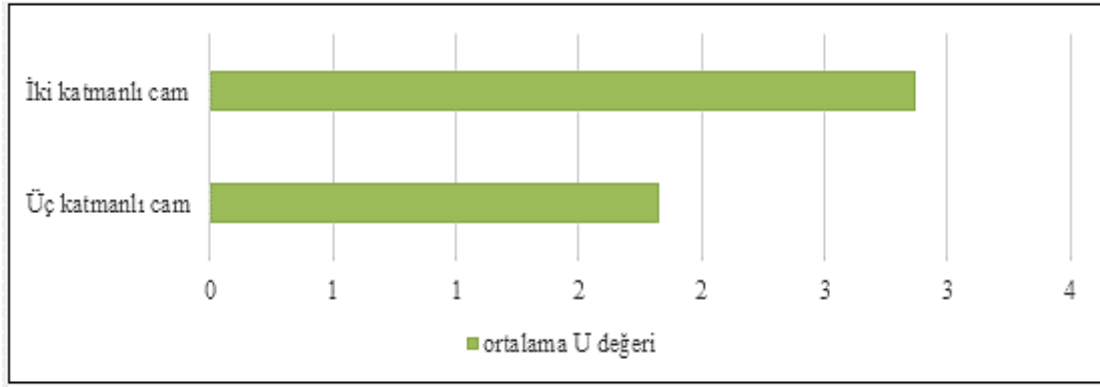
Bu çalışmada Isparta ili için optimum cam katman sayısı, cam kaplaması, gaz dolgusu kalınlığı, gaz dolgusunun niteliği de araştırılıp belirlenmiştir. Araştırmalar sonucu üç katmanlı cam uygulamaları, çift katmanlı cam uygulamalarına oranla ısı iletiminde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Isı iletimi üç katmanlı camlarda oldukça azalmıştır. Örneğin 9 mm gaz dolgusuna sahip argon dolgulu klasik cam uygulamalarında iki katmanlıda ısı iletim katsayısı 0.095 iken üç katmanlıda ısı iletim katsayısı 0.087 çıkmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı ise maddenin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren bir niceliktir. Isıl iletkenlik katsayısının değeri ne kadar yüksekse madde daha iyi bir iletken, tam tersi ne kadar düşükse daha iyi bir yalıtıktır anlamına gelir. Ayrıca kullanılan cam sistemlerinde kalınlığın artması ve gaz dolgusunun kalınlığının 16 – 20 mm mesafelerini geçmeyecek biçimde artırılması ısı konforu ve ses kontrolü bakımından daha olumlu sonuç vermiştir. Örneğin iki katmanlı kuru hava dolgulu klasik cam uygulamalarında 9 mm gaz dolgusunda ısı geçirgenlik katsayısı 3.2 iken 16 mm gaz dolgusunda Isıl geçirgenlik katsayısı 2.63 çıkmıştır. U değerinin küçük olması maddenin ısıl geçirgenliğinin yani ısı kaybının da düşük olduğu anlamına gelir. İki katmanlı cam uygulamalarında gaz dolgusu kalınlığı olarak genellikle 12 mm veya 16 mm kullanılmaktadır. Gaz dolgusu kalınlığı arttıkça camın ısı yalıtım özelliği, değeri de artmaktadır. Ayrıca gaz dolgusu olarak kuru havanın dışında argon gazı da kullanıldığı görülmektedir. Kuru hava yerine argon gazının kullanıldığı cam uygulamalarında ısı yalıtımı daha iyi sonuç vermektedir. Örneğin aynı kaplamaya, katmana ve aynı kalınlığa sahip (iki katmanlı 11 mm gaz dolgulu klasik cam) cam uygulamalarında argon gazı kullanılan numunede k değeri 0.102 iken kuru hava ile doldurulan numunede bu değer 0.106 olarak ölçülmüştür.



**Şekil 14.** İki katmanlı ve üç katmanlı cam uygulamalarının ortalama k değerlerinin karşılaştırılması  
**Figure 14.** Comparison of average k values of two-layer and three-layer glass applications

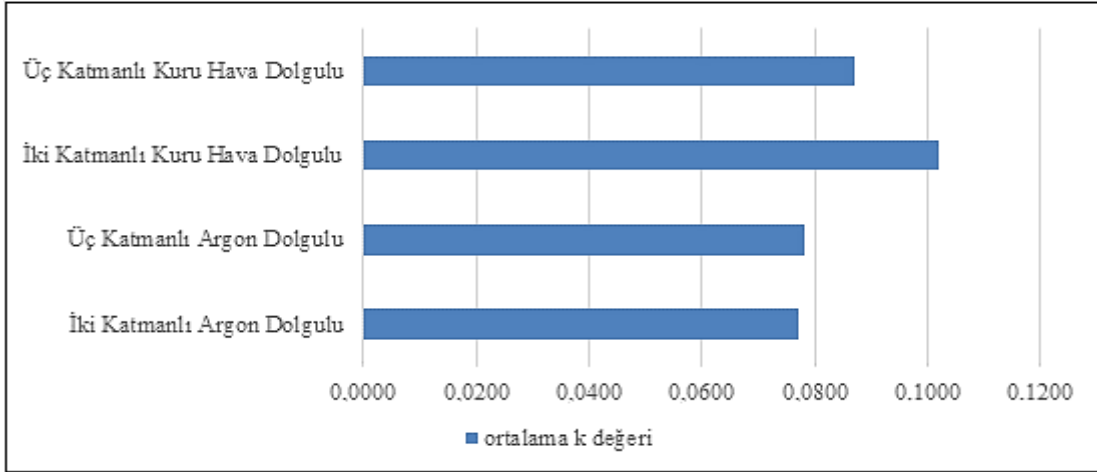


**Şekil 15.** İki katmanlı ve üç katmanlı cam uygulamalarının ortalama R değerlerinin karşılaştırılması  
**Figure 15.** Comparison of average R values of two-layer and three-layer glass applications

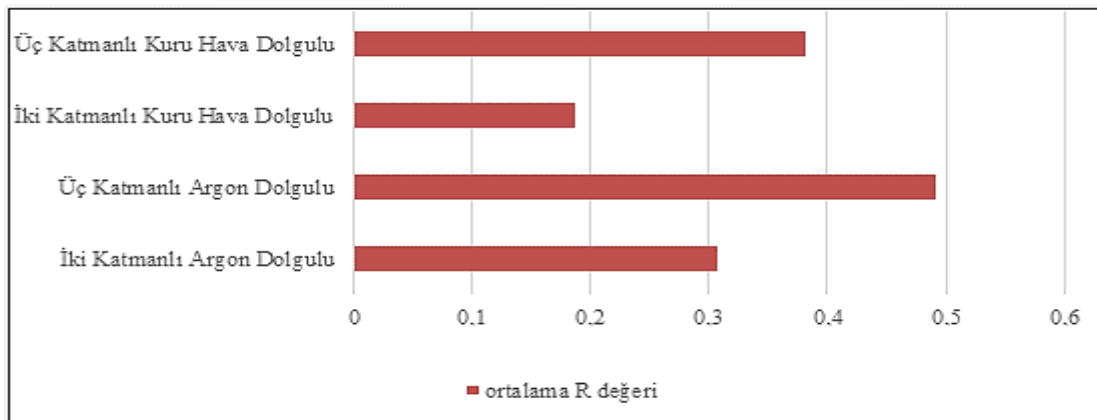


**Şekil 16.** İki katmanlı ve üç katmanlı cam uygulamalarının ortalama U değerlerinin karşılaştırılması  
**Figure 16.** Comparison of average U values of two-layer and three-layer glass applications

Isparta ili için yapılan hesaplamalarda ve Şekil 15- 17'de görüldüğü gibi iki katmanlı cam yerine üç katmanlı cam uygulamaları kullanıldığında ısı iletimi %12.5 oranında azalma, ısı direncinde %19.6 oranında artış, ısı geçirgenlikte ise %33 oranında azalma görülmüştür. Isı transferinde ise yaklaşık olarak %34 azalma olmuştur. Bu sonuçtan yola çıkacak olursak eğer, ısı tasarrufu için çift katmanlı camlar yerine üç katmanlı camın tercih edilmesi gerekmektedir.

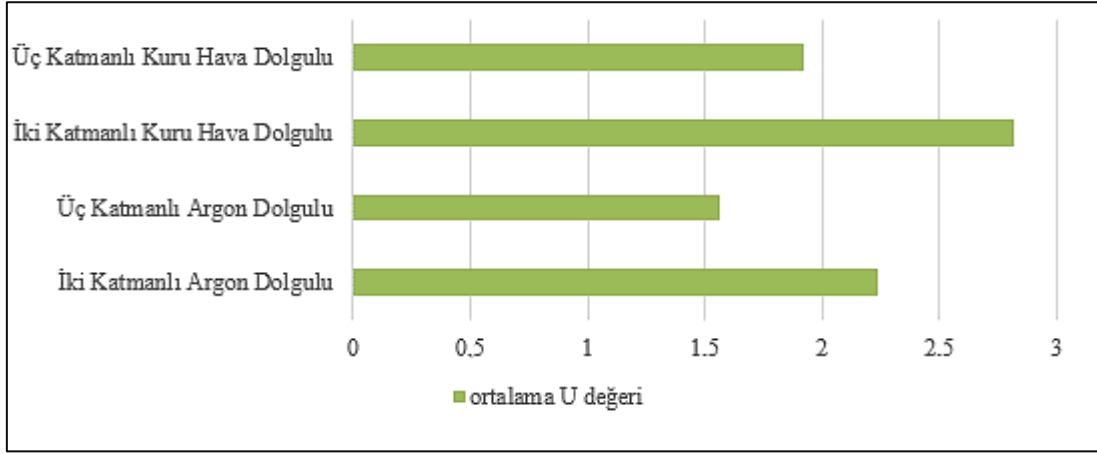


**Şekil 17.** İki ve üç katmanlı camların gaz dolgu bazında ortalama k değerlerinin karşılaştırılması  
**Figure 17.** Comparison of the average k values of two- and three-layer glasses on the basis of gas fill



**Şekil 18.** İki ve üç katmanlı camların gaz dolgu bazında ortalama R değerlerinin karşılaştırılması  
**Figure 18.** Comparison of the average R values of two- and three-layer glasses on the basis of gas fill

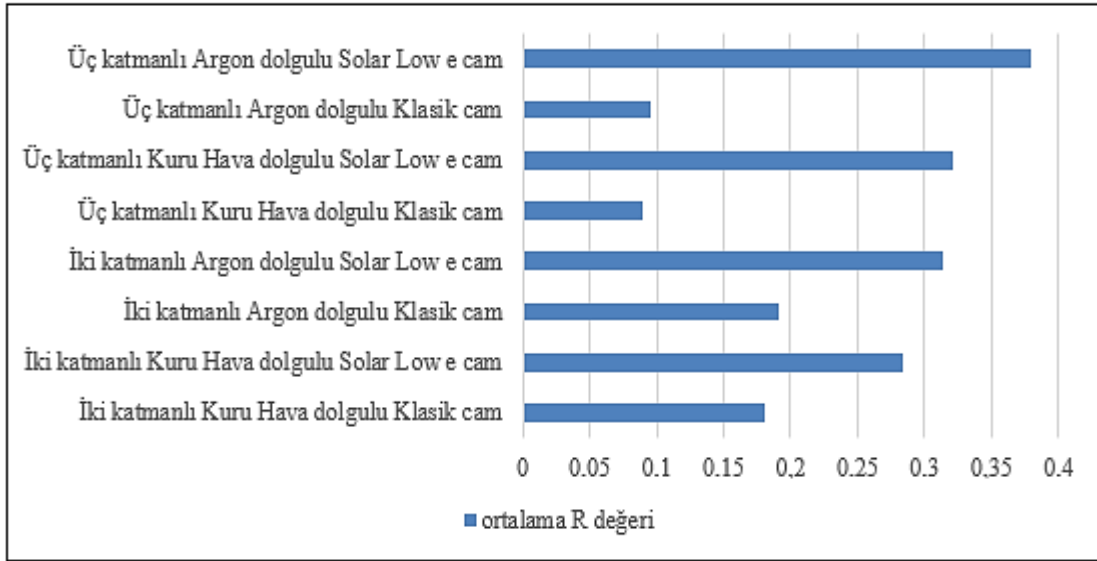




**Şekil 19.** İki ve üç katmanlı camların gaz dolgu bazında ortalama U değerlerinin karşılaştırılması

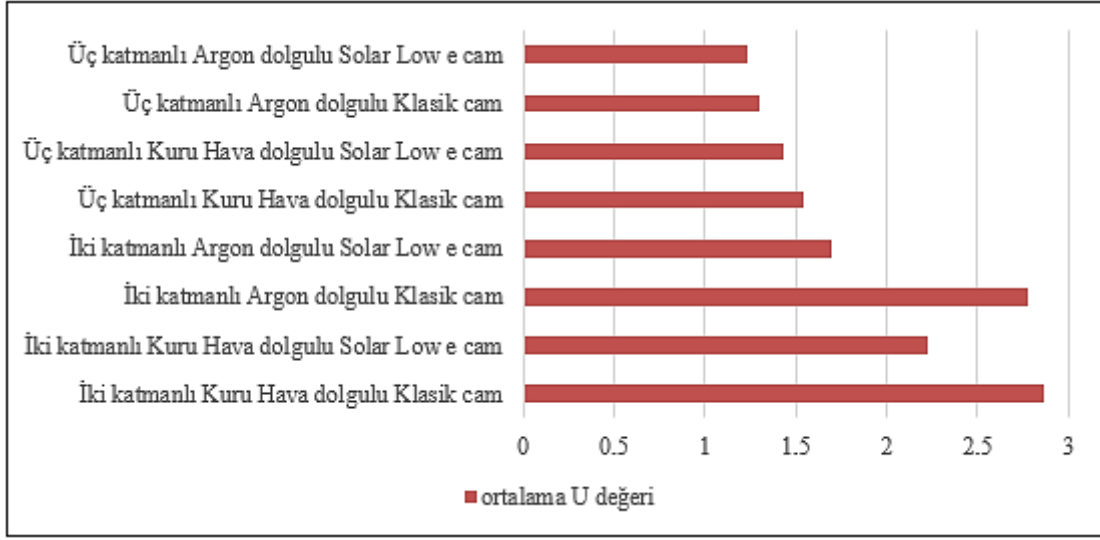
**Figure 19.** Comparison of the average U values of two- and three-layer glasses on the basis of gas fill

Yapılan hesaplamalar sonucu ve Şekil 17- 19'da görüldüğü gibi üç katmanlı argon dolgulu cam uygulamasının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Üç katmanlı argon dolgulu camın ısı iletimi, iki katmanlı argon dolgusuna oranla %2, iki katmanlı kuru hava dolgusuna oranla %31.5 üç katmanlı kuru hava dolgusuna ise %10 oranla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sonuç olarak ısı tasarrufu için üç katmanlı ve argon dolgulu cam uygulamalarının tercih edilmesi önerilmektedir.



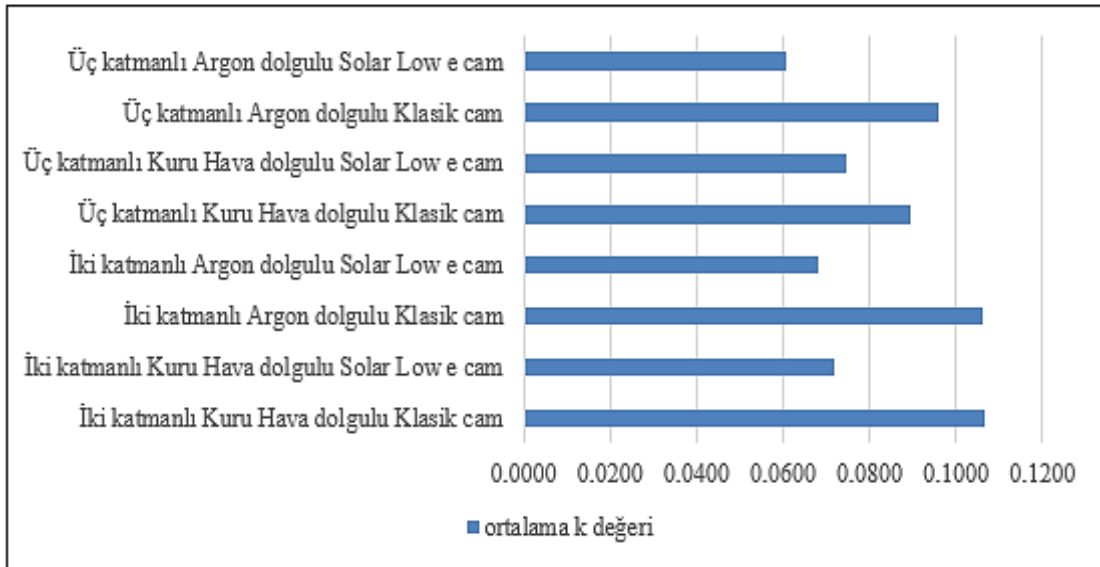
**Şekil 20.** Cam kaplama niteliklerine göre farklı cam kalınlıklarına sahip cam uygulamalarının ortalaması alınan R değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 20.** Comparison of averaged R values of glass applications with different glass thicknesses according to glass coating qualities



**Şekil 21.** Cam kaplama niteliklerine göre farklı cam kalınlıklarına sahip cam uygulamalarının ortalaması alınan U değerlerinin karşılaştırılması

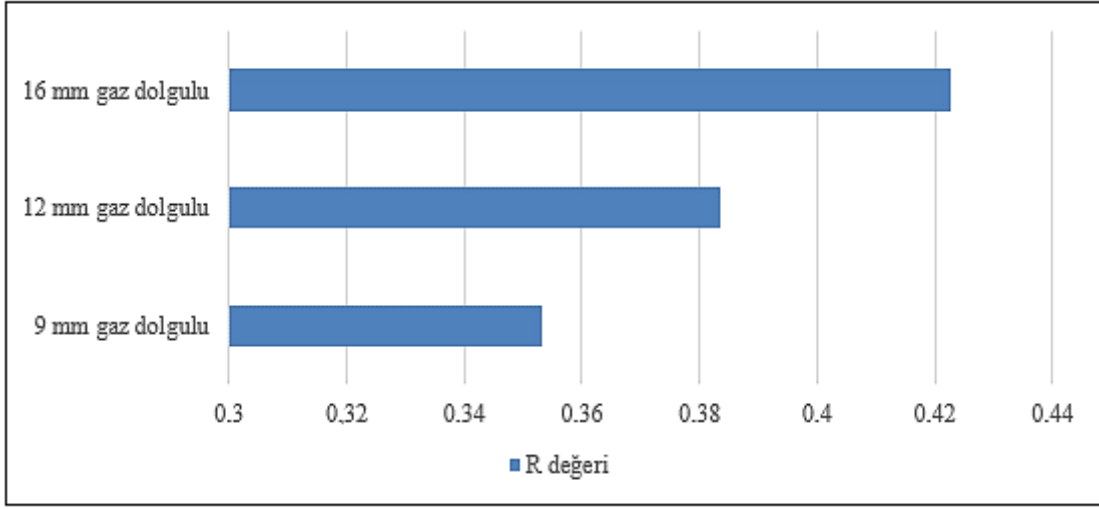
**Figure 21.** Comparison of averaged U values of glass applications with different glass thicknesses according to glass coating qualities



**Şekil 22.** Cam kaplama niteliklerine göre farklı cam kalınlıklarına sahip cam uygulamalarının ortalaması alınan k değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 22.** Comparison of averaged k values of glass applications with different glass thicknesses according to glass coating qualities

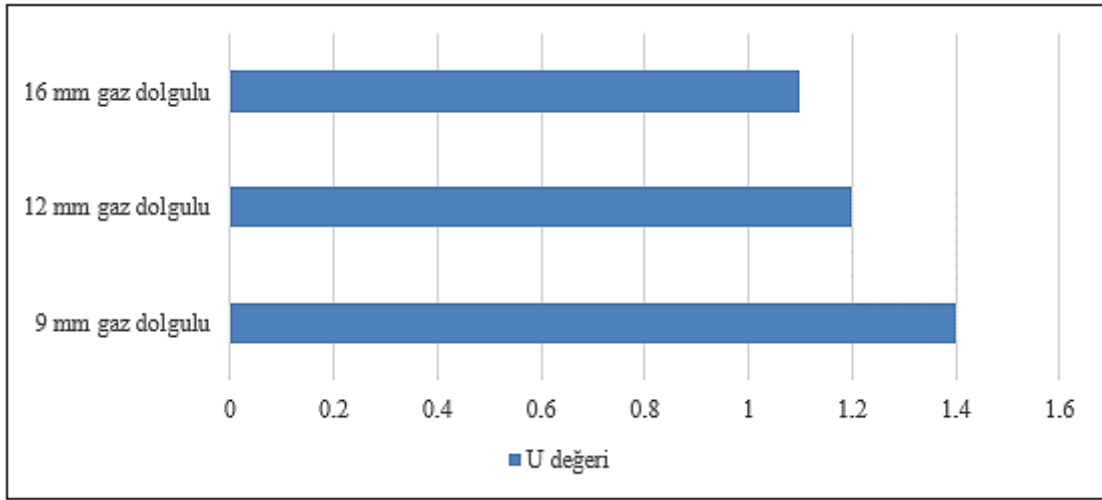
Isıl geçirgenlik katsayısının ve ısı iletkenlik katsayısının daha düşük olması yalıtkanlık bakımından daha iyi olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca ısı direnç katsayısının daha büyük olması yalıtkanlık özelliğinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Şekil 20 - 22 incelendiğinde ısı geçirgenliğinin ve ısı iletkenlik katsayısının en küçük, ısı direncinin ise en büyük olduğu üç katmanlı argon dolgulu Solar Low-e cam uygulamasının olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 23.** Üç katmanlı argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamalarında gaz dolgusu kalınlığına göre R değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 23.** Comparison of R values according to gas fill thickness in three-layer argon filled Solar Low-e coated glass applications

Şekil 23’de üç katmanlı Solar Low-e kaplamalı ve argon dolgulu cam numunelerinin ısı direnci özelliği karşılaştırılmıştır. Bu bakımdan en yüksek performansı 16 mm’lik gaz dolgusu kalınlığına sahip cam numunesinin gösterdiği görülmüştür.



**Şekil 24.** Üç katmanlı argon dolgulu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamalarında gaz dolgusu kalınlığına göre U değerlerinin karşılaştırılması

**Figure 24.** Comparison of U values according to gas fill thickness in three-layer argon filled Solar Low-e coated glass applications

Şekil 24’de üç katmanlı Solar Low-e kaplamalı ve argon dolgulu cam numunelerinin ısı geçirgenlik özelliği karşılaştırılmıştır. Isı geçirgenliğinin en az olduğu yani en iyi performansı 16 mm’lik gaz dolgusu kalınlığına sahip cam numunesinin gösterdiği görülmüştür.

Şekil 23 ve 24’de görüldüğü gibi 16 mm kalınlığındaki gaz dolgusuna sahip cam uygulamasının düşük ısı geçirgenlik ve yüksek ısı direnci verileriyle diğer cam uygulamalarına oranla daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

## 4. Sonuçlar

### 4. Conclusions

Isparta ili için hesaplanan ölçümler ve karşılaştırmalar ışığında ele alınan cam numuneleri arasından Isparta ili için en ideal üç katmanlı argon dolgulu, gaz dolgusunun 16 mm olduğu Solar Low-e kaplamalı cam uygulamasının olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca TS 825'te tavsiye edilen U değeri  $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den daha bir iyi sonuç veren üç katmanlı Solar Low-e 16 mm argon gaz dolgusuna sahip camın U değeri  $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak hesaplanmıştır. TS 825 standardına bakıldığı zaman Isparta ilinin 3. Bölgede yer aldığı görülür. Standardın bölge göre verilen ısı geçirgenlik tablosunda 3. Bölgede yer alan Isparta ili için uygun görülen ısı geçirgenlik katsayısı değeri  $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir (Atmaca, 2016).

DeneySEL olarak ölçülen k değerine bağlı hesaplanan U değerlerinden, TS 825'e göre tavsiyen edilen U değerine ( $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) göre ısı geçirgenlik katsayısı uygun olan cam numuneler;

- 3 katmanlı klasik 11 mm kuru hava gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı klasik 12 mm kuru hava gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı klasik 14 mm kuru hava gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı klasik 16 mm kuru hava gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı klasik 12 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı klasik 16 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 2 katmanlı Solar Low-e 9 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 2 katmanlı Solar Low-e 12 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 2 katmanlı Solar Low-e 16 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı Solar Low-e 9 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı Solar Low-e 12 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3 katmanlı Solar Low-e 16 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi  $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Yukarıda verildiği gibi 2 adet cam numunesinin (2 katmanlı Solar Low-e 9 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi ve 3 katmanlı klasik 12 mm argon gaz dolgusuna sahip cam numunesi) TS 825'te uygun görülen U değerine ( $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), diğer 10 adet cam numunesinin ise bu uygun görülen U değerinden daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca Isparta ili için iki katmanlı, kaplamasız ve 16 mm kuru hava dolgu kalınlığına sahip cam uygulaması ( $k=0.122$ ) yerine üç katmanlı solar low-e kaplamalı ve 16 mm argon dolgu kalınlığına sahip cam uygulaması ( $k=0.063$ ) kullanıldığında verimin %48.3 oranında iyileştirildiği hesaplanmıştır.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Bu çalışma Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2021-YL1-0116 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış/yapacak oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

## Semboller

### Symbols

A	Alan ( $\text{m}^2$ )
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
h	Isı taşınım katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
k	Isı iletkenlik katsayısı ( $\text{W/mK}$ )
q	Isı akısı ( $\text{W/m}^2$ )
Q	Isı kaybı (W)
Q <sub>ışınım</sub>	Işınım ile olan ısı kaybı (W)
R	Isıl geçirgenlik direnci ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
T	Sıcaklık (K)
T <sub>amb</sub>	Ortam sıcaklığını (K)
T <sub>ext</sub>	Ortam sıcaklığı (K)
TS 825	Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Türk Standardı

TS EN 12667	Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performansları-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamuller
$U$	Isı geçirgenlik katsayısı ( $W/m^2K$ )
$\Delta T$	Sıcaklık farkı ( $K$ )
$\Delta x$	Kalınlık farkı ( $m$ )
$\varepsilon$	Yayma oranı
$\sigma$	Stefan-Boltzmann katsayısı ( $W/m^2 K^4$ )

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Tüm yazarlar bu makalenin hazırlanmasına katkıda bulunmuş ve metin üzerinde iş birliği yapmıştır. Araştırmacılarından Nilsu OĞULTEKİN, literatür taraması ve teorik çerçeve oluşturma aşamalarında, Comsol programında çizimlerin yapılması, veri toplama sürecine katkı sağlamış ve yazım aşamasında görev almıştır. Doç. Dr. Murat KORU proje fikrinin oluşturulması ve geliştirilmesi, araştırmanın tasarımı ve yöntemleri üzerinde çalışmış, HFM Fox-314 ölçüm cihazıyla ısı iletkenlik katsayılarının ölçülmesinde, verilerin toplanıp analiz edilmesinde, literatür taramasında, makale yazımının düzenlenmesinde, ilgili tablo verilerinin yorumlanmasında katkıda bulunmuştur.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

#### References

- Aksoy, M. A., Keçeciler, A. & Onural, A. Ş. (2001). *Konutlarda Isı Yalıtımı Yöntemlerinde Ekonomik Uygulamalar*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi. Mart 23-25, Eskişehir, 81-86.
- Altınışık, K. (2006). *Isı yalıtımı*. Ankara: Nobel Yayınevi
- Arıcı, M., Karabay, H. & Kan, M. (2015). Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows. *Energy and Buildings*, 86, 394–402. doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.043.
- Aşık, M. Z. & Tezcan, S. (2005). A mathematical model for the behavior of laminated glass beams. *Computers and Structures*, 83, 1742-1753. doi:10.1016/j.compstruc.2005.02.020.
- Aşık, M. Z., Dural, E., Yetmez, M. & Uzhan, T. (2014). A mathematical model for the behavior of laminated uniformly curved glass beams. *Composites Part B: Eng*, 58, 593-604. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.11.004.
- Atmaca, U. (2016). Ts 825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardındaki güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*, 154, 21-35.
- Duer, K., Svendsen, S., Moller, M. & Birck, J. (2002). Energy labelling of glazings and windows in Denmark: calculated and measured values. *Solar Energy*, 73(1), 23–31. doi:10.1016/S0038-092X(02)00031-2.
- Ekosmart (t.y.). *Enerji verimliliği*. <https://ekosmart.com.tr/enerji-verimliliği.html> (Son erişim tarihi: 13.08.2023)

- Ertürk, M., Pul, H., Daşdemir, A., Coşkun, C. & Oktay, Z. (2016). Pencereelerde Birbirine Paralel Farklı Tabaka Halinde Hava Boşluğunun Enerji Tüketimine Etkisinin Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2016) 646-654.
- Eti Yazılım Merkezi (t.y.). *Comsol Multiphysics*. <http://www.eti.com.tr/urun.aspx?Marka=Comsol&ContentId=617&CategoryId=15&MnId=244>. (Son erişim tarihi: 01.03.2023)
- ETKB-Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı. (2018). *2018 Yılı Enerji Dengesi*. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (Son erişim tarihi: 06.12.2021)
- Etzion, Y. & Erell, E. (2000). Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. *Building and Environment*, 35(5), 433–444. doi:10.1016/S0360-1323(99)00039-6.
- Fıratpen (t.y.). *Pencereelerde camın önemi ve cam çeşitleri*. <https://www.firatpen.com.tr/pvc-pencereelerde-camin-onemi-ve-cam-cesitleri>. (Son erişim tarihi: 06.12.2021)
- Foraboschi, P. (2013). Three-layered sandwich plate: exact mathematical model. *Composites Part B: Engineering*, 45, 1601-1612. doi:10.1016/j.compositesb.2012.08.003.
- Foraboschi, P. (2014). Three layered plate: elasticity solution. *Composites Part B: Engineering*, 60, 764-776. doi:10.1016/j.compositesb.2013.06.037.
- Guardianglass (t.y.). *Low-E Glass Providing The Comfort Factor*. <https://www.guardianglass.com/eu/en/our-glass/glass-types/low-e-glass#benefits>. (Son erişim tarihi: 02.08.2023)
- Koçu, N. & Korkmaz, Z. (2002). Konya Çevresinde Yapılarda Isı Yalıtım Uygulamalarının TS 825'e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi. *Tesisat Mühendisliği*, 74, 1-12.
- Maccari, A. & Zinzi, M. (2001). Simplified algorithms for the Italian energy rating scheme for fenestration in residential buildings. *Solar Energy*, 69, 75-92. doi:10.1016/S0038-092X(01)00045-7.
- Özrahat, E. (2007). *Değişik Gazlar İçin Çift Camlı Pencere Boyutlarının Sayısal İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü)
- Pilkington (2023). *Low-emissivity Glass*. <https://www.pilkington.com/en/global/knowledge-base/types-of-glass/energy-efficient-glass/low-emissivity-glass>. (Son erişim tarihi: 03.08.2023)
- Pul, H., Daşdemir, A., Ertürk, M., Keçebaş, A., Uygunoğlu, T. (2015, Nisan). İl bazında çift ve üç camlı pencereler için optimum hava tabakası kalınlığı analizi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir
- Roos, A. & Karlsson, B. (1994). Optical and thermal characterization of multiple glazed windows with low U-values. *Solar Energy*, 52(4), 315-325. doi:10.1016/0038-092X(94)90138-4.
- Tainstruments (t.y.). *Fox314 heat flow meters*. <https://www.tainstruments.com/fox-series-314/> (Son erişim tarihi: 13.08.2023)
- TS 825, (2009). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. TS, Revize Tadilatı, Ankara.
- Underwood, C.P. & Yik, W.H. (2004). *Modelling Methods For Energy In Buildings*. Blackwell Science Yayınları, Blackwell Yayınevi.
- Vallabhan, C.V.G., Das, Y.C., Magdi, M., Aşık, M. & Bailey, J.R. (1993). Analysis of laminated glass units. *Journal of Structural Engineering*, 119(5), 1572-1585.
- Yohanis, Y. G. & Norton, B. (1999). Utilization factor for building solar-heat gain for use in a simplified energy model. *Applied Energy*, 63(4), 227–239. doi:10.1016/S0306-2619(99)00032-X.

## Gülümuşığı (Malatya) çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı bazik magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri

*Petrographic and geochemical characteristics of Eocene (?) basic igneous rocks outcropping around Gülümuşığı (Malatya)*

Abdullah SAR\* 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 23.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 05.05.2024

### Öz

Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nda (GAOK) Malatya ili Gülümuşığı çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı magmatik kayalar gabro ve diyorit bileşiminde olup petrografik olarak plajiyoklaz, piroksen ve amfibol minerallerinden oluşmaktadır. İnceleme konusu gabro ve diyoritler düşük-orta K karakterine sahip olup ilksel mantoya göre normalize edilmiş iz element diyagramında Rb, P, Nb ve Ti elementlerinde negatif gidişler, Sr ve Ba değerlerinde pozitif yönsemelere sahiptir. Kondrite göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında yataya yakın bir gidiş göstermektedir. İnceleme konusu gabro ve diyoritler hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) arasında  $La_N/Lu_N$  oranları 1.31 ile 1.53 arasında değişmekte ( $AS17=0.53$ ,  $AS20=5.35$ ) olup zayıf-orta seviyelerde fraksiyonlaşma göstermektedir. Gabro ve diyorit türü kayalar pozitif Eu anomalileri göstermekte olup,  $Eu_N/Eu^*$  değerleri (1.01-1.46) aralığında değişmektedir. Gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto kökenine işaret etmektedir. Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir. Gabro ve diyoritleri oluşturan ana magmanın gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin rolü asimilasyona göre daha fazladır. Tüm veriler ışığında, Eosen (?) yaşlı gabro ve diyoritlerin ana magmasının sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kayaktan türediği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Gülümuşığı, Gabro/diyorit, Jeokimya, Petrografi, Petrojenez

### Abstract

*Eocene (?) aged magmatic rocks cropping out around Gülümuşığı in Malatya province in the Southeastern Anatolian Orogenic Belt (SAOB) are in the composition of gabbro and diorite and petrographically consist of plagioclase, pyroxene and amphibole minerals. The gabbros and diorites under investigation have low-medium K character, negative trends in Rb, P, Nb and Ti elements, and positive trends in Sr and Ba values in the trace element diagram normalized according to the Primary Mantle. It shows an almost horizontal trend in the trace element variation diagram normalized according to chondrite. The  $La_N/Lu_N$  ratios between light rare earth elements (LREE) and heavy rare earth elements (HREE) in the gabbros and diorites under investigation vary between 1.31 and 1.53 ( $AS17=0.53$ ,  $AS20=5.35$ ) and show weak-medium levels of fractionation. Gabbro and diorite-type rocks show positive Eu anomalies, and  $Eu_N/Eu^*$  values vary between (1.01-1.46). Gabbro and diorites have relatively low La/Yb (0.63-6.31) and Nb/La (0.42-0.75) ratios, indicating lithospheric mantle/lithospheric-asthenospheric mantle origin. Low Zr/Hf (12.6-39.3) and Nb/Yb (0.31-3.26) ratios suggest that these rocks are formed from a depleted mantle source. The role of fractional crystallization is greater than assimilation in developing the main magma that forms the gabbros and diorites under investigation. In light of all the data, it is thought that the main magma of Eocene (?) aged gabbros and diorites was derived from a source containing spinel representing shallow depths.*

**Keywords:** Gülümuşığı, Gabbro/diorite, Geochemistry, Petrography, Petrogenesis

\*Abdullah SAR; asar@firat.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Arap plakasının kuzeyinde konumlanan Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GAOK) (Şekil 1a), Neo-Tetis sisteminin güney kolunun önemli parçalarından biridir. Bu kuşak Arap levhası ile Anadolu levhalarının çarpışması sonucunda oluşmuştur (Şengör & Yılmaz, 1981; Yılmaz, 1993; Robertson vd., 2012; Yılmaz, 2019). GAOK, Alp-Himalaya orojenezi boyunca kıta kenarlarının zamansal evrimini ve yükselen tarihini incelemek için önemli bölgelerden biridir. Alp Himalaya suturları boyunca riftle ilişkili magmatizmanın meydana geldiği Neo-Tetis Okyanusunun güney kolu Triyasta Gondwana'nın kuzey kenarının riftleşmesi ile açılmıştır (Şengör & Yılmaz, 1981; Robertson vd., 2012; Karaoğlan vd., 2016; Yılmaz, 2019). GAOK yaklaşık olarak doğu-batı gidişli üç bölgeye ayrılmıştır (Yılmaz, 2019). Bunlar güneyden kuzeye doğru Arap Platformu, Yığışım Prizması ve Naplardır. Bu üç zon birbirlerinden büyük bindirmelerle ayrılmıştır (Yılmaz, 2019). Arap Platformu, Kambriyen'den günümüze kadar çoğunlukla deniz ortamında kalın bir tortul istifin olduğu Arap Levhası'nın en kuzey kısmını temsil etmektedir (Robertson vd., 2012; Yılmaz, 2019). Yığışım Prizması, Arap Platformu ve Naplar arasında doğu-batı gidişli bir kuşaktır. Nap zonu alt nap ve üst nap olarak ayrılmaktadır (Yılmaz, 2019). İnceleme alanı GAOK içerisinde nap zonunda konumlanmaktadır.

GAOK boyunca yüzeyleyen Eosen magmatik kayalar sınırlı sayıda araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Karaoğlan vd., 2013, 2016; Yıldırım, 2015; Ertürk vd., 2017, 2018). GAOK'un Elazığ-Malatya bölgesinde, kıtasal çarpışmaya ve yitime bağlı olarak gelişen intruzif ve ekstruzif magmatizma ürünleri oluşmuştur (Karaoğlan vd., 2013, 2016; Yıldırım, 2015; Ertürk vd., 2017, 2018; Nurlu vd., 2022). Karaoğlan vd. (2013) Doğanşehir (Malatya) bölgesinde yaptıkları çalışmada Eosen yaşlı Doğanşehir granitoidinin 45-51 milyon yılları arasında genişlemeli bir evrede yerleştiğini belirtmişlerdir. Eosende gerçekleşen kuzeye doğru yitimin, Torid kıtasının güney kenarını temsil eden, metaofiyolitik kayalar ve Malatya Metamorfiklerini kesen kalkalkalen bileşimli granitoidleri oluşturduğunu söylemişlerdir. Yıldırım (2015) Eosen yaşlı Helete volkanitleri üzerine yapmış olduğu çalışmada, Göksun ofiyoliti ve Üst Kretase yaşlı Esence granitoidi ile tektonik bir ilişkiye sahip olan Helete volkanitlerinin toleyitik bir ana magmadan evrimleştiğini ve yitimle ilişkili bir yay ortamında oluştuğunu belirtmiştir. Karaoğlan vd. (2016) GAOK'da yer alan Baskil, Esence ve Doğanşehir granitoidleri üzerine yaptıkları çalışmada Baskil ve Esence granitoidlerinin 88-82 milyon yılları arasında yerleştiğini ve bu süreçte güneyde Bitlis-Pütürge mikro kıtası ve kuzeyde Torid platformu arasında GAOK boyunca ilk kıtasal çarpışmanın gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Doğanşehir granitoidinin erken-orta Eosen sürecinde Maden yay ardı havzasının açılması ile ilişkili genişlemeli bir rejimde oluştuğunu ve bu granitoidlerin yay magmatizması ürünleri olduğunu söylemişlerdir. Ertürk vd. (2017, 2018) GAOK'da yüzeyleyen Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nda yapmış oldukları çalışmada, incelenen kayaların oluşumlarını; (I) Orta Eosen'de kıta-kıta çarpışmasına bağlı olarak kalınlaşmış, yoğun ve kütle çekimsel olarak kararsız hale gelmiş olan litosferik kök, konveksiyon akımlarının neden olduğu incelmeye bağlı olarak kalıntı litosferden ayrılmıştır (II) Yitime bağlı olarak bileşimi değişmiş olan mantoda ve ayrılan litosferde astenosferik adiyabatik yükselimele ilgili olarak ısı artışı ve kısmi ergimeler meydana gelmiştir (III) Astenosferik yükselimele ilgili olarak ısı artışı ve kısmi ergimesiyle oluşan magma, kabuk bileşenlerince kirletilmiş olan kabuk malzemeleri (Pütürge Masifi) ve ofiyolitlerin içerisine yükselir. GAOK'da, Eosen magmatizmasının Pütürge Metamorfikleri ve Geç Kretase yaşlı ofiyolitler üzerinde meydana geldiğini belirtmişlerdir.

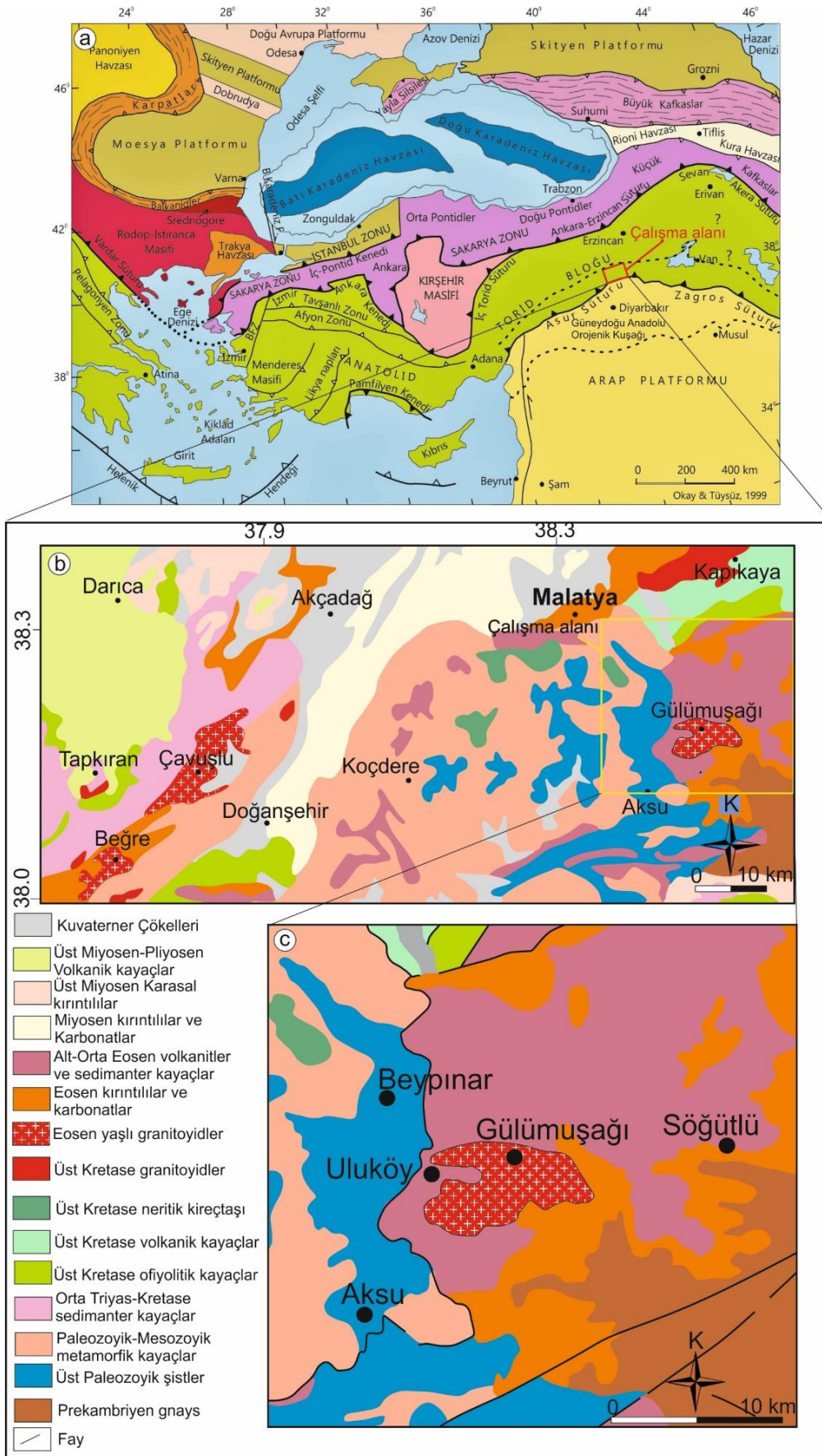
Bu çalışmanın amacı Malatya Güneydoğu'sunda yüzeyleyen Gülümuşağı köyü çevresindeki Eosen (?) yaşlı magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri belirlenerek petrojenezlerinin ortaya çıkarılmasıdır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Petrografik çalışmalar kapsamında inceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritlerden alınan örneklerin ince kesitleri Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Petrografik çalışmalar sonucu belirlenen bölgeyi en iyi şekilde temsil edecek, alterasyon oranı düşük 8 adet örnek jeokimya analizleri için ACME (Kanada) laboratuvarına gönderilmiştir. Tüm kayaç ana oksit analizleri X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi yöntemi ile iz element ve nadir toprak elementi analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP) ve Kütle Spektrometresi (MS) yöntemi ile belirlenmiştir.





**Şekil 1.** (a) Türkiye tektonik birlikler haritası (Okay & Tüysüz, 1999). (b,c) İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2002)

**Figure 1.** (a) Turkey tectonic units map (Okay & Tüysüz, 1999). (b,c) Generalized geological map of the study area (MTA, 2002)

### 3. Bölgesel jeoloji

#### 3. Regional geology

İnceleme alanının içerisinde yer aldığı GAOK, kuzeyden güneye doğru Arap Platformu, Yığılım Prizması ve Nap bölgesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993, 2019; Parlak, 2006; Ertürk vd., 2017, 2018; Nurlu vd., 2022). Arap levhasının kuzey bölümünü temsil eden Arap Platformu Kambriyenden günümüze kadar çökelen çoğunlukla denizel sedimanter birimleri içermektedir. Güneyde Arap Platformu kuzeyde Nap Zonu ile sınırlanan Yığılım Prizması Zonu, diğer iki bölgeden bindirme zonu ile ayrılmıştır. Yığılım Prizması Zonu, Geç Kretase-Orta Miyosen sürecinde oluşmuş farklı kaya türlerini içeren tektonik dilimlerden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993, 2019; Parlak, 2006; Nurlu vd., 2022). Nap Zonu, alt nap ve üst nap olarak ayrılmakta olup, alt nap matamorfizma geçirmiş ofiyolitik kayaları ve Maden Karmaşığı'nı, üst nap ise Malatya, Keban, Pütürge, Engizek ve Binboğa metamorfik masiflerini kapsamaktadır (Yılmaz, 1993, 2019). Malatya'nın güneydoğusunda konumlanan Gülümuşağı bölgesinde yüzeyleyen (Şekil 1b), Prekambriyen yaşlı Metamorfikler, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Malatya-Keban Metamorfikleri, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Eosen yaşlı magmatik kayalar ve Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar (Şekil 1b) nap zonu içerisinde yer almaktadır (Parlak, 2006; Karaoğlu vd., 2013; 2016). Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Malatya Keban Metaforfitleri (Perinçek & Kozlu, 1984; Yiğitbaş, 1989) fillat, mikaşist, kuvarşist ve rekristalize kireçtaşı ve mermer seviyelerinin yer aldığı karbonat istifi ile temsil edilmektedir (Nurlu vd., 2022). Birim allokton bir kütle konumunda olup Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ile tektonik dokanağa sahiptir.

İnceleme konusunu oluşturan Eosen yaşlı magmatik kayalar çalışma alanında ince-iri taneli gabro ve diyoritler ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Makroskobik olarak gabro ve diyoritler açık griden koyu griye değişen renklere sahiptir. Kayaçlarda mafik mineral oranları ve boyutları oldukça değişkendir. Plütonun kenar zonları genel olarak ince taneli koyu renkli diyoritler ile temsil edilmektedir. İç zonlara doğru tane boyunda artış gözlenmektedir. Kayaçlarda genel olarak kloritleşme ve serizitleşme türündeki alterasyonlar düşük-orta seviyelerde görülmektedir. İncelenen magmatik kayalar çalışma alanında Eosen yaşlı Maden Karmaşığı içerisine sokulum yapmıştır. Birimin, Maden Karmaşığı ile dokanak olan kısımlarında daha çok ince taneli diyorit türü kayalar baskınken, plütonun iç kısımlarına doğru iri taneli hatta bazı kesimlerinde pegmatitik boyutlarda gabro ve diyoritler gözlenmiştir.

### 4. Bulgular

#### 3. Results

#### 4.1. Petrografi

##### 4.1. Petrography

Gülümuşağı bölgesinde yüzeyleyen Eosen yaşlı magmatik kayalar ince-iri taneli diyorit ve gabrolar ile temsil edilmektedir.

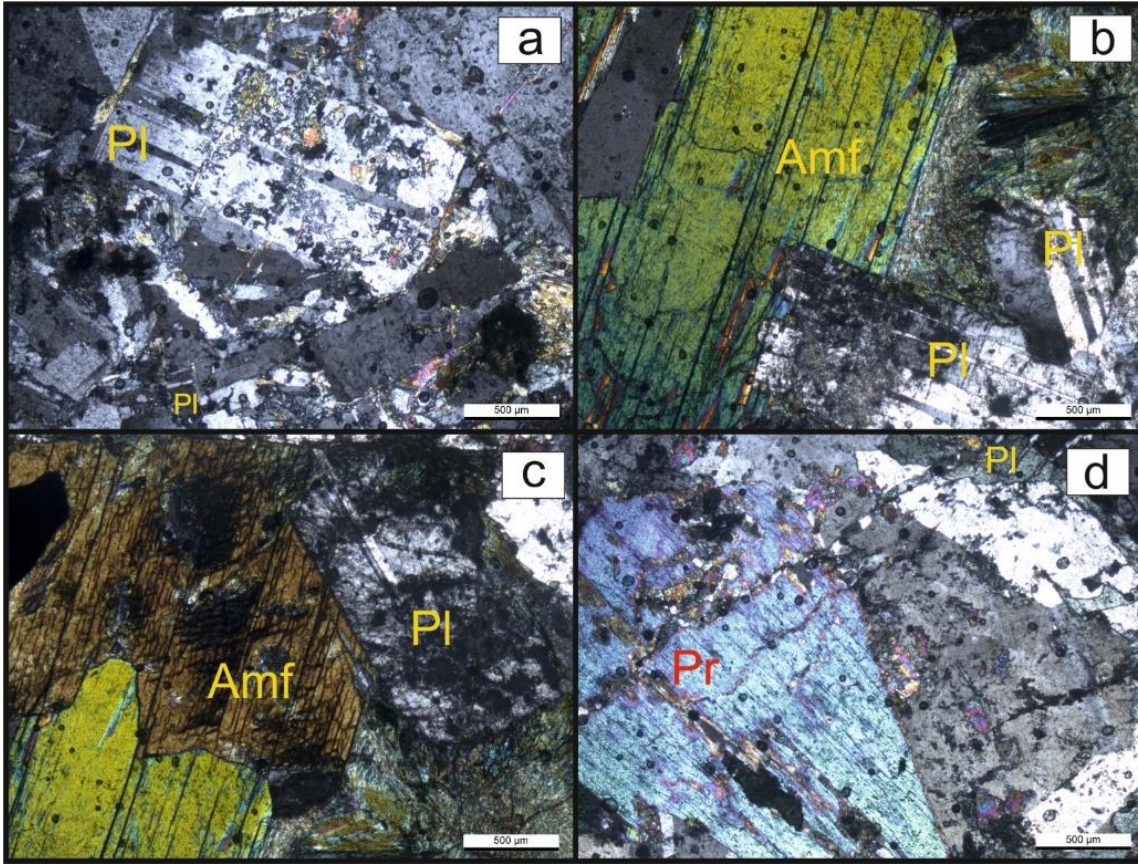
Diyoritlerde ana mineral fazını plajiyoklazlar (% 42-68) oluşturmaktadır (Şekil 3a). Mafik mineral fazı amfibollerle (% 24-37) temsil edilmektedir (Şekil 3b, c). Dokusal olarak holokristalen ve poiklitik doku hakimdir. Albit ve polisentetik ikizlenmeler gösteren plajiyoklazlar genellikle yarı özşekilli veya özşekilli formlarda prizmatik kristaller halindedir. Sönme açısı tayinlerine göre plajiyoklazların andezin türü olduğu tespit edilmiştir. Alterasyon kaynaklı serizitleşmelerden dolayı bazı plajiyoklaz kristallerinde ikiz lamelleri tam olarak gözlenmemektedir. Amfiboller, genel olarak prizmatik kristaller şeklindedir. C eksenine dik geçmiş kesitlerde yarı öz şekilli altıgen kristaller halinde gözlenmektedir. Çift nikolde canlı girişim renkleri göstermekte olup, tek nikolde yeşil tonlarındaki pleokroizmaları ile karakteristiktir. Serizit, kaolinit, tremolit aktinolit ve klorit gibi alterasyon mineralleri gözlenmektedir.



**Şekil 2.** Eosen (?) yaşlı (a-d) gabro ve diyoritlerin arazi görünüşleri, (e) Eosen yaşlı (?) gabro ve diyoritler ile Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'na ait volkanik kayaların dokanak ilişkileri

**Figure 2.** Eocene (?) aged (a-d) Field views of gabbro and diorites, (e) Contact relations of Eocene (?) aged gabbro and diorites and volcanic rocks belonging to the Eocene aged Maden Complex

Gabrolar ana mineral olarak plajiyoklaz (% 36-70), mafik mineral olarak piroksen (% 27-40) içermektedir. Plajiyoklazlar genellikle yarı özşekilli veya özşekilli formlarda prizmatik kristaller halinde görülmektedir. Albit ve polisentetik ikizlenmeleri ile karakteristiktir. Alterasyon kaynaklı serizitleşmelerden dolayı bazı plajiyoklaz kristallerinde ikiz lamelleri tam olarak gözlenememektedir. Sönme açısı tayinlerine göre plajiyoklazların labrador türü olduğu tespit edilmiştir. Kayalarda genel olarak holokristalen doku görülmektedir. Piroksenler prizmatik kristaller halinde olup canlı girişim renkleri göstermektedir (Şekil 3d). Eğik sönmeleri ile karakteristiktir. Gabrolar içerisindeki piroksenlerin türü klinopiroksendir. Gabrolar içerisinde serizit, kaolinit ve klorit gibi alterasyon mineralleri bulunmaktadır.



**Şekil 3.** İncelenen gabro ve diyoritlerin ince kesit görünümleri. (a) plajiyoklazlardaki mineral kapantıları. (b) diyoritlerdeki porfirik amfibol minerali. (c) diyoritlerdeki holokristalen doku (d) gabrolardaki piroksen mineralleri

**Figure 3.** Thin section views of the gabbro and diorite examined. (a) mineral inclusions in plagioclase. (b) porphyritic amphibole mineral in diorites. (c) holocrystalline texture in the diorite. (d) pyroxene minerals in gabbros

## 4.2. Jeokimya

### 4.2. Geochemistry

İnceleme konusunu oluşturan Eosen (?) yaşlı magmatik kayalara ait jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 1. de verilmiştir. İncelenen magmatik kayalar  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  diyagramında gabro alanına düşmektedir (Şekil 4a; Cox vd., 1979). İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler değişen oranlarda  $\text{SiO}_2$  (% 45.83–49.77),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (% 15.11–18.68),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (% 3.75–14.96),  $\text{MgO}$  (% 2.93–9.74),  $\text{CaO}$  (% 8.58–16.74)  $\text{Na}_2\text{O}$  (% 2.2–4.38),  $\text{K}_2\text{O}$  (% 0.02–1.35),  $\text{TiO}_2$  (% 0.34–2.49),  $\text{MnO}$  (0.06–0.23),  $\text{Ni}$  (50–179 ppm),  $\text{Co}$  (17.8–45.8 ppm),  $\text{Sr}$  (155.2–336.4 ppm) ve  $\text{Nd}$  (1.5–25.1 ppm) değerlerine sahiptir.  $\text{Mg}$  numaraları 60.1 ile 82.5 arasında değişmektedir ( $\text{AS}5=27.9$ )  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{K}_2\text{O}$  diyagramında gabro ve diyoritler düşük-orta-K karakterde gözlenmektedir. (Şekil 4b; Peccerillo & Taylor, 1976).

$\text{MgO}$  (% 2.93–9.74) değerine karşı ana oksit ve iz element değişim diyagramlarında,  $\text{MgO}$  değerinin artması ile  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Ni}$  değerlerinde pozitif yönsemeler,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Zr}$  değerlerinde negatif yönsemeler gözlenmektedir. Bu durum incelenen gabro ve diyoritlerin magma evrimi sırasında fraksiyonel kristallenme süreçlerinden etkilendiğini göstermektedir (Şekil 5).

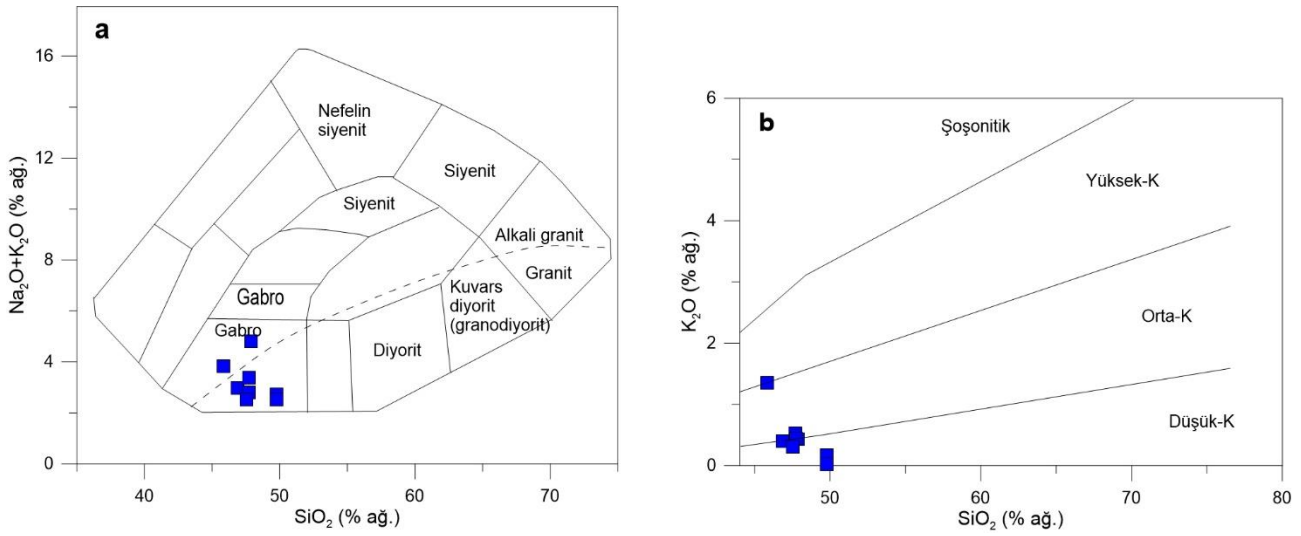
İlksel mantoya göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında gabro ve diyoritlerde  $\text{Rb}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Nb}$  ve  $\text{Ti}$  elementlerinde negatif yönsemeler,  $\text{Sr}$  ve  $\text{Ba}$  değerlerinde pozitif yönsemeler görülmektedir. (Şekil 6a). Kondrite göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında yataya yakın bir gidiş gözlenmektedir (Şekil 6b). İnceleme konusu gabro ve diyoritler hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) arasında  $\text{La}_N/\text{Lu}_N$  (HNTE/ANTE) oranları 1.31 ile 1.53 arasında değişmekte ( $\text{AS}17=0.53$ ,  $\text{AS}20=5.35$ ) olup zayıf-orta seviyelerde fraksiyonlaşma göstermektedir. Gabro ve diyorit türü kayaların pozitif  $\text{Eu}$  anomalileri göstermekte olup,  $\text{Eu}_N/\text{Eu}^*$  değerleri (1.01-1.46) aralığında değişmektedir.

**Tablo 1.** Gabro ve diyoritlerin tüm kayaç ana oksit ve iz element analiz sonuçları  
**Table 1.** Whole-rock major oxide and trace element analysis results of gabbro and diorites

Kayaç türü Örnek No.	Gabro AS3	Gabro AS5	Gabro AS9	Gabro AS12	Gabro AS13	Diyorit AS15	Gabro AS17	Diyorit AS20
Ana Oksitler (% ağ.)								
SiO <sub>2</sub>	46.87	47.88	47.72	45.83	47.74	49.76	47.53	49.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.28	15.11	15.52	18.68	16.12	15.57	16.62	15.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.00	14.96	9.34	7.84	8.80	8.84	6.73	3.75
MgO	8.38	2.93	8.81	9.15	8.01	7.59	9.74	8.91
CaO	11.55	8.58	11.31	9.83	12.76	12.58	13.39	16.74
Na <sub>2</sub> O	2.58	4.38	2.86	2.47	2.37	2.55	2.22	2.50
K <sub>2</sub> O	0.40	0.43	0.52	1.35	0.44	0.17	0.31	0.02
TiO <sub>2</sub>	1.19	2.49	1.13	0.68	0.76	0.82	0.34	0.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.93	0.07	0.06	0.07	0.03	<0.01	0.02
MnO	0.17	0.23	0.14	0.13	0.15	0.14	0.12	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.019	<0.002	0.032	0.038	0.035	0.012	0.038	0.059
LOI	2.3	1.9	2.3	3.7	2.5	1.7	2.7	2.0
Toplam İz Elementler (ppm)	99.76	99.86	99.77	99.78	99.78	99.79	99.76	99.77
Ba	52	95	71	184	59	38	42	15
Ni	64	<20	91	179	55	50	117	134
Sc	43	30	46	26	43	54	47	42
Be	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Co	45.8	24.3	38.7	37.7	36.7	37.4	38.3	17.8
Cs	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Ga	13.1	18.7	12.7	11.5	12.5	12.6	9.8	9.5
Hf	1.7	2.4	1.6	1.1	1.1	1.6	0.6	0.5
Nb	2.1	6.1	2.2	2.5	1.9	1.6	0.2	3.1
Rb	2.8	2.7	3.9	11.3	3.4	1.1	2.8	0.2
Sn	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1
Sr	155.2	214.7	156.5	175.2	165.9	167.9	213.8	336.4
Ta	<0.1	0.2	0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Th	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	<0.2	0.8
U	0.2	0.2	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3
V	335	107	277	133	212	278	169	192
W	<0.5	0.7	1.0	1.3	0.9	1.4	<0.5	<0.5
Zr	54.5	87.5	51.6	43.3	33.3	55.0	7.6	19.4
Y	15.3	54.7	18.4	14.2	14.8	20.4	6.8	8.5
La	3.2	9.6	3.5	3.3	3.3	3.8	0.4	6.0
Ce	7.8	28.4	9.1	7.2	7.9	8.8	1.0	14.6
Pr	1.01	4.52	1.28	0.97	1.06	1.30	0.16	1.68
Nd	4.9	25.1	6.2	5.0	5.5	6.8	1.5	6.7
Sm	1.59	7.58	2.06	1.42	1.68	2.26	0.56	1.38
Eu	0.72	3.00	0.86	0.57	0.74	0.94	0.36	0.57
Gd	2.43	10.02	2.78	2.09	2.46	3.18	0.99	1.58
Tb	0.45	1.68	0.49	0.38	0.43	0.57	0.18	0.24
Dy	2.82	10.16	3.35	2.52	2.71	3.95	1.14	1.72
Ho	0.67	2.22	0.70	0.52	0.63	0.81	0.23	0.39

Tablo 1. devamı

Er	1.81	5.95	2.11	1.63	1.72	2.34	0.74	1.07
Tm	0.26	0.82	0.30	0.22	0.22	0.34	0.09	0.15
Yb	1.65	4.82	1.87	1.49	1.58	2.21	0.63	0.95
Lu	0.24	0.71	0.27	0.23	0.23	0.31	0.08	0.12
Mg#	60.1	27.9	65.1	69.8	64.3	63.0	74.1	82.5
Nb/La	0.65	0.63	0.62	0.75	0.57	0.42	0.50	0.51
Nb/Y	0.13	0.11	0.11	0.17	0.12	0.07	0.02	0.36
Nb/Yb	1.27	1.26	1.17	1.67	1.20	0.72	0.31	3.26
La/Yb	1.93	1.99	1.87	2.21	2.08	1.71	0.63	6.31
La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	1.42	1.44	1.38	1.53	1.53	1.31	0.53	5.35
Eu/Eu*	1.11	1.05	1.09	1.01	1.11	1.07	1.46	1.17



**Şekil 4.** (a)  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (TAS) sınıflandırma diyagramı. (Cox vd., 1979) (b)  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{K}_2\text{O}$  değişim diyagramı (Peccerillo & Taylor, 1976)

**Figure 4.** (a)  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (TAS) classification diagram. (Cox et al., 1979) (b)  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$  discrimination diagram (Peccerillo & Taylor, 1976)

## 5. Tartışma

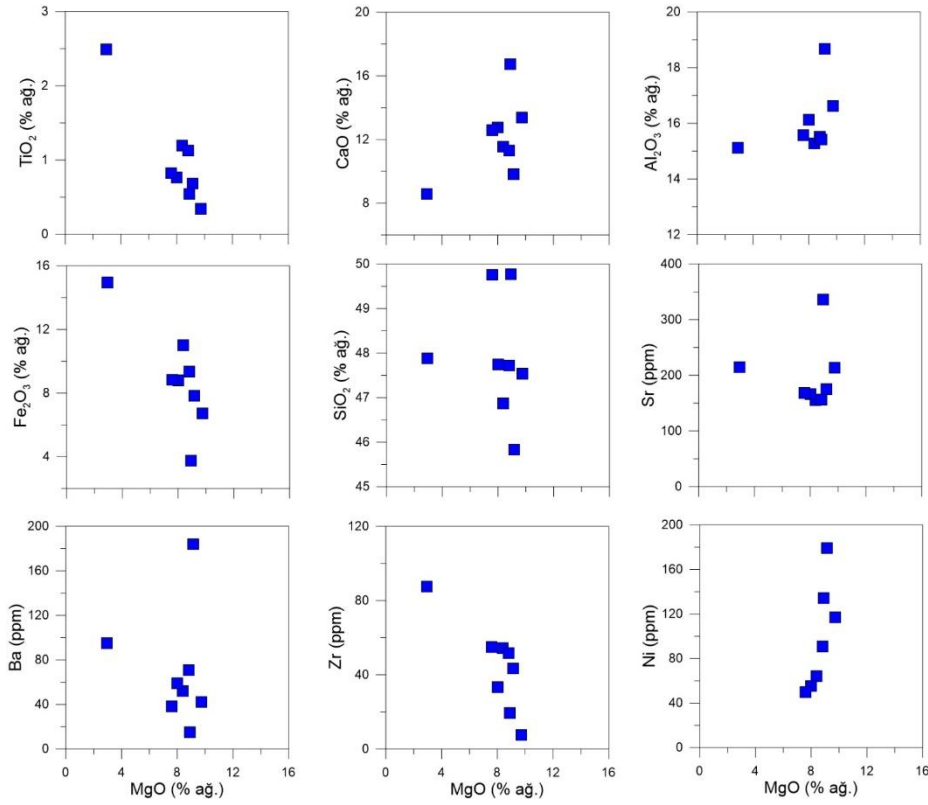
### 5. Discussion

#### 5.1. Magma kökeni ve petrojenez

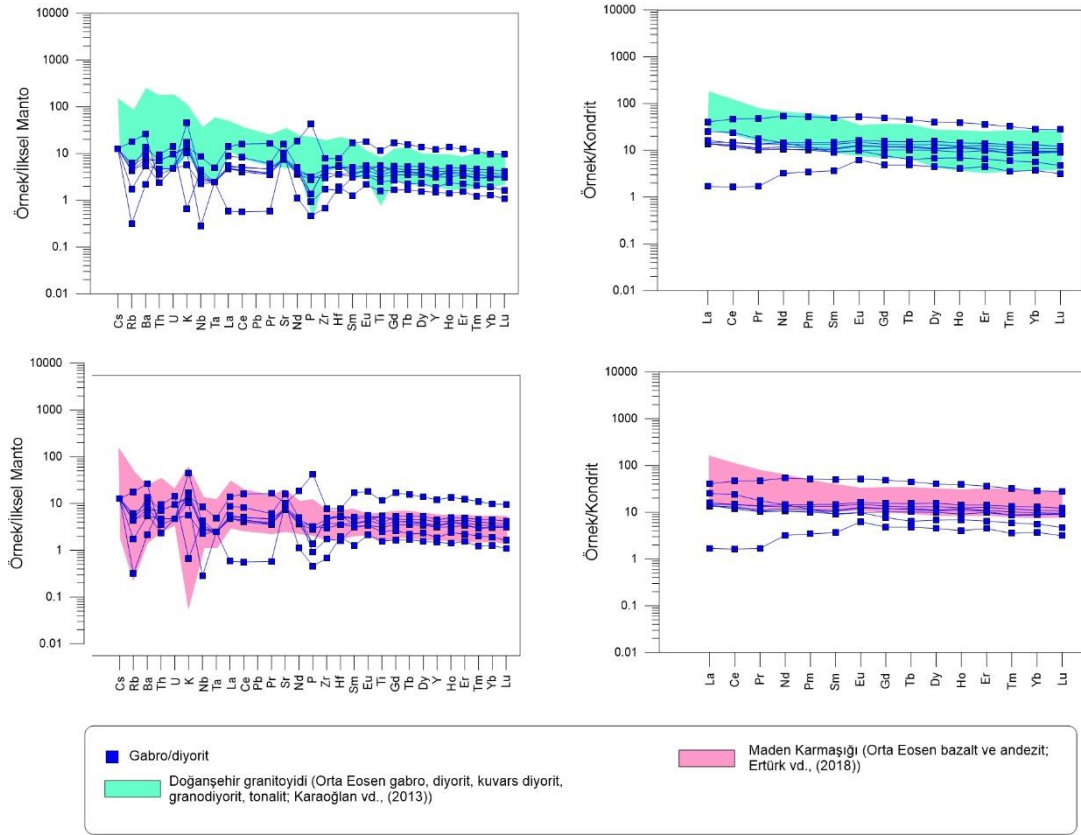
##### 5.1. Magma source and petrogenesis

Gülümuşağı çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı magmatik kayalar petrografik olarak gabro ve diyoritler ile temsil edilmektedir. Düşük-orta K bileşimine sahiptirler. Gabro ve diyoritlerin  $\text{SiO}_2$  (% 45.83–49.77), MgO (% 2.93–9.74) içerikleri ve Mg numaraları 27.9 ile 82.5 arasında değişmektedir. Buna göre, Bu kayaları oluşturan ana magma kaynağının manto kökeninden kaynaklandığı ve magma odasındaki farklılaşma süreçlerinden oluştuğu söylenebilmektedir.

İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler jeokimyasal verilere göre, düşük LOI değerlerine sahiptir. Zhang vd. (1994) ve Bau (1996) gabro ve diyorit türü kayalarda Y/Ho oranını, kayalar üzerinde alterasyonun etkilerini belirlemek için önermişlerdir. Taze gabro ve diyorit örneklerinde Y/Ho oranının ortalama 28 olduğunu, alterasyonun etkili olduğu örneklerde ise bu oranın 44-47 arasında değişebildiğini belirtmişlerdir. İnceleme konusu gabro ve diyorit örneklerinin Y/Ho oranları 21.7 ile 29.5 arasında değişmektedir. Bu oranlar inceleme alanında ikincil süreçlerin önemli bir faktör olmadığını göstermektedir.

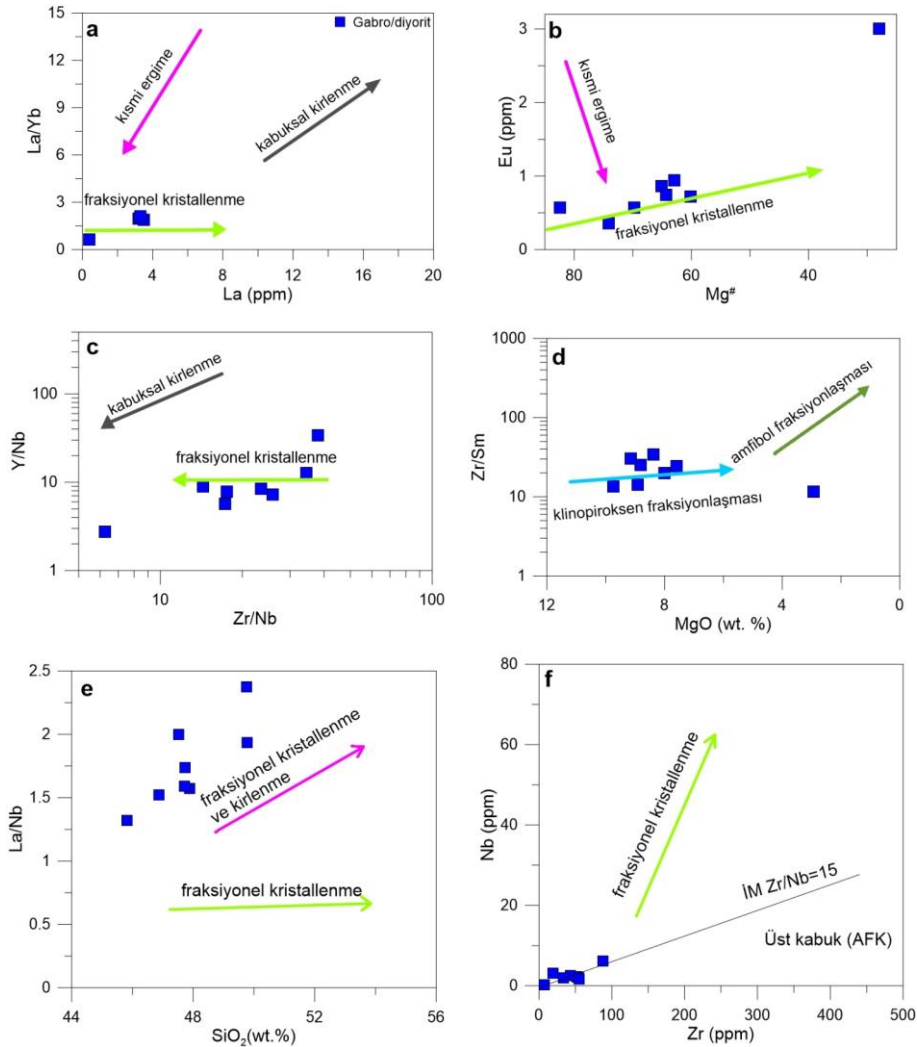


**Şekil 5.** Gabro ve diyoritler için MgO oranına karşı bazı ana oksit ve iz element değişimleri  
**Figure 5.** MgO vs. some major oxides and trace element variation plots for gabbro and diorite



**Şekil 6.** Gabro ve diyoritlerin (a) ilksel mantoya göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun & McDonough, 1989). (b) kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun & McDonough, 1989)  
**Figure 6.** Gabbro and diorites (a) spider diagram normalized to the primitive mantle (Sun & McDonough, 1989). (b) spider diagram normalized to chondrite (Sun & McDonough, 1989)

Gabro ve diyoritler yüksek Mg# (27.9-82.5) ve Ni (50–179 ppm) değerlerine sahiptirler. Genel olarak artan MgO oranları ile CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sr ve Ni değerlerinde pozitif yönsmeler, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba ve Zr değerlerinde ise negatif yönsmeler görülmektedir. CaO ve Sr değerlerindeki pozitif yönsmeler plajiyoklazların fraksiyonel kristallenmedeki etkisini göstermektedir. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerindeki negatif yönsmeler ve Ni değerlerindeki pozitif yönsmeler olivin, piroksen ve Fe-Ti oksitlerin fraksiyonel kristallenmesine işaret etmektedir. Buna ek olarak La'a karşı La/Yb diyagramı (Şekil 7a), Mg#'a karşı Eu içeriği (Şekil 7b), Zr/Nb'ye karşı Y/Nb (Şekil 7c) ve MgO'ya karşı Zr/Sm (Şekil 7d) diyagramları gabro ve diyoritlerin evriminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu özellikle piroksen fraksiyonlaşmasının etkin rol oynadığını göstermektedir. SiO<sub>2</sub>'ye karşı La/Nb diyagramı (Şekil 7e) ve Zr'a karşı Nb (Şekil 7f) diyagramında gabro ve diyoritlerin hem fraksiyonel kristallenme hemde kirlenme trendi gösterdikleri görülmektedir. [Abdelfadil vd. \(2022\)](#) 1.5 ten büyük La/Nb ve 22'den büyük La/Ta oranlarının kabuksal kirlenmeye işaret ettiğini söylemişlerdir. İncelenen kayaçların La/Nb değerleri 1.5-2.3 (bir örnek 1.3) arasında değişmekte, La/Ta oranları ise 33-48 arasında değişmektedir. Bu oranlar gabro ve diyoritler üzerinde düşük oranlarda kabuksal etkinin varlığını göstermektedir. Ancak, [Wagner vd. \(1995\)](#) tipik kabuksal kayaçlarda Ti/Zr oranlarının 30'dan düşük, Ti/Y oranlarının ise 200'den düşük olduğunu belirtmişlerdir. İncelenen kayaçların yüksek Ti/Zr (33.3-87.5; iki örnek hariç) ve yüksek Ti/Y (240-466) oranları incelenen gabro ve diyoritler üzerinde önemli bir kabuksal etkinin olmadığını göstermektedir.

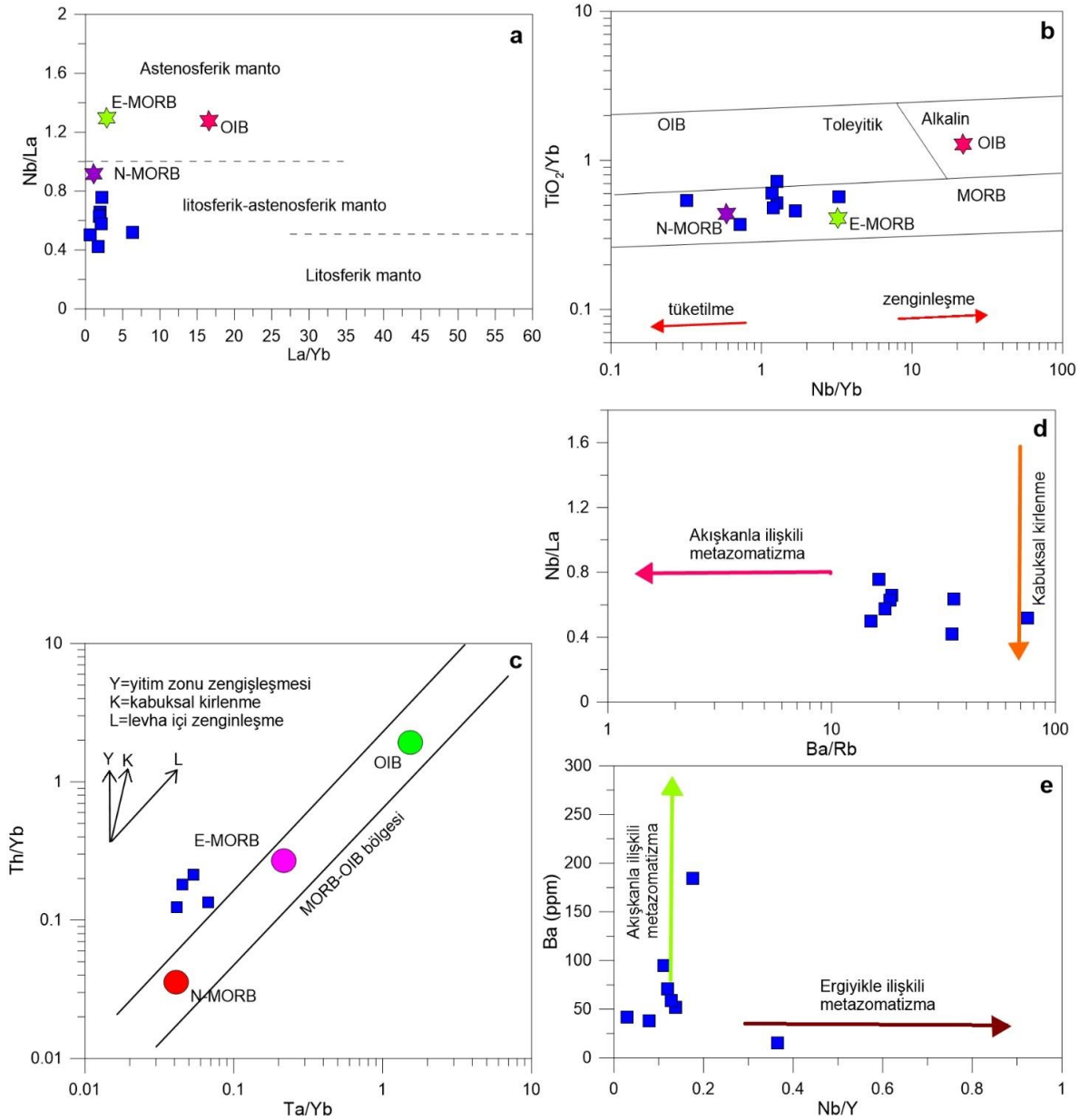


**Şekil 7.** (a) La'a karşı La/Yb diyagramı. (b) Mg#'na karşı Eu diyagramı. (c) Zr/Nb'ye karşı Y/Nb diyagramı. (d) MgO'ya karşı Zr/Sm diyagramı (a-d Fraksiyonlaşma trendleri [Temizel vd., \(2022\)](#)'den alınmıştır). (e) SiO<sub>2</sub>'ye karşı La/Nb diyagramı ([Pearce & Peate, 1995](#)). (f) Zr'a karşı Nb diyagramı (Fraksiyonlaşma trendleri [Dong vd., \(2010\)](#)'dan alınmıştır. AFK: asimilasyon fraksiyonel kristallenme; İM: İlksel manto).

**Figure 7.** (a) La vs. La/Yb diagram. (b) Mg# vs. Eu diagram. (c) Zr/Nb vs. Y/Nb diagram. (d) MgO vs. Zr/Sm diagram (Fractionation trends taken from [Temizel et al., \(2022\)](#)). (e) SiO<sub>2</sub> vs. La/Nb diagram ([Pearce & Peate, 1995](#)). (f) Zr vs. Nb diagram (FC trend: after [Dong et al., \(2010\)](#). AFC: assimilation fractional crystallization; PM: primitive mantle)

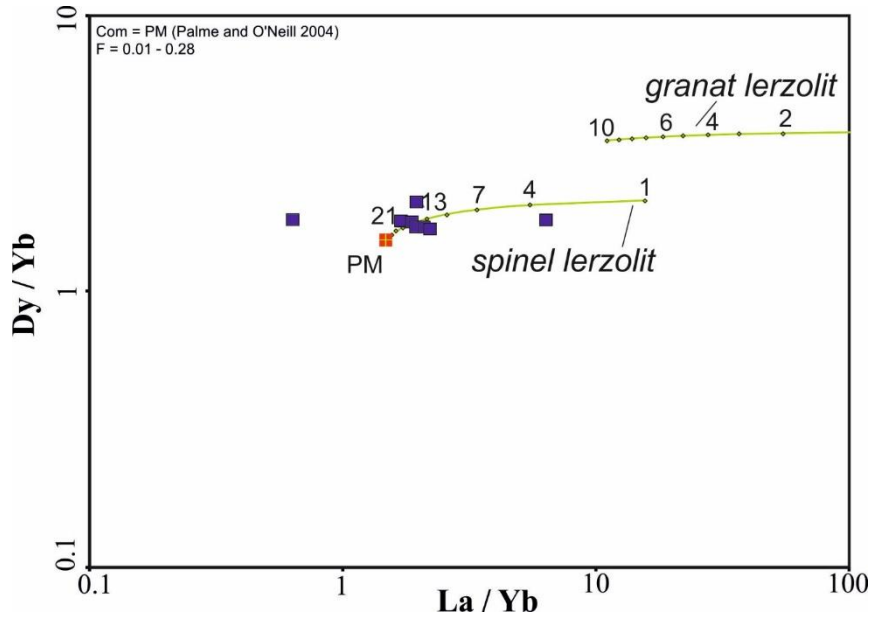


İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto alanlarına düşmektedir (Şekil 8a). Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995). Nb/Yb'ye karşı  $TiO_2/Yb$  diyagramında incelenen örnekler N-MORB ve E-MORB arasında bir dizilim sergilemektedir (Şekil 8b). Pearce (1982)'nin Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramında incelenen gabro ve diyoritler benzer şekilde N-MORB ve E-MORB arasında bir dizilim göstermektedir. Genellikle levha akışkanları tarafından değiştirilmiş manto kaynaklarından türeyen magmalar ergiyiklerle değiştirilmiş olanlardan daha düşük NTE konsantrasyonları ve düşük Nb/Zr, Nb/La ve Nb/Y oranlarına sahiptir (Zhang vd., 2022). Ba/Rb'a karşı Nb/La diyagramında inceleme konusu gabro ve diyoritler akışkanlarla ilişkili metazomatizma yönünde yatay bir dizilim sergilemektedir (Şekil 8e). Düşük Nb/Zr (0.02-0.15), Nb/Y (0.02-0.17; bir örnek 0.36) ve Nb/La (0.42-0.75) ve yüksek Sr/Yb (44-354) ve Ba/Rb (15-75) değerleri magama kaynak bölgesinin levhadan türeyen akışkanlar tarafından değiştirildiğini göstermektedir (Temizel vd., 2022). Nb/Y'ye karşı Ba diyagramında (Şekil 8f) da benzer şekilde akışkanlarla ilişkili metazomatizma yönünde bir yönseme gözlenmektedir (Bir örnek hariç).



**Şekil 8.** (a) La/Yb'ye karşı Nb/La diyagramı. (b) Nb/Yb'ye karşı  $TiO_2/Yb$  diyagramı (Pearce, 2008). (c) Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramı (Pearce, 1982). (d) Ba/Rb'a karşı Nb/La diyagramı. (e) Nb/Y'ye karşı Ba diyagramı

**Figure 8.** (a) La/Yb vs. Nb/La diagram. (b) Nb/Yb vs.  $TiO_2/Yb$  diagram (Pearce, 2008). (c) Ta/Yb vs. Th/Yb diagram. (Pearce, 1982) (d) Ba/Rb vs. Nb/La diagram. (e) Nb/Y vs. Ba diagram



**Şekil 9.** La/Yb'ye karşı Dy/Yb diyagramı (Kapalı sistem modal olmayan fraksiyonel ergime (kritik ergime porozitesi %1) İlksel manto kökeni (PM; [Palme & O'Neill, 2007](#)), granat lherzolit için (Ol 0.60/0.03 + Opx 0.20/0.16 + Kpr 0.10/0.88 + Grt 0.10/0.09; [Walter, 1998](#)), Spinel lherzolit için (Ol 0.53/0.06 + Opx 0.27/0.28 + Cpx 0.17/0.67 + Spl 0.03/0.11; [Kinzler, 1997](#)). Bölünme katsayıları [McKenzie & O'nions \(1991\)](#) ve [Adam & Green \(2006\)](#)'dan alınmıştır. Modal olmayan fraksiyonel erime eğrileri [Ersoy \(2013\)](#)'un (Petromodeler) yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır.

**Figure 9.** La/Yb vs. Dy/Yb diagram (Closed-system non-modal fractional melting model (with critical melt porosity of 1%) from Primitive Mantle source (PM; [Palme & O'Neill, 2007](#)) for garnet lherzolite (Ol 0.60/0.03 + Opx 0.20/0.16 + Cpx 0.10/0.88 + Grt 0.10/0.09; [Walter 1998](#)), for spinel lherzolite (Ol 0.53/0.06 + Opx 0.27/0.28 + Cpx 0.17/0.67 + Spl 0.03/0.11; [Kinzler 1997](#)). Partition coefficients are compiled from [McKenzie & O'nions \(1991\)](#); [Adam & Green \(2006\)](#). The non-modal fractional melting curves were calculated by using the software (Petromodeler) program of [Ersoy \(2013\)](#).

İncelenen gabro ve diyoritlerin derinlik, kaynak mineralojisi ve kısmi ergime derecelerini tespit etmek amacıyla iz element içeriklerine dayalı petrolojik modelleme kullanılmıştır. Bu kapsamda x ekseninde La ve Yb elementleri ve Y ekseninde Dy ve Yb elementleri kullanılmıştır. Bu elementler spinel ve granat gibi köken mineralojisindeki değişimlerden önemli ölçüde etkilenmemekte ve bu sebeple kaynağın kimyasal bileşimi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır ([Aldanmaz vd., 2000](#)). Hafif Nadir Toprak Element'leri granatların kristal yapısında güçlü bir şekilde yer almaktadır. Özellikle Yb elementi granat ile uyumludur ([Aldanmaz vd., 2000](#)). [Yang vd. \(2012\)](#) granatlı manto mineralojisinin daha derin bir kaynağı işaret ettiğini ve genellikle Dy/Yb >2.5 oranlarına sahip ergiyikler üretebildiğini belirtmiştir. İnceleme konusu gabro ve diyoritlerin Dy/Yb oranları 1.69 ile 2.10 arasında değişmektedir. Bu oranlar incelenen magmatik kayalar oluşturan magmaların sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kaynaktan türediğini göstermektedir (Şekil 9).

## 6. Sonuçlar

### 6. Conclusion

İnceleme konusu gabro ve diyoritler genellikle holokristalen ve poiklitik dokular sergilemekte olup, başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibol minerallerini içermektedir.

Ana oksit/iz element değişim diyagramları ve fraksiyonel kirlenme/kirlenme değişim diyagramlarına göre gabro ve diyoritlerin gelişiminde etkin olan magmatik olay kabuksal kirlenmeden ziyade fraksiyonel kristallenmedir.

İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto kökenini yansıtmaktadır. Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir.

Düşük Dy/Yb oranları incelenen magmatik kayaları oluşturan magmaların sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kaynaktan türediğini düşündürmektedir.

### **Teşekkür / Katkı belirtme (Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır)**

#### *Acknowledgement*

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 123Y070 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederim.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Yazar makale konusunun oluşumunda, verilerin temini, analizlerin değerlendirilmesi ve makale bölümlerinin yazılması aşamalarında görev almıştır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Abdelfadil, K.M., Gehad, M., Putis, M., & Sami, M. (2022). Mantle source characteristics of late neoproterozoic post-collisional gabbroic intrusion of wadi abu-hadieda from the north arabian nubian shield (Egypt). *Journal of African Earth Science*, 193 [https://doi.org/ 10.1016/j.jafrearsci.2022.104607](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104607)
- Adam, J., & Green, T. (2006). Trace element partitioning between mica- and amphibole- bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behaviour, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 1–17. doi: <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0085-4>
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., & Mitchell, J.G. (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00182-7)
- Bau, M. (1996). Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/hf, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. *Contrib. Mineral. Petrol.* 123, 323–333. <https://doi.org/10.1007/s004100050159>
- Cox, K.G., Bell, J.D., & Pankhurst, R.J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. Allen and Unwin, London.
- Dong, Y., Xiao, L., Zhou, H., Du, J., Zhang, N., Xiang, H., Wang, C., Zhao, Z., & Huang, H. (2010). Volcanism of the nanpu sag in the Bohai Bay Basin, Eastern China: geochemistry, petrogenesis, and implications for tectonic setting. *J. Asian Earth Sci.* 39,173–191. [https://doi.org/ 10.1016/j.jseas.2010.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jseas.2010.03.003).
- Ersoy, E.Y. (2013). PETROMODELER (Petrological Modeler): a Microsoft® Excel© spreadsheet program for modelling melting, mixing, crystallisation and assimilation processes in magmatic systems, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 115–125. [https://doi.org/ 10.3906/yer-1104-6](https://doi.org/10.3906/yer-1104-6)
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., & Sar, A. (2017). In the Case of Maden Complex, Geochemical Constraints on the Origin and Tectonic Implication of Eocene Magmatism in SE Turkey, *Journal of Tethys*, 5, 240–263.
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S.L., & Lin, T.H. (2018). Eocene magmatism (maden complex) in the Southeast anatolian orogenic belt: magma genesis and tectonic implications, *Geoscience Frontiers*, 9, 1829-1847. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.09.008>

- Karaoğlan, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F., & Klötzli, U. (2016). The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): evidence from U-Pb, Ar-Ar and fission track chronology, *Gondwana Research*, 33, 190-208. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.12.011>
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Robertson, A., Thöni, M., Klötzli, U., Koller, F., & Okay, A.İ. (2013). Evidence of Eocene high-temperature/high-pressure metamorphism of ophiolitic rocks and granitoid intrusion related to Neo-Tethyan subduction processes (Doğanşehir area, SE Anatolia), *Geological Society, London, Special Publications*, 372, 249–272. <https://doi.org/10.1144/SP372.21>
- Kinzler, R.J. (1997). Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: application to mid-ocean ridge basalt petrogenesis, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102, 853–874. <https://doi.org/10.1029/96JB00988>
- McKenzie, D., & O'nions, R.K. (1991). Partial melt distributions from inversion of rare earth element concentrations, *Journal of Petrology*, 32, 1021–1091. <https://doi.org/10.1093/ petrology/32.5.1021>
- MTA, 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritasi, *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara, Turkey.
- Nurlu, N., Köksal, S., & Kohut, M. (2022). Late Cretaceous volcanic arc magmatism in southeast Anatolian Orogenic Belt: Constraints from whole-rock, mineral chemistry, Sr–Nd isotopes and U–Pb zircon ages of the Baskil Intrusive Complex (Malatya, Turkey), *Geological Journal*, 57, 3048–3073. <https://doi.org/10.1002/gj.4460>
- Okay, A., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Serane, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Palme, H., & O'Neill, H.S.C. (2007). *Cosmochemical estimates of mantle composition*. In: *Treatise on Geochemistry*, 2–9, 1–38. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/ 02177-0>
- Parlak, O. (2006). Geodynamic significance of granitoid magmatism in the southeast Anatolian orogen: geochemical and geochronological evidence from Göksun–Aşın (Kahramanmaraş, Turkey) region, *International Journal of Earth Sciences*, 95, 609-627. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0058-2>
- Pearce, J.A. (1982). *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries*. In: Torpe, R.S. (Ed.), *Andesites*. Wiley, New York, NY, USA, pp. 525–548.
- Pearce, J.A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100, 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>
- Pearce, J.A., & Peate, D.W. (1995). Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 23, 251–285. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343>
- Peccerillo, A., & Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63–81. <http://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Perinçek, D., & Kozlu, H. (1984). Stratigraphy and structural relation of the units in the Aşın-Elbistan-Doğanşehir Region. In *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 1983*, Mineral Research and Exploration Institute, Ankara, Edited by O. Tekeli and C. Göncüoğlu, pp. 181–198.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O., & Ustaömer, T. (2012). Overview of the Palaeozoic-Neogene evolution of NeoTethys in the Eastern Mediterranean region (southern Turkey, Cyprus, Syria). *Petroleum Geoscience*, 18: 381–404. <https://doi.org/10.1144/ petgeo2011-091>.
- Sun, S.S., & McDonough, W. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London, Special Publi.* 42, 313–345.
- Şengör, A.M.C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey — a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdioğlu Yazar, E., Aslan, Z., Kaygusuz, A., Baki Eraydın, T. (2022). Zircon U–Pb geochronology and petrology of the tholeiitic gabbro from the Kovanlık (Giresun) area: Constraints for the Late

Cretaceous bimodal arc magmatism in the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey. *Lithos*, 428-429, 106840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106840>

- Wagner, T.P., Donnelly-Nolan, J.M., & Grove, T.L. (1995). Evidence of hydrous differentiation and crystal accumulation in the low-MgO, high-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Lake Basalt from Medicine Lake volcano, California. *Contrib. Mineral. Petrol.* 121, 201-216. <https://doi.org/10.1007/s004100050099>
- Walter, M.J. (1998). Melting of garnet peridotite and the origin of komatiite and depleted lithosphere, *Journal of Petrology*, 39, 29–60. <https://doi.org/10.1093/ptro/39.1.29>
- Yang, W., Niu, H., Shan, Q., Luo, Y., Sun, W., Li, C., Li, N., & Yu, X. (2012). Late Paleozoic calcalkaline to shoshonitic magmatism and its geodynamic implications, Yuximolegai area, western Tianshan, Xinjiang: *Gondwana Research*, 22, 325–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.10.008>
- Yıldırım, E. (2015). Geochemistry, petrography and tectonic significance of the ophiolitic rocks, felsic intrusions and Eocene volcanic rocks of an imbrication zone (Helete area, Southeast Turkey), *Journal of African Earth Sciences*, 107, 89-107. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.04.002>
- Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the Southeast Anatolian Orogen, *Geological Society of America Bulletin*, 105, 251–271. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1993\)105<0251:NEAMOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105<0251:NEAMOT>2.3.CO;2)
- Yılmaz, Y. (2019). Southeast Anatolian Orogenic Belt Revisited (Geology and Evolution), *Canadian Journal of Earth Sciences*, 56, 1163–1180. <https://doi.org/10.1139/cjes-2018-0170>
- Yiğitbaş, E. (1989). Engizek Dağı (Kahraman Maraş) dolayındaki tektonik birliklerin petrolojik incelenmesi (Doktora tezi). [Petrological Studies of the tectonic units in the Engizek Mountain, Kahraman Maras,.] Ph.D. thesis, Istanbul Üniversitesi, 347pp.
- Zhang, J., Amakawa, H., & Nozaki, Y. (1994). The comparative behaviors of yttrium and lanthanides in the sea water of the North Pacific. *Geophys. Res. Lett.* 21, 2677–2680. <https://doi.org/10.1029/94GL02404>

## Sedenionic matrices and their properties

### *Sedeniyonik matrisler ve özellikleri*

Ismail Gokhan GURSOY\*<sup>1</sup> , Ozcan BEKTAS<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Ordu University, Institute of Science, Ordu

<sup>2</sup>Samsun University, Faculty of Engineering and Nature Science, Department of Basic Science, 55000, Samsun

• Received: 06.01.2024

• Accepted: 05.05.2024

#### Abstract

In this article, the matrix algebra is well-known concept in mathematics, has been extended to sedenionic-coefficient matrices using sedenions, which have many applications in recent years. Subsequently, sedenionic-coefficient matrices have been obtained in their real, complex, quaternionic and octonionic forms. Based on these definitions, the arithmetic operations of addition, multiplication, conjugation, transpose and conjugate transpose for sedenionic matrices and their complex, quaternionic and octonionic variations have been established and their algebraic properties scrutinized. Lastly, vector space over real and complex numbers and module structure over quaternions of sedenionic matrices has been searched.

**Keywords:** Octonion, Sedenion, Sedenionic matrices, Quaternion

#### Öz

*Bu makalede matematikte iyi bilinen bir konu olan matris cebiri, son yıllarda pek çok uygulamaya sahip sedeniyonlar kullanılarak sedeniyonik katsayılı matrislere genişletilmiştir. Daha sonra sedeniyonik katsayılı matrislerin, reel, kompleks, kuaterniyonik ve oktoniyonik katsayılı versiyonları elde edilmiştir. Bu tanımlar doğrultusunda, sedeniyonik matrislerin ve diğer varyasyonlarının toplama, çarpma, eşlenik, tranpoz ve eşlenik transpoz işlemleri tanımlanmış ve cebirsel özellikleri incelenmiştir. Son olarak sedeniyonik matrislerin reel ve kompleks sayılar üzerindeki vektör uzayları ve kuaterniyonlar üzerindeki modül yapısı araştırılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Oktoniyon, Sedeniyon, Sedeniyonik matrisler, Kuaterniyon

\*Ismail Gokhan GURSOY; i.gokhan.gursoy.10.5@gmail.com

## 1. Introduction

In abstract algebra the term 'sedenion' refers to any 16-dimensional algebra over the real numbers. The Cayley–Dickson construction (Dickson, 1919) shows how octonions can be constructed as two dimensional algebra over quaternions. If this doubling process applied to octonions, Cayley–Dickson sedenions are obtained. Sedenions are non-commutative, non-associative, non-alternative, but power-associative algebra over the real numbers. Unlike octonions, sedenions are not composition algebras or normed division algebras, because they have zero divisors. The most fundamental and comprehensive source on sedenions is the study entitled “Sedenionic algebra and analysis” (Imaeda & Imaeda, 2000). Carmody dealt with the investigation of circular, hyperbolic quaternions, octonions and sedenions (Carmody, 1988). Moreno studied zero divisors of the Cayley-Dickson algebras over the real numbers (Moreno, 1997) and also the most comprehensive study on zero divisors of Cayley-Dickson sedenions has been conducted by Cawagas (Cawagas, 2004). The conjugacy class of subalgebras in the domain of real sedenions is investigated by Chan and Dokovic (Chan & Dokovic, 2018). The application scope of sedenions can be demonstrated through various recent examples. For instance, solving plasma physics' Maxwell equations using sedenions can be cited as the most current application (Sumer, 2022). The complex, quaternionic, and octonionic forms of sedenions, along with their matrix representations, were obtained by Bektaş (Bektaş, 2021). Additionally, Bektaş conducted research on fuzzy sedenions and fuzzy sedenion-valued series (Bektaş, 2023). Sedenions have recently emerged in number theories in pure mathematics. Research in this field has been applied in computer science and combinatorics. Some examples of these studies can be provided. Firstly, a new generalization of Fibonacci and Lucas sedenions can be given (Kirlak & Kizilates, 2022). Akpınar and Tasyurdu investigated Perrin octonions and sedenions (Tasyurdu & Akpınar, 2020). Catarino investigated modified pell and modified k-pell quaternions and octonions (Catarino, 2016) and also k-pell, k-pell-Lucas and modified k-pell sedenions (Catarino, 2019). The expansion of Mersenne and Mersenne-Lucas numbers through sedenions resulted in obtaining Mersenne and Mersenne-Lucas sedenions (Devi & Devibala, 2021). Similar to Mersenne sedenions, Fibonacci and Lucas sedenions and their generating functions and Binet's formulas obtained by (Bilgici et al, 2017). These studies showcase the diverse applications of sedenions in different fields. They highlight the role of sedenions not only in mathematical theories but also in applied sciences, thereby indicating their relevance in interdisciplinary research. In this paper, we aimed to expand the scope of standard matrix algebra and its properties within the context of sedenions. The article initially provided information about sedenions and their general characteristics. Subsequently, based on this information, sedenionic coefficient matrices were defined. Algebraic properties were examined through operations including addition, multiplication, conjugate, transpose, conjugate transpose and trace. Finally, within this study, the vector space structures of sedenionic matrix sets over real numbers and complex numbers and also the module structure over quaternions were investigated.

**Definition 1.1** (Imaeda & Imaeda, 2000) The sedenions are constructed over real numbers. Let  $E_{16} = \{e_i \in \mathbb{S} \mid i = 0, 1, 2, \dots, 15\}$  is canonical basis of sedenions, where  $e_0 = 1$  is multiplicative scalar element and  $e_i$ 's ( $i = 1, 2, \dots, 15$ ) are imaginary units. Sedenions are written as a linear combination of  $E_{16}$ . The set of sedenions can be written in the form

$$\mathbb{S} = \left\{ \mathcal{X} = \sum_{i=0}^{15} x_i e_i \mid x_i \in \mathbb{R}, 0 \leq i \leq 15 \right\}.$$

Sedenionic units are satisfy the following properties:

1.  $e_0 = 1$  and  $e_0 e_i = e_i e_0 = e_i$ , ( $i \neq 0$ )
2.  $e_i e_i = (e_i)^2 = -1$ , ( $i \neq 0$ )
3.  $e_i e_j = -e_j e_i$ , ( $i \neq j$ ), ( $i, j \neq 0$ ).

Let us first give some fundamental notions of sedenions.  $\mathcal{X}$  is a Cayley-Dickson Sedenion,  $\mathcal{X} = \sum_{i=0}^{15} x_i e_i$ ,  $S_{\mathcal{X}} = x_0 e_0 = \text{Re}(\mathcal{X})$  is the real part of sedenion,  $\vec{V}_{\mathcal{X}} = \sum_{i=1}^{15} x_i e_i = \text{Im}(\mathcal{X})$  is the vectorial part of sedenion. Thus, sedenions can be expression as

$$\mathcal{X} = x_0 e_0 + \sum_{i=1}^{15} x_i e_i = S_{\mathcal{X}} + \vec{V}_{\mathcal{X}}.$$

The sum of two sedenions is defined by

$$\mathcal{X} + \mathcal{Y} = \sum_{i=0}^{15} (x_i + y_i)e_i = (S_x + S_y) + (\vec{V}_x + \vec{V}_y).$$

The multiplication of two sedenions is defined by

$$\mathcal{X} \cdot \mathcal{Y} = \left(\sum_{i=0}^{15} x_i e_i\right) \cdot \left(\sum_{i=0}^{15} y_i e_i\right).$$

The multiplication of sedenionic unit basic elements are given in **Table 1**.

**Table 1.** Multiplication table of unit sedenion basic elements

$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$
$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$
$e_1$	$-e_0$	$e_3$	$-e_2$	$e_5$	$-e_4$	$-e_7$	$e_6$	$e_9$	$-e_8$	$-e_{11}$	$e_{10}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$
$e_2$	$-e_3$	$-e_0$	$e_1$	$e_6$	$e_7$	$-e_4$	$-e_5$	$e_{10}$	$e_{11}$	$-e_8$	$-e_9$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	$e_{12}$	$e_{13}$
$e_3$	$e_2$	$-e_1$	$-e_0$	$e_7$	$-e_6$	$e_5$	$-e_4$	$e_{11}$	$-e_{10}$	$e_9$	$-e_8$	$-e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$e_{12}$
$e_4$	$-e_5$	$-e_6$	$-e_7$	$-e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$	$-e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$
$e_5$	$e_4$	$-e_7$	$e_6$	$-e_1$	$-e_0$	$-e_3$	$e_2$	$e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$e_9$	$-e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$
$e_6$	$e_7$	$e_4$	$-e_5$	$-e_2$	$e_3$	$-e_0$	$-e_1$	$e_{14}$	$-e_{15}$	$-e_{12}$	$e_{13}$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_8$	$e_9$
$e_7$	$-e_6$	$e_5$	$e_4$	$-e_3$	$-e_2$	$e_1$	$-e_0$	$e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$-e_8$
$e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_{12}$	$-e_{13}$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	$-e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$
$e_9$	$e_8$	$-e_{11}$	$e_{10}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$-e_1$	$-e_0$	$-e_3$	$e_2$	$-e_5$	$e_4$	$e_7$	$-e_6$
$e_{10}$	$e_{11}$	$e_8$	$-e_9$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$-e_2$	$e_3$	$-e_0$	$-e_1$	$-e_6$	$-e_7$	$e_4$	$e_5$
$e_{11}$	$-e_{10}$	$e_9$	$e_8$	$-e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$-e_3$	$-e_2$	$e_1$	$-e_0$	$-e_7$	$e_6$	$-e_5$	$e_4$
$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$	$e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$-e_0$	$-e_1$	$-e_2$	$-e_3$
$e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$e_9$	$e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$	$-e_5$	$-e_4$	$e_7$	$-e_6$	$e_1$	$-e_0$	$e_3$	$-e_2$
$e_{14}$	$-e_{15}$	$-e_{12}$	$e_{13}$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$e_8$	$e_9$	$-e_6$	$-e_7$	$-e_4$	$e_5$	$e_2$	$-e_3$	$-e_0$	$-e_1$
$e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$e_8$	$-e_7$	$e_6$	$-e_5$	$-e_4$	$e_3$	$e_2$	$-e_1$	$-e_0$

Additionally, the multiplication operation can be defined as  $\mathcal{X} \cdot \mathcal{Y} = \sum_{i,j,k=1}^{15} f_{ij} \gamma_{ij}^k e_k$ , where  $e_i, e_j, e_k \in E_{16}$ ,  $f_{ij} = x_i y_j$ ,  $\gamma_{ij}^k \in \{-1, 0, +1\}$ .  $\gamma_{ij}^k$  are called field parameter. The list of all triplets indices of the ordered triplets  $(i, j, k)$  which provide the loops here, can be found in **Table 2**.

**Table 2.** Sedenionic triplets

$(i, j, k)$						
(1,2,3)	(1,4,5)	(1,7,6)	(1,8,9)	(1,11,10)	(1,13,12)	(1,14,15)
(2,4,6)	(2,5,7)	(2,8,10)	(2,9,11)	(2,14,12)	(2,15,13)	(3,4,7)
(3,6,5)	(3,8,11)	(3,10,9)	(3,13,14)	(3,15,12)	(4,8,12)	(4,9,13)
(4,10,14)	(4,11,15)	(5,8,13)	(5,10,15)	(5,12,9)	(5,14,11)	(6,8,14)
(6,11,13)	(6,12,10)	(6,15,9)	(7,8,15)	(7,9,14)	(7,12,11)	(7,13,10)



Let  $\mathcal{X} = (\sum_{i=0}^{15} x_i e_i)$  and  $\mathcal{Y} = (\sum_{i=0}^{15} y_i e_i)$  be two sedenions.  $\langle, \rangle_s$  operation is called sedenionic inner product and it is defined as

$$\langle \mathcal{X}, \mathcal{Y} \rangle_s = \frac{1}{2}(\mathcal{X} \cdot \bar{\mathcal{Y}} + \mathcal{Y} \cdot \bar{\mathcal{X}}) = x_0 y_0 + x_1 y_1 + \dots + x_{15} y_{15}.$$

Hence, the norm of the sedenion  $\mathcal{X}$  denoted by  $\|\mathcal{X}\| = \sqrt{\mathcal{X} \cdot \bar{\mathcal{X}}} = \sqrt{\sum_{i=0}^{15} (x_i)^2}$ . If  $\|\mathcal{X}\| = 1$ , then  $\mathcal{X}$  is called the unit sedenion. The inner product and norm operations mention above provide the following properties:

1.  $\langle \mathcal{X}, \mathcal{Y} \rangle_s = \langle \mathcal{Y}, \mathcal{X} \rangle_s$ ,
2.  $\langle \mathcal{X}, \mathcal{X} \rangle_s = \|\mathcal{X}\|^2 \geq 0$ ,
3.  $\langle \mathcal{X} \cdot \mathcal{Y}, \mathcal{Z} \rangle_s = \langle \mathcal{Y}, \bar{\mathcal{X}} \cdot \mathcal{Z} \rangle_s = \langle \mathcal{X}, \mathcal{Z} \cdot \bar{\mathcal{Y}} \rangle_s$ ,
4.  $\|\mathcal{X} + \mathcal{Y}\| \leq \|\mathcal{X}\| + \|\mathcal{Y}\|$ ,
5.  $\|\mathcal{X}\| = \|\bar{\mathcal{X}}\| = \|-\mathcal{X}\| = \|-\bar{\mathcal{X}}\|$ ,
6.  $\|\mathcal{X}\|^2 + \|\mathcal{Y}\|^2 = \frac{1}{2}(\|\mathcal{X} + \mathcal{Y}\|^2 + \|\mathcal{X} - \mathcal{Y}\|^2)$ ,
7.  $\|\mathcal{X} \cdot \mathcal{Y}\| = \|\mathcal{Y} \cdot \mathcal{X}\| = \|\bar{\mathcal{X}} \cdot \mathcal{Y}\| = \|\mathcal{X} \cdot \bar{\mathcal{Y}}\|$ .

$\bar{\mathcal{X}}$  is called conjugate of sedenion and it is defined by

$$\bar{\mathcal{X}} = x_0 e_0 - \sum_{i=1}^{15} x_i e_i = S_{\mathcal{X}} - \vec{V}_{\mathcal{X}}.$$

$\mathcal{X}$  non-zero sedenion, inverse of sedenion is defined by

$$\mathcal{X}^{-1} = \frac{\bar{\mathcal{X}}}{\|\mathcal{X}\|^2}, (\|\mathcal{X}\| \neq 0).$$

## 2. Material and method

In this section, we will investigate properties of sedenionic matrices. Firstly, we define real, complex, quaternionic and octonionic coefficient combination of sedenionic matrices. According to definition of basic matrix algebra operations are defined for each combination. These operations can be listed as follows: Addition, multiplication, conjugate, transpose, conjugate transpose and trace operation of sedenionic matrices. Finally, algebraic structures on sedenionic matrices set are investigated.

**Definition 2.1** Sedenionic matrix is defined by  $\check{\mathcal{A}} = [\check{a}_{st}]_{m \times n}$ , where  $\check{a}_{st} = \sum_{i=0}^{15} a_{st}^i e_i \in \mathbb{S}$ ,  $a_{st}^i \in \mathbb{R}$ ,  $(1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n)$ . The set of sedenionic matrices denoted by  $M_{m \times n}(\mathbb{S})$ . If  $m=n$  the set of sedenionic square matrices denoted by  $M_n(\mathbb{S})$ .

**Lemma 2.1 (Bektaş, 2021)** The algebras obtained through the construction known as the Cayley-Dickson doubling process always contain a sub-algebra. Therefore, there exists a relationship between these sets such  $\mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H} \subset \mathbb{O} \subset \mathbb{S} \subset \dots$  that every sedenion can be expressed as a linear combination of octonions, quaternions, and complex numbers.

**i.** Let  $z_1 = x_0 + x_1 e_1, z_2 = x_2 + x_3 e_1, z_3 = x_4 + x_5 e_1, z_4 = x_6 + x_7 e_1, z_5 = x_8 + x_9 e_1, z_6 = x_{10} + x_{11} e_1, z_7 = x_{12} + x_{13} e_1, z_8 = x_{14} + x_{15} e_1 \in \mathbb{C}$  and  $\mathcal{X} = \sum_{i=0}^{15} x_i e_i \in \mathbb{S}$  be given. Sedenion  $\mathcal{X}$  can be written linear combination of 8 complex numbers as follows:

$$\mathcal{X} = z_1 + z_2 e_2 + z_3 e_4 + z_4 e_6 + z_5 e_8 + z_6 e_{10} + z_7 e_{12} + z_8 e_{14}.$$

**ii.** Let  $q_1 = x_0 + \sum_{i=1}^3 x_i e_i, q_2 = x_4 + \sum_{i=5}^7 x_i e_{i-4}, q_3 = x_8 + \sum_{i=8}^{10} x_i e_{i-7}, q_4 = x_{12} + \sum_{i=11}^{13} x_i e_{i-10} \in \mathbb{H}$  and  $\mathcal{X} = \sum_{i=0}^{15} x_i e_i \in \mathbb{S}$  be given. Sedenion  $\mathcal{X}$  can be written linear combination of 4 quaternionic numbers as follows:

$$\mathcal{X} = q_1 + q_2 e_4 + q_3 e_8 + q_4 e_{12}.$$

**iii.** Let  $o_1 = x_0 + \sum_{i=1}^7 x_i e_i, o_2 = x_8 + \sum_{i=9}^{15} x_i e_{i-8} \in \mathbb{O}$  be given and  $\mathcal{X} = \sum_{i=0}^{15} x_i e_i \in \mathbb{S}$  be given.

Sedenion  $\mathcal{X}$  can be written linear combination of 2 octonionic numbers as follows:

$$\mathcal{X} = o_1 + o_2 e_8.$$

**Theorem 2.1** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] = [\sum_{i=0}^{15} a_{st}^i e_i]$  be given. The sedenionic matrices can be written as real, complex, quaternionic and octonionic coefficient matrix as follows:

1.  $\check{A} = [\check{a}_{st}] = [\sum_{i=0}^{15} a_{st}^i e_i] = [a_{st}^0] + [a_{st}^1]e_1 + [a_{st}^2]e_2 + \dots + [a_{st}^{15}]e_{15}$  a sedenionic matrix is written as a linear combination of 16 real matrices as follows

$$\check{A} = A_0 + A_1 e_1 + A_2 e_2 + \dots + A_{15} e_{15},$$

where  $A_0 = [a_{st}^0], \dots, A_{15} = [a_{st}^{15}]e_{15} \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$ .

2.  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i$ , a sedenionic matrix is written as a linear combination of 8 complex matrices as follows

$$\check{A} = \sum_{i=1}^8 \hat{A}_i e_{2i-2} = \hat{A}_1 + \hat{A}_2 e_2 + \hat{A}_3 e_4 + \hat{A}_4 e_6 + \hat{A}_5 e_8 + \hat{A}_6 e_{10} + \hat{A}_7 e_{12} + \hat{A}_8 e_{14},$$

where  $A_1 = A_0 + A_1 e_1, A_2 = A_2 + A_3 e_1, A_3 = A_4 + A_5 e_1, A_4 = A_6 + A_7 e_1, A_5 = A_8 + A_9 e_1, A_6 = A_{10} + A_{11} e_1, A_7 = A_{12} + A_{13} e_1, A_8 = A_{14} + A_{15} e_1 \in M_{m \times n}(\mathbb{C})$ .

3.  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i$ , a sedenionic is written as a linear combination of 4 quaternionic matrices as follows

$$\check{A} = \sum_{i=1}^4 \tilde{A}_i e_{4i-4} = \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 e_4 + \tilde{A}_3 e_8 + \tilde{A}_4 e_{12},$$

where  $\tilde{A}_1 = A_0 + \sum_{i=1}^3 A_i e_i, \tilde{A}_2 = A_4 + \sum_{i=5}^7 A_i e_{i-4}, \tilde{A}_3 = A_8 + \sum_{i=8}^{10} A_i e_{i-7}, \tilde{A}_4 = A_{12} + \sum_{i=11}^{13} A_i e_{i-10} \in M_{m \times n}(\mathbb{H})$ .

4.  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i$ , a sedenionic matrix is written as a linear combination of 2 octonionic matrices as follows

$$\check{A} = \tilde{\tilde{A}}_1 + \tilde{\tilde{A}}_2 e_8,$$

where  $\tilde{\tilde{A}}_1 = A_0 + \sum_{i=1}^7 A_i e_i, \tilde{\tilde{A}}_2 = A_8 + \sum_{i=9}^{15} A_i e_{i-8} \in M_{m \times n}(\mathbb{O})$ .

**Proof:** It can be obtained easily from lemma 2.1.

**Definition 2.2** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}], \check{B} = [\check{b}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$  be sedenionic matrices. If  $\check{a}_{st} = \check{b}_{st}$ , then it is called  $\check{A}$  is equal to  $\check{B}$  and written  $\check{A} = \check{B}$ .

**Remark 2.1** According to sedenionic matrix definition, if two sedenionic matrices are equal then their real, complex, quaternionic and octonionic coefficient matrices are equal.

**Definition 2.3** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}]$  be given.  $\forall \check{a}_{st} \in \mathbb{S}$ , if  $\check{a}_{st} = 0$ , then it is called sedenionic zero matrix and written as  $\check{A} = \check{0}_{m \times n}$ . In case of  $m = n$ , it is called sedenionic zero square matrix and it is written as  $\check{0}_{m \times n} = \check{0}_n$ .

**Definition 2.4** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}], \check{B} = [\check{b}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $(1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n)$  be sedenionic matrices. The addition operation of sedenionic matrices can be written as follow:

$$\check{A} \oplus \check{B} = [\check{a}_{st} + \check{b}_{st}] = \begin{pmatrix} \check{a}_{11} + \check{b}_{11} & \check{a}_{12} + \check{b}_{12} & \dots & \check{a}_{1n} + \check{b}_{1n} \\ \check{a}_{21} + \check{b}_{21} & \check{a}_{22} + \check{b}_{22} & \dots & \check{a}_{2n} + \check{b}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{a}_{m1} + \check{b}_{m1} & \check{a}_{m2} + \check{b}_{m2} & \dots & \check{a}_{mn} + \check{b}_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n}.$$

**Remark 2.2** The symbol  $\oplus$  is defined as sedenionic matrix addition operation. Addition of sedenionic matrices can be written in the term of matrices with real, complex, quaternionic and octonionic coefficient respectively

1.  $\check{A} \oplus \check{B} = \sum_{i=1}^{15} (A_i + B_i) e_i,$
2.  $\check{A} \oplus \check{B} = \sum_{i=1}^8 (\hat{A}_i + \hat{B}_i) e_{2i-2},$
3.  $\check{A} \oplus \check{B} = \sum_{i=1}^4 (\tilde{A}_i + \tilde{B}_i) e_{4i-4},$
4.  $\check{A} \oplus \check{B} = \tilde{\tilde{A}}_1 + \tilde{\tilde{B}}_1 + (\tilde{\tilde{A}}_2 + \tilde{\tilde{B}}_2) e_8.$

**Corollary 2.1**  $(M_{m \times n}(\mathbb{S}), \oplus)$  is an Abelian group.  $\check{0}_{m \times n}$  is unit element of  $M_{m \times n}(\mathbb{S})$ . The inverse of  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i$  according to the addition operation is  $-\check{A} = -\sum_{i=0}^{15} A_i e_i$ .

**Definition 2.5** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S}), \check{B} = [\check{b}_{tr}] \in M_{n \times p}(\mathbb{S})$  ( $1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n, 1 \leq r \leq p$ ) be sedenionic matrices. The multiplication of two sedenionic matrices can be define as follows:

$$\check{A} \otimes \check{B} = [\sum_{t=1}^n \check{a}_{st} \cdot \check{b}_{tr}]_{m \times p}.$$

The symbol  $\otimes$  is defined as sedenionic matrix multiplication operation. If  $\sum_{t=1}^n \check{a}_{st} \check{b}_{tr} = \check{c}_{sr}$  ( $1 \leq s \leq m, 1 \leq r \leq p$ ), then we can write

$$\begin{aligned} \check{c}_{11} &= \sum_{t=1}^n \check{a}_{1t} \cdot \check{b}_{t1} = \check{a}_{11} \cdot \check{b}_{11} + \check{a}_{12} \cdot \check{b}_{21} + \dots + \check{a}_{1n} \cdot \check{b}_{n1}, \\ \check{c}_{12} &= \sum_{t=1}^n \check{a}_{1t} \cdot \check{b}_{t2} = \check{a}_{11} \cdot \check{b}_{12} + \check{a}_{12} \cdot \check{b}_{22} + \dots + \check{a}_{1n} \cdot \check{b}_{n2}, \\ &\vdots \\ \check{c}_{1p} &= \sum_{t=1}^n \check{a}_{1t} \cdot \check{b}_{tp} = \check{a}_{11} \cdot \check{b}_{1p} + \check{a}_{12} \cdot \check{b}_{2p} + \dots + \check{a}_{1n} \cdot \check{b}_{np}. \end{aligned}$$

On the other hand, the multiplication of sedenionic matrices can be written as

$$\check{A} \otimes \check{B} = \begin{pmatrix} \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \\ \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \end{pmatrix}_{m \times n} \begin{pmatrix} \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \\ \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{a}_{1t} & \check{a}_{1t} & \dots & \check{a}_{1t} \end{pmatrix}_{n \times p} = (\check{c}_{mp}) = \check{C}.$$

**Remark 2.3** Let  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i \in M_{m \times n}(\mathbb{S}), \check{B} = \sum_{i=0}^{15} B_i e_i \in M_{n \times p}(\mathbb{S})$ , ( $1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n, 1 \leq r \leq p$ ) be two sedenionic matrices. For each  $i = 0, 1, 2, \dots, 15$ , let  $A_i \in M_{m \times n}(\mathbb{R})$  and  $B_i \in M_{n \times p}(\mathbb{R})$  real coefficient matrices. Then, the multiplication operation in terms of real combination of two sedenionic matrices can be define as follows:

$$\begin{aligned} \check{A} \otimes \check{B} &= \left( \sum_{i=0}^{15} A_i e_i \right) \otimes \left( \sum_{i=0}^{15} B_i e_i \right) \\ &= (A_0 B_0 - A_1 B_1 - A_2 B_2 - A_3 B_3 - A_4 B_4 - A_5 B_5 - A_6 B_6 - A_7 B_7 - A_8 B_8 \\ &\quad - A_9 B_9 - A_{10} B_{10} - A_{11} B_{11} - A_{12} B_{12} - A_{13} B_{13} - A_{14} B_{14} - A_{15} B_{15}) e_0 \\ &\quad + (A_0 B_1 + A_1 B_0 + A_2 B_3 - A_3 B_2 + A_4 B_5 - A_5 B_4 - A_6 B_7 + A_7 B_6 + A_8 B_9 \\ &\quad - A_9 B_1 - A_{10} B_{11} + A_{11} B_{10} - A_{12} B_{13} - A_{13} B_9 - A_{14} B_{15} - A_{15} B_{14}) e_1 \\ &\quad + (A_0 B_2 - A_1 B_3 + A_2 B_0 + A_3 B_1 + A_4 B_6 + A_5 B_7 - A_6 B_4 - A_7 B_5 + A_8 B_{10} \\ &\quad + A_9 B_{11} - A_{10} B_8 - A_{11} B_9 - A_{12} B_{14} - A_{13} B_{15} + A_{14} B_{12} + A_{15} B_{13}) e_2 \\ &\quad + (A_0 B_3 + A_1 B_2 - A_2 B_1 + A_3 B_0 + A_4 B_7 - A_5 B_6 + A_6 B_5 - A_7 B_4 + A_8 B_{11} \\ &\quad - A_9 B_{10} + A_{10} B_9 - A_{11} B_8 - A_{12} B_{15} + A_{13} B_{14} - A_{14} B_{13} + A_{15} B_{12}) e_3 \\ &\quad + (A_0 B_4 - A_1 B_5 - A_2 B_6 - A_3 B_7 + A_4 B_0 + A_5 B_1 + A_6 B_2 + A_7 B_3 + A_8 B_{12} \\ &\quad - A_9 B_{13} + A_{10} B_{14} + A_{11} B_{15} - A_{12} B_8 - A_{13} B_9 - A_{14} B_{10} - A_{15} B_{11}) e_4 \\ &\quad + (A_0 B_5 + A_1 B_4 - A_2 B_7 + A_3 B_6 - A_4 B_1 + A_5 B_0 - A_6 B_3 + A_7 B_2 + A_8 B_{13} \\ &\quad - A_9 B_{12} + A_{10} B_{15} - A_{11} B_{14} + A_{12} B_9 - A_{13} B_8 + A_{14} B_{11} - A_{15} B_{10}) e_5 \\ &\quad + (A_0 B_6 + A_1 B_3 + A_2 B_4 - A_3 B_5 - A_4 B_2 + A_5 B_3 + A_6 B_0 - A_7 B_1 - A_8 B_{14} \\ &\quad - A_9 B_{15} - A_{10} B_{12} + A_{11} B_{13} + A_{12} B_{10} - A_{13} B_{11} - A_{14} B_8 + A_{15} B_9) e_6 \\ &\quad + (A_0 B_7 - A_1 B_6 + A_2 B_5 + A_3 B_4 - A_4 B_3 - A_5 B_2 + A_6 B_1 + A_7 B_0 + A_8 B_{15} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +A_9B_{14} - A_{10}B_{13} + A_{11}B_{12} + A_{12}B_{11} + A_{13}B_{10} - A_{14}B_9 - A_{15}B_8)e_7 \\
 & + (A_0B_8 - A_1B_9 - A_2B_{10} - A_3B_9 - A_4B_{12} - A_5B_{13} - A_6B_{14} - A_7B_{15} + A_8B_0 \\
 & + A_9B_1 + A_{10}B_2 + A_{11}B_3 + A_{12}B_4 + A_{13}B_5 + A_{14}B_6 + A_{15}B_7)e_8 \\
 & + (A_0B_9 + A_1B_8 - A_2B_{11} + A_3B_{10} - A_4B_{13} + A_5B_{12} + A_6B_{15} - A_7B_{14} - A_8B_1 \\
 & + A_9B_0 - A_{10}B_3 + A_{11}B_2 - A_{12}B_5 + A_{13}B_4 + A_{14}B_7 - A_{15}B_6)e_9 \\
 & + (A_0B_{10} + A_1B_{11} + A_2B_8 - A_3B_9 - A_4B_{14} - A_5B_{15} + A_6B_{12} + A_7B_{13} \\
 & - A_8B_2 + A_9B_3 + A_{10}B_0 - A_{11}B_1 - A_{12}B_6 - A_{13}B_7 + A_{14}B_4 + A_{15}B_5)e_{10} \\
 & + (A_0B_{11} - A_1B_{10} + A_2B_9 + A_3B_8 - A_4B_{15} + A_5B_{14} - A_6B_{13} + A_7B_{12} - A_8B_3 - A_9B_2 \\
 & + A_{10}B_1 + A_{11}B_0 - A_{12}B_7 + A_{13}B_6 - A_{14}B_5 + A_{15}B_4)e_{11} \\
 & + (A_0B_{12} + A_1B_{13} + A_2B_{14} + A_3B_{15} + A_4B_8 - A_5B_9 - A_6B_{10} - A_7B_{11} - A_8B_4 \\
 & + A_9B_5 + A_{10}B_6 + A_{11}B_7 + A_{12}B_0 - A_{13}B_1 - A_{14}B_2 - A_{15}B_3)e_{12} \\
 & + (A_0B_{13} - A_1B_{12} + A_2B_{15} - A_3B_{14} + A_4B_9 + A_5B_8 + A_6B_{11} - A_7B_{10} - A_8B_5 \\
 & - A_9B_4 + A_{10}B_7 - A_{11}B_6 + A_{12}B_1 + A_{13}B_0 + A_{14}B_3 - A_{15}B_2)e_{13} \\
 & + (A_0B_{14} - A_1B_{15} - A_2B_{12} + A_3B_{13} + A_4B_{10} - A_5B_{11} + A_6B_8 + A_7B_9 - A_8B_6 \\
 & - A_9B_7 - A_{10}B_4 + A_{11}B_5 + A_{12}B_2 - A_{13}B_3 + A_{14}B_0 + A_{15}B_1)e_{14} \\
 & + (A_0B_{15} + A_1B_{14} - A_2B_{13} - A_3B_{12} + A_4B_{11} + A_5B_{10} - A_6B_9 + A_7B_8 - A_8B_7 \\
 & + A_9B_6 - A_{10}B_5 - A_{11}B_4 + A_{12}B_3 + A_{13}B_2 - A_{14}B_1 + A_{15}B_0)e_{15}.
 \end{aligned}$$

**Remark 2.4** Sedenionic matrix set, unlike other matrix algebras, none of the properties of multiplication operation is not satisfied in general.

**Definition 2.6** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ , ( $1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n$ ) be given.  $\bar{\check{A}}$  is define as conjugate of sedenionic matrix of  $\check{A}$  and written as follow:

$$\bar{\check{A}} = \overline{[\check{a}_{st}]} = \overline{[\sum_{i=0}^{15} a_{st}^i e_i]} = [a_{st}^0 - \sum_{i=1}^{15} a_{st}^i e_i].$$

**Remark 2.5** The conjugate of sedenionic matrices can be written in terms of matrices with real, complex, quaternionic and octonionic coefficient respectively

1.  $\bar{\check{A}} = A_0 - \sum_{i=1}^{15} A_i e_i$ ,
2.  $\bar{\check{A}} = \hat{A}_1 - \sum_{i=2}^8 \hat{A}_i e_{2i-2}$ ,
3.  $\bar{\check{A}} = \tilde{A}_i - \sum_{i=2}^4 \tilde{A}_i e_{4i-4}$ ,
4.  $\bar{\check{A}} = \tilde{\tilde{A}}_1 - \tilde{\tilde{A}}_2 e_8$ .

**Definition 2.7** Let  $\lambda \in \mathbb{S}$  be given. The multiplication of a sedenion and a sedenionic matrix is defined as follow:

$$\odot_{\mathbb{S}}: \mathbb{S} \times M_{m \times n}(\mathbb{S}) \rightarrow M_{m \times n}(\mathbb{S})$$

$$(\lambda, \check{A}) \rightarrow \lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A} = \lambda \odot_{\mathbb{S}} [\check{a}_{st}] = [\lambda \cdot \check{a}_{st}].$$

Due to  $\lambda \in \mathbb{S}$  and  $\check{a}_{st} \in \mathbb{S}$  it can be written as  $\lambda \cdot \check{a}_{st} \in \mathbb{S}$  and  $\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A} \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ . The scalar multiplication operation is scalar operation.

**Theorem 2.2** Let  $\check{A}, \check{B} \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $\check{C} \in M_{n \times r}(\mathbb{S})$  and  $\lambda \in \mathbb{S}$  be given. Then, the following properties are satisfied.

1.  $\overline{(\bar{\check{A}})} = \check{A}$ ,
2.  $\bar{\lambda} \odot_{\mathbb{S}} \bar{\check{A}} = \overline{\check{A} \odot_{\mathbb{S}} \lambda}$ ,
3.  $\overline{(\check{A} \oplus \check{B})} = \bar{\check{A}} \oplus \bar{\check{B}}$ ,
4.  $\overline{(\check{A} \otimes \check{C})} \neq \bar{\check{A}} \otimes \bar{\check{C}}$ .

**Proof:** (1), (2), (3) can be easily shown. Then, we will prove the condition of (4).

$$\begin{aligned}
 (4) \overline{(\check{A} \otimes \check{C})} &= A_0 C_0 - \sum_{i=1}^{15} A_i C_i \\
 &\quad - (A_0 C_1 + A_1 C_0 + A_2 C_3 - A_3 C_2 + A_4 C_5 - A_5 C_4 - A_6 C_7 + A_7 C_6 + A_8 C_9 \\
 &\quad - A_9 C_1 - A_{10} C_{11} + A_{11} C_{10} - A_{12} C_{13} - A_{13} C_9 - A_{14} C_{15} - A_{15} C_{14}) e_1 \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad - (A_0 C_{15} + A_1 C_{14} - A_2 C_{13} - A_3 C_{12} + A_4 C_{11} + A_5 C_{10} - A_6 C_9 + A_7 C_8 - A_8 C_7 \\
 &\quad + A_9 C_6 - A_{10} C_5 - A_{11} C_4 + A_{12} C_3 + A_{13} C_2 - A_{14} C_1 + A_{15} C_0) e_{15},
 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
 \overline{\check{A}} \otimes \check{C} &= A_0 C_0 - \sum_{i=1}^{15} A_i C_i \\
 &\quad - (A_0 C_1 + A_1 C_0 + A_2 C_3 - A_3 C_2 + A_4 C_5 - A_5 C_4 - A_6 C_7 + A_7 C_6 + A_8 C_9 \\
 &\quad - A_9 C_1 - A_{10} C_{11} + A_{11} C_{10} - A_{12} C_{13} - A_{13} C_9 - A_{14} C_{15} + A_{15} C_{14}) e_1 \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad - (A_0 C_{15} - A_1 C_{14} - A_2 C_{13} - A_3 C_{12} + A_4 C_{11} + A_5 C_{10} - A_6 C_9 + A_7 C_8 - A_8 C_7 \\
 &\quad + A_9 C_6 - A_{10} C_5 - A_{11} C_4 + A_{12} C_3 + A_{13} C_2 - A_{14} C_1 + A_{15} C_0) e_{15}.
 \end{aligned}$$

Then, it is obtained that  $\overline{(\check{A} \otimes \check{C})} \neq \overline{\check{A}} \otimes \check{C}$ .

**Corollary 2.2** Let  $\overline{\check{A}} = A_0 - \sum_{i=1}^{15} A_i e_i \in M_n(\mathbb{S})$  be given. As a result of theorem 2.2, it can be written the following expression:  $(\overline{\check{A}})^2 \neq (\overline{\check{A}^2})$ .

**Definition 2.8** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $(1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n)$  be sedenionic matrix. The transpose of sedenionic matrix of  $\check{A}$  is defined as  $\check{A}^t = [\check{a}_{ts}] \in M_{n \times m}(\mathbb{S})$ .

**Remark 2.6** The tranpose of sedenionic matrices can be written in terms of matrices with real, complex, quaternionic and octonionic coefficients, respectively as follows

1.  $\check{A}^t = \sum_{i=0}^{15} A_i^t e_i$ ,
2.  $\check{A}^t = \sum_{i=1}^8 \hat{A}_i^t e_{2i-2}$ ,
3.  $\check{A}^t = \sum_{i=1}^4 \tilde{A}_i^t e_{4i-4}$ ,
4.  $\check{A}^t = \tilde{\tilde{A}}_1^t + \tilde{\tilde{A}}_2^t e_8$ .

**Theorem 2.3** Let  $\check{A}, \check{B} \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $\check{C} \in M_{n \times r}(\mathbb{S})$  and  $\lambda \in \mathbb{S}$  be given. The following properties are satisfied.

1.  $(\check{A} \oplus \check{B})^t = \check{A}^t \oplus \check{B}^t$ ,
2.  $(\check{A}^t)^t = \check{A}$ ,
3.  $(\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A})^t = \lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A}^t$ ,
4.  $(\check{A} \otimes \check{C})^t \neq \check{C}^t \otimes \check{A}^t$ .

**Proof:** (1), (2) can be easily shown. Then, we will prove the last two conditions.

$$(3) (\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A})^t = (\lambda \odot_{\mathbb{S}} [\check{a}_{st}])^t = [\lambda \cdot \check{a}_{ts}] = \lambda \odot_{\mathbb{S}} [\check{a}_{ts}] = \lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A}^t.$$

$$\begin{aligned}
 (4) (\check{A} \otimes \check{C})^t &= \left( \left( \sum_{i=0}^{15} A_i e_i \right) \otimes \left( \sum_{i=0}^{15} C_i e_i \right) \right)^t \\
 &= C_0^t A_0^t - \sum_{i=0}^{15} \check{C}^t \check{A}^t \\
 &\quad + (C_0^t A_1^t + C_1^t A_0^t + C_2^t A_3^t - \dots - C_{15}^t A_{14}^t) e_1 \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad + (C_0^t A_{15}^t - C_1^t A_{14}^t - \dots + C_{15}^t A_0^t) e_{15}
 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \check{C}^t \otimes \check{A}^t &= (\sum_{i=0}^{15} C_i^t e_i) (\sum_{i=0}^{15} A_i^t e_i) \\ &= C_0^t A_0^t - \sum_{i=0}^{15} \check{C}^t \check{A}^t \\ &\quad + (C_0^t A_1^t + C_1^t A_0^t + C_2^t A_3^t - \dots - C_{15}^t A_{14}^t) e_1 \\ &\quad \vdots \\ &\quad + (C_0^t A_{15}^t + C_1^t A_{14}^t + \dots + C_{15}^t A_0^t) e_{15}. \end{aligned}$$

Based on obtained results, it can be written  $(\check{A} \otimes \check{C})^t \neq \check{C}^t \otimes \check{A}^t$ .

**Definition 2.9** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $(1 \leq s \leq m, 1 \leq t \leq n)$  be given. Then, the conjugate traspose of  $\check{A}$  is define as  $\overline{(\check{A})}^t = [\check{a}_{st}]^t \in M_{n \times m}(\mathbb{S})$ .

**Remark 2.7** The conjugate tranpose of sedenionic matrices can be written in terms of matrices with real, complex, quaternionic and octonionic coefficients, respectively as follows

1.  $\overline{(\check{A})}^t = A_0^t - \sum_{i=1}^{15} A_i^t e_i$ ,
2.  $\overline{(\check{A})}^t = \hat{A}_1^t - \sum_{i=2}^8 \hat{A}_i^t e_{2i-2}$ ,
3.  $\overline{(\check{A})}^t = \tilde{A}_1^t - \sum_{i=2}^4 \tilde{A}_i^t e_{4i-4}$ ,
4.  $\overline{(\check{A})}^t = \tilde{\tilde{A}}_1^t - \tilde{\tilde{A}}_2^t e_8$ .

**Theorem 2.4** Let  $\check{A}, \check{B} \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ ,  $\check{C} \in M_{n \times r}(\mathbb{S})$  and  $\lambda \in \mathbb{S}$  be given. The following properties are satisfied.

1.  $(\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A})^t = (\check{A})^t \odot_{\mathbb{S}} \bar{\lambda}$ ,
2.  $(\check{A})^t = \overline{(\check{A}^t)}$ ,
3.  $(\check{A} \oplus \check{B})^t = (\check{A})^t \oplus (\check{B})^t$ ,
4.  $(\check{A} \otimes \check{C})^t \neq (\check{C})^t \otimes (\check{A})^t$ .

**Proof:** (2), (3), (4) can be easily shown. Then, we will prove condition of (1).

$$(1) \overline{(\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A})}^t = (\bar{\lambda} \odot_{\mathbb{S}} \bar{\check{A}})^t = (\check{A})^t \odot_{\mathbb{S}} \bar{\lambda}.$$

**Definition 2.10** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i \in M_n(\mathbb{S})$  be given. The sum of the elements of sedenionic square matrix  $\check{A}$  on principal diagonal is called the trace of matrix  $\check{A}$  and denoted by  $\text{tr}(\check{A})$ .

$$\begin{aligned} \text{tr}(\check{A}) &= \sum_{r=1}^n \check{a}_{rr} = \sum_{r=1}^n (\sum_{i=1}^{15} \check{a}_{rr}^i) \\ &= \sum_{r=1}^n (\check{a}_{rr}^0 + \check{a}_{rr}^1 + \dots + \check{a}_{rr}^{15}) \\ &= \sum_{r=1}^n (\check{a}_{rr}^0) + \sum_{r=1}^n (\check{a}_{rr}^1) + \dots + \sum_{r=1}^n (\check{a}_{rr}^{15}). \end{aligned}$$

On the other hand  $\text{tr}(\check{A})$  can be written in terms of matrices with real coefficient as:

$$\text{tr}(\check{A}) = \sum_{i=0}^{15} \text{tr}(A_i) e_i = \text{tr}(A_0) + \text{tr}(A_1) e_1 + \text{tr}(A_2) e_2 + \dots + \text{tr}(A_{15}) e_{15}.$$

**Theorem 2.5** Let  $\check{A} = \sum_{i=0}^{15} A_i e_i$ ,  $\check{B} = \sum_{i=0}^{15} B_i e_i \in M_n(\mathbb{S})$  and  $\lambda \in \mathbb{S}$  be given. The following properties of trace operation are satisfied.

1.  $\text{tr}(\check{A} \oplus \check{B}) = \text{tr}(\check{A}) + \text{tr}(\check{B})$ ,
2.  $\text{tr}(\check{A} \otimes \check{B}) \neq \text{tr}(\check{A}) \cdot \text{tr}(\check{B})$ ,
3.  $\text{tr}(\check{A} \otimes \check{B}) \neq \text{tr}(\check{B} \otimes \check{A})$ ,

4.  $\text{tr}(\check{A} \odot_{\mathbb{S}} \lambda) \neq \text{tr}(\check{A}) \cdot \lambda$  or  $\text{tr}(\lambda \odot_{\mathbb{S}} \check{A}) \neq \lambda \cdot \text{tr}(\check{A})$ ,
5.  $\text{tr}(\check{A}^t) = \text{tr}(\check{A})$ .

**Proof:** (1), (3), (4), (5) can be easily shown. Then, we will prove condition of (2).

$$\begin{aligned}
 (2) \text{tr}(\check{A} \otimes \check{B}) &= \text{tr}(A_0 B_0) - \text{tr}(\sum_{i=1}^{15} A_i B_i) \\
 &\quad - \text{tr}(A_0 B_1 + A_1 B_0 + A_2 B_3 - A_3 B_2 + A_4 B_5 - A_5 B_4 - A_6 B_7 + A_7 B_6 + A_8 B_9 \\
 &\quad - A_9 B_1 - A_{10} B_{11} + A_{11} B_{10} - A_{12} B_{13} - A_{13} B_9 - A_{14} B_{15} - A_{15} B_{14}) e_1 \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad - \text{tr}(A_0 B_{15} + A_1 B_{14} - A_2 B_{13} - A_3 B_{12} + A_4 B_{11} + A_5 B_{10} - A_6 B_9 + A_7 B_8 - A_8 B_7 \\
 &\quad + A_9 B_6 - A_{10} B_5 - A_{11} B_4 + A_{12} B_3 + A_{13} B_2 - A_{14} B_1 + A_{15} B_0) e_{15}
 \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
 \text{tr}(\check{A}) \cdot \text{tr}(\check{B}) &= \text{tr}(A_0 B_0) - \text{tr}(\sum_{i=1}^{15} A_i B_i) \\
 &\quad - \text{tr}(A_0 B_1 + A_1 B_0 + A_2 B_3 - A_3 B_2 + A_4 B_5 - A_5 B_4 - A_6 B_7 + A_7 B_6 + A_8 B_9 \\
 &\quad - A_9 B_1 - A_{10} B_{11} + A_{11} B_{10} - A_{12} B_{13} - A_{13} B_9 - A_{14} B_{15} - A_{15} B_{14}) e_1 \\
 &\quad \vdots \\
 &\quad - \text{tr}(A_0 B_{15} + A_1 B_{14} - A_2 B_{13} - A_3 B_{12} + A_4 B_{11} + A_5 B_{10} - A_6 B_9 + A_7 B_8 - A_8 B_7 \\
 &\quad + A_9 B_6 - A_{10} B_5 - A_{11} B_4 + A_{12} B_3 + A_{13} B_2 - A_{14} B_1 + A_{15} B_0) e_{15}.
 \end{aligned}$$

The properties of trace of real matrix is  $\text{tr}(A \cdot B) \neq \text{tr}(A) \cdot \text{tr}(B)$ , so the results are not the same and it is obtained  $\text{tr}(\check{A} \otimes \check{B}) \neq \text{tr}(\check{A}) \cdot \text{tr}(\check{B})$ .

**Definition 2.11** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{\text{mxn}}(\mathbb{S})$  and  $\lambda \in \mathbb{R}$  be given. The multiplication of a real number and a sedenionic matrix is defined as follows:

$$\odot: \mathbb{R} \times M_{\text{mxn}}(\mathbb{S}) \rightarrow M_{\text{mxn}}(\mathbb{S})$$

$$(\lambda, \check{A}) \rightarrow \lambda \odot \check{A} = \lambda \odot [\check{a}_{st}] = [\lambda \cdot \check{a}_{st}].$$

Due to  $\lambda \in \mathbb{R}$  and  $\check{a}_{st} \in \mathbb{S}$  it can be written as  $\lambda \cdot \check{a}_{st} \in \mathbb{S}$  and  $\lambda \odot \check{A} \in M_{\text{mxn}}(\mathbb{S})$ . The scalar multiplication operation is scalar operation.

**Theorem 2.6** Let  $\check{A}, \check{B} \in M_{\text{mxn}}(\mathbb{S})$  and  $\lambda_1, \lambda_2 \in \mathbb{R}$  be given. Following properties of the scalar multiplication are satisfied.

1.  $\lambda_1 \odot (\check{A} \oplus \check{B}) = \lambda_1 \odot \check{A} \oplus \lambda_1 \odot \check{B}$ ,
2.  $(\lambda_1 + \lambda_2) \odot \check{A} = \lambda_1 \odot \check{A} \oplus \lambda_2 \odot \check{A}$ ,
3.  $(\lambda_1 \lambda_2) \odot \check{A} = \lambda_1 \odot (\lambda_2 \odot \check{A})$ ,
4.  $1_\lambda$  is the unit element of  $\mathbb{R}$  field,  $1_\lambda \odot \check{A} = \check{A}$ .

**Proof:** (1), (2), (4) can be easily shown. Then, we will prove condition of (3).

$$\begin{aligned}
 (3) (\lambda_1 \lambda_2) \odot \check{A} &= [(\lambda_1 \lambda_2) \cdot \check{a}_{st}] \\
 &= [\lambda_1 (\lambda_2 \cdot \check{a}_{st})] \\
 &= \lambda_1 \odot [(\lambda_2 \cdot \check{a}_{st})] \\
 &= \lambda_1 \odot (\lambda_2 \odot [\check{a}_{st}]) \\
 &= \lambda_1 \odot (\lambda_2 \odot \check{A}).
 \end{aligned}$$

**Corollary 2.3** Due to  $(M_{\text{mxn}}(\mathbb{S}), \oplus)$  being an Abelian group and from theorem 2.6, it is concluded that  $\{M_{\text{mxn}}(\mathbb{S}), \oplus, \mathbb{R}, +, \cdot, \odot\}$  is vector space.

**Definition 2.12** Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$ , where  $\check{a}_{st} = \sum_{i=0}^{15} a_{st}^i e_i \in \mathbb{S}$  be given.

$$\check{A} = \begin{bmatrix} \check{a}_{11} & \check{a}_{12} & \dots & \check{a}_{1n} \\ \check{a}_{21} & \check{a}_{22} & \dots & \check{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \check{a}_{m1} & \check{a}_{m2} & \dots & \check{a}_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

is written more explicitly as follows:

$$\begin{aligned} \check{A} = & a_{11}^0 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + a_{11}^1 \begin{bmatrix} e_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + a_{11}^{15} \begin{bmatrix} e_{15} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ & + \dots + a_{1n}^0 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + a_{1n}^1 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + a_{1n}^{15} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_{15} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ & + \dots + a_{m1}^0 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + a_{m1}^1 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + a_{m1}^{15} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{15} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ & + \dots + a_{mn}^0 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} + a_{mn}^1 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_1 \end{bmatrix} + \dots + a_{mn}^{15} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_{15} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Considering this expansion,

$$M_{m \times n}(\mathbb{S}) = \text{Sp}\{S_1\} = \text{Sp} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} e_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} e_{15} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \right. \\ \left. \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_{15} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \right. \\ \left. \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{15} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \right. \\ \left. \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_1 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_{15} \end{bmatrix} \right\}$$

thus,  $S_1$  is obtained. If  $S_1$  system linearly independent, it is obtained that  $S_1$  is the base of  $M_{m \times n}(\mathbb{S})$  vector space over field  $\mathbb{R}$ . Let  $q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1n}, q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2n}, q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mn}, r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}, r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}, r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn}, t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}, t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}, t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mn} \in \mathbb{R}$  and

$$\begin{aligned} & q_{11} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + r_{11} \begin{bmatrix} e_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + t_{11} \begin{bmatrix} e_{15} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ & + \dots + q_{1n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + r_{1n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + t_{1n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & e_{15} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ & + \dots + q_{m1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + r_{m1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} + \dots + t_{m1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{15} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



$$+ \dots + q_{mn} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} + r_{mn} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_1 \end{bmatrix} + \dots + t_{mn} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e_{15} \end{bmatrix} = \check{0}_{m \times n} \text{ be given.}$$

In that case,  $q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1n}, q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2n}, q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mn}, r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}, r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}, r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn}, t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}, t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}, t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mn} = 0$  is obtained. This result tells us  $S_1$  system is linearly independent. Due to  $M_{m \times n}(\mathbb{S}) = \text{Sp}\{S_1\}$ ,  $S_1$  matrix system is  $M_{m \times n}(\mathbb{S})$  vector space's standart base and it is obtained  $\dim(M_{m \times n}(\mathbb{S})) = 16mn$ .

**Remark 2.8** The relationship between the number sets such  $\mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H} \subset \mathbb{O} \subset \mathbb{S} \subset \dots$  is known from lemma 2.1. Similar to definition 2.11, it can be define the scalar multiplication operation involving complex numbers or quaternionic numbers with sedenionic matrices as follows:

Let  $\check{A} = [\check{a}_{st}] \in M_{m \times n}(\mathbb{S})$  and  $\lambda_1, \lambda_2 \in \mathbb{C}, \lambda_3, \lambda_4 \in \mathbb{H}$  be given.

i. The multiplication of a complex number and a sedenionic matrix is defined as follow:

$$\odot_{\mathbb{C}}: \mathbb{C} \times M_{m \times n}(\mathbb{S}) \rightarrow M_{m \times n}(\mathbb{S})$$

$$(\lambda_1, \check{A}) \rightarrow \lambda_1 \odot_{\mathbb{C}} \check{A} = \lambda_1 \odot_{\mathbb{C}} [\check{a}_{st}] = [\lambda_1 \cdot \check{a}_{st}].$$

ii. The multiplication of a quaternion and a sedenionic matrix is defined as follow:

$$\odot_{\mathbb{H}}: \mathbb{H} \times M_{m \times n}(\mathbb{S}) \rightarrow M_{m \times n}(\mathbb{S})$$

$$(\lambda_3, \check{A}) \rightarrow \lambda_3 \odot_{\mathbb{H}} \check{A} = \lambda_3 \odot_{\mathbb{H}} [\check{a}_{st}] = [\lambda_3 \cdot \check{a}_{st}].$$

Considering these two scalar operations and given that sedenions are non-commutative, property number (4) in theorem 2.6 can be expressed as follows for complex numbers and quaternions, respectively

1.  $(\lambda_1 \lambda_2) \odot_{\mathbb{C}} \check{A} \neq \lambda_1 (\lambda_2 \odot_{\mathbb{C}} \check{A}),$
2.  $(\lambda_3 \lambda_4) \odot_{\mathbb{H}} \check{A} \neq \lambda_3 (\lambda_4 \odot_{\mathbb{H}} \check{A}).$

**Corollary 2.4**  $\{M_{m \times n}(\mathbb{S}), \oplus, \mathbb{C}, +, \cdot, \odot_{\mathbb{C}}\}$  is not left (right) vector space.

**Corollary 2.5**  $\{M_{m \times n}(\mathbb{S}), \oplus, \mathbb{H}, +, \cdot, \odot_{\mathbb{H}}\}$  is not left (right) module.

#### 4. Discussion

Taking into account the evolving technology and current conditions, it has become inevitable to explore new areas mathematically and create various alternatives. In the 21st century, the application areas of sedenions are increasingly expanding. Its usage is widespread in fields such as robotic movements, quantum mechanics and prediction of time series. In this study unlike the known matrix algebra, matrices with sedenionic coefficients have been defined and their algebraic properties have been investigated and contributed to the literature. Considering the applications of standard matrix algebra, it can be stated that this study opens a new area in this field.

#### 5. Conclusions

The exploration of sedenions and their algebraic operations in the first section are given. Sedenionic algebra properties are used for on defining sedenionic coefficient matrices. This definition extends to real, complex, quaternionic and octonionic coefficient sedenionic matrices, followed by the comprehensive definition of various essential operations tailored for each type of sedenionic matrix. Addition, multiplication, conjugate, transpose, conjugate transpose, trace operation of sedenionic matrices are defined for each combinations. The vector space of  $M_{m \times n}(\mathbb{S})$  over  $\mathbb{R}$  field and  $\dim(M_{m \times n}(\mathbb{S})) = 16mn$  is obtained.

## Acknowledgement

The authors sincerely thank the editors of the journal who devoted their attention to the paper and also the referees who contributed their valuable time to the study.

## Author contribution

All authors contributed to all parts of the article.

## Declaration of ethical code

The authors of this manuscript declare that the materials and methods used in study to do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

## Conflicts of interest

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this manuscript.

## References

- Bektas, O., (2021). Some properties and special matrix representations of  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$  coefficient sedenion numbers. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 10 (4), 1416-1425. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.959454>
- Bektas, O., Senyurt, S., Gür Mazlum, S., (2023) Some properties of fuzzy sedenion numbers and fuzzy sedenion valued series. *Maejo International Journal of Science Technology*, 17(03), 239-251.
- Bilgici, G., Tokeser, U., & Unal, Z., (2017). Fibonacci and lucas sedenions. *Journal of Integer sequence*, 20(1), 8.
- Carmody, K., (1988). Circular and hyperbolic quaternions, octonions, and sedenions. *Applied Mathematics and Computation*, 84(1), 27-47. [https://doi.org/10.1016/S0096-3003\(96\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0096-3003(96)00051-3)
- Catarino, P., (2016). The modified pell and the modified k-pell quaternions and octonions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 26(2), 577-590. <https://doi.org/10.1007/s00006-015-0611-4>
- Catarino, P., (2019). k-Pell, k-pell lucas and modified k-pell sedenions. *Asian-European Journal of Mathematics*, 12(2), 1-10. <https://doi.org/10.1142/S1793557119500189>
- Cawagas, R. E., (2004). On the structure and zero divisors of the cayley-dickson sedenion algebra. *Discussiones Mathematicae General Algebra and Application*, 24(2), 251-265.
- Chan, K.C., & Dokovic, D.Z., (2018). Conjugacy class of subalgebras of the real sedenions. *Canadian Mathematical Bulletin*, 49(4), 492–507. <https://doi.org/10.4153/CMB-2006-048-6>
- Cimen, C., (2019). On the dual jacobsthal and dual jacobsthal lucas sedenions. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(3), 1759-1766. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.539189>
- Devi, B.M., & Devibala, S., (2021). On mersenne and mersenne–lucas sedenions. *Advances and Application in Mathematical Science*, 21(1), 383-392.
- Dickson, L. E., (1919). On quaternions and their generalization and the history of eight square theorem. *Annals of Mathematics*, 20(3), 155-171.
- Imaeda, K., & Imaeda, M., (2000). Sedenions algebra and analysis. *Applied Mathematics Computation*, 115(2-3), 77-88. [https://doi.org/10.1016/S0096-3003\(99\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0096-3003(99)00140-X)
- Ipek, A., & Cimen, C., (2016a). On pell quaternions and pell lucas quaternions. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 26, 39-51. <https://doi.org/10.1007/s00006-015-0571-8>
- Ipek, A., & Cimen, C., (2016b). On jacobsthal and jacobsthal-lucas octonions. *Mediterranean Journal of Mathematics*, 14(2), 1-13. DOI:10.1007/s00009-017-0873-2

- Ipek, A., & Cimen, C., (2017). On jacobsthal and the jacobsthal-lucas sedenions and several identities involving these numbers. *Mathematica Aeterna*, 7(4), 447-454.
- Ipek, A., Cimen, C., & Cimen, E., (2019). On horadam sedenions. *Journal of Science and Arts*, 4(49), 887-889.
- Kizilates, C., & Kirlak, S., (2022). New generalization of fibonacci and lucas type sedenions. *Journal of Discrete Mathematical Science and Cryptography*, 26(8), 2217-2228. <https://doi.org/10.1080/09720529.2022.2036405>
- Moreno, G., (1997). The zero divisors of the cayley-dickson algebras over the real numbers. <https://doi.org/10.48550/arXiv.q-alg/9710013>
- Soykan, Y., (2019). Tribonacci and tribonacci-lucas sedenions. *Mathematics*, 7(1), 74. <https://doi.org/10.3390/math7010074>
- Soykan, Y., Okumuş, I., & Tasdemir, E., (2020). On generalized tribonacci sedenions. *Sarajevo Journal of Mathematics*, 16(29), 103-122. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.05312>
- Sumer, D., (2022). *Reformulation of multifluid plasma equations in terms of sedenion*, [Master Thesis, Eskişehir Technical University Institute of Science].
- Tasyurdu, Y., & Akpınar, A., (2020). Perrin octonions and perrin sedenions. *Konuralp Journal of Mathematics*, 8(2), 384-390.

## Determination of synergic antioxidant interactions of Ellagic acid and chemotherapy drug (Docetaxel and Mitoxantron) combinations

*Elajik asit ve kemoterapi ilaç (Doksetaksel ve Mitoksantron) kombinasyonlarının sinerjik antioksidan etkileşimlerinin belirlenmesi*

Cuma ZEHİROĞLU<sup>1</sup> , Sevim Beyza ÖZTÜRK SARIKAYA\*<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Rektörlük, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Received: 02.02.2024

• Accepted: 05.05.2024

### Abstract

Chemotherapy drugs are commonly used in cancer treatment, despite their numerous negative side effects. Today, there are studies to reduce the side effects of these drugs and to increase their benefits by combining them with natural substances. Our study investigated the antioxidant and antiradical activities of Ellagic acid (EA), a natural substance, DOC and MIX, commonly used chemotherapeutics, as well as their combinations (EA+DOC, EA+MIX). For this purpose, the methods of DPPH<sup>•</sup> and ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity, Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> reduction capacity were used. After the study, the interactions were analysed with the combination index using Compusyn software. Concentrations with maximum synergy in combinations have been identified. For this purpose, firstly, the combination concentrations used in the antioxidant activity methods and the absorbance values were entered into the Compusyn programme. When DPPH<sup>•</sup> and ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity results were entered into the programme, more effective synergistic effect was observed for EA+DOC at lower concentrations (7:7µg/mL), (0.125:1µg/mL) respectively. For EA+MIX, no synergistic effect was observed with the application of DPPH scavenging activity results to the programme, while for ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity, more effective synergistic effect was observed at higher concentrations within the applied doses (0.750:6µg/ml). When Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> reduction results were applied to the programme; synergistic effect was observed at higher concentrations (17:17µg/mL) for both EA+DOC and EA+MIX and even strong synergistic effect was observed in many of them. The obtained results provide guidance for the use of these combinations in further studies, such as anticancer and enzyme studies.

**Keywords:** Antioxidant, Chemotherapy, Compusyn, Drug, Synergistic

### Öz

Kemoterapi ilaçları kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılan ancak birçok negatif yan etkisi bulunan ilaçlardır. Günümüzde bu ilaçların yan etkilerini azaltmak ve doğal maddelerle birleştirerek faydalarını artırmak için çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmamızda doğal bir madde olan Elajik asit (EA), yaygın olarak kullanılan kemoterapötikler olan DOC ve MIX ile bunların kombinasyonlarının (EA+DOC, EA+MIX) antioksidan ve antiradikal aktiviteleri araştırılmıştır. Bu amaçla DPPH<sup>•</sup> ve ABTS<sup>•+</sup> giderme aktivitesi, Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> ve Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> indirgeme kapasitesi yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonrasında etkileşimler CompuSyn yazılımı uygulanarak kombinasyon indeksi ile analiz edilmiştir. Kombinasyonlarda maksimum sinerjik gösteren konsantrasyonlar belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle antioksidan aktivite metotlarında kullanılan kombinasyon konsantrasyonları ve bulunan absorbans değerleri Compusyn programına girilmiştir. DPPH<sup>•</sup> ve ABTS<sup>•+</sup> giderme aktivitesi sonuçları programa girildiğinde EA+DOC için sırasıyla daha düşük konsantrasyonlarda (7:7µg/mL), (0,125+1 µg/mL) daha etkin sinerjik etki gözlemlenmiştir. EA+MIX için ise DPPH giderme aktivitesi sonuçlarının programa uygulanmasıyla sinerjik etki gözlemlenmemiş, ABTS<sup>•+</sup> giderme aktivitesi için ise uygulanan dozlar içinde daha yüksek konsantrasyonlarda daha etkin sinerjik etki gözlemlenmiştir (0.750:6 µg/ml). Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> ve Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> indirgeme sonuçları programa uygulandığında; hem EA+DOC hemde EA+MIX için daha yüksek konsantrasyonlarda (17:17µg/mL) sinerjik etki gözlemlenmiş olup hatta birçoğunda güçlü sinerjik etki gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu kombinasyonların antikanser ve enzim çalışmaları gibi daha ileri çalışmalarda kullanılması için yol gösterici olmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Antioksidan, Kemoterapi, Compusyn, İlaç, Sinerjik

\*Sevim Beyza ÖZTÜRK SARIKAYA; beyzasarikaya@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Cancer is the world's second leading cause of morbidity and mortality and is expected to become even more dominant in the future (Durante et al. 2020). It is estimated that cancer will cause 16.4 million deaths worldwide in 2040 (Aziz et al. 2021). One of the most important cancer treatment methods is chemotherapy. Chemotherapy drugs are an important treatment method for patients especially in patients who cannot be treated surgically. They spread throughout the body via the bloodstream, destroying cancer cells and preventing uncontrolled proliferation (Lennan, 2011; Papadakis, 2016). Chemotherapy protocols and schemes subject to change. according to factors such as cancer type, stage and patient condition. Due to these factors, chemotherapy drugs can be used alone or in combination (Ayvat, 2019).

One of the drugs commonly used in chemotherapy is Docetaxel (DOC). Docetaxel is a commonly used chemotherapy drug for treating various solid tumours, such as head and neck cancer, ovarian cancer, breast cancer, metastatic castration-resistant prostate cancer, and non-small cell lung cancer (Razak et al., 2021; Yan et al., 2022). Mitoxantrone (MIX) (1,4-dihydroxy-5,8-bis[2-(2-hydroxyethylamino)ethylamino]anthracene-9,10-dione), a clinically approved broad-spectrum anticancer drug, is mainly used in the treatment of different types of cancer, including breast cancer, leukaemia, lung cancer, lymphoma and prostate cancer (Buczowski et al., 2019; Granja et al., 2021).

Although chemotherapy drugs are used for the treatment of cancer types as listed above, there are many known side effects in this process. For example, use of the chemotherapeutic drugs Docetaxel and Mitoxantrone can cause hair loss, amenorrhoea, infertility, phlebitis, hypotension, heart attack, oedema, muscle pain, nausea, vomiting, hypersensitivity, decreased appetite, skin toxicity and bone marrow suppression (Fox, 2006; Martinelli et al., 2009; Şimsek, 2022).

For this reason, many studies have emphasized the importance of working with less toxic and more natural substances to improve quality of life, which is reduced by side effects (Lu et al., 2020; Chai et al., 2021). Thus, studies on combinations of drugs and natural substances are increasing.

Phenolic compounds are phenylalanine and tyrosine derivatives with one or more hydroxyl groups directly attached to an aromatic ring. They are found in high amounts especially in fruits and vegetables (Gündoğdu, 2020; Hazafa et al., 2022).

Phenolic compounds are divided into two groups as phenolic acids and flavonoids. They induce pigmentation, reproduction, growth and resistance to pathogens in plants (Hazafa et al., 2022). They attract attention due to their antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, antiallergic and anticancer activities (Anantharaju et al., 2016; Kumar & Goel, 2019).

Ellagic acid (2,3,7,8-tetrahydroxybenzopyranol [5,4,3-cde]benzopyran-5,10-dione) (EA) is a natural compound classified as polyphenolic and generally found in fruits such as strawberries, grapes, pomegranates, pomegranates, currants, cranberries, raspberries, walnuts, almonds and hazelnuts (Kaur et al., 2021; Xue et al., 2022).

Ellagic acids have many biological activities, including antimutagenic, antigenotoxic, antibacterial, anti-inflammatory, antidiabetic, antidepressant, anti-anxiety, cardioprotective, antiapoptotic, anti-tumour, antioxidant, and anticarcinogenic properties (Garcia-Nino & zazueta, 2015; Kaur et al., 2021).

There are studies in the literature that Ellagic acid has antioxidative effect. In 2009, Özyürek et al. used the cuprac method to determine the antioxidative effect of Ellagic acid (Özyürek et al., 2009). Khanduja et al. (2006) and Mehta et al. (2017) was determined the antioxidative activity of Ellagic acid using DPPH radical scavenging activity (Khanduja et al., 2006; Mehta et al., 2017). In another study, Kılıç et al. (2014) investigated the antioxidant activity of Ellagic acid using the ABTS and DPPH radical scavenging methods. The studies suggest that Ellagic acid has antioxidative activity (Kılıç et al., 2014).

Our literature review found no studies on the antioxidant activity of Docetaxel, Mitoxantrone, or combinations of these chemotherapy drugs with Ellagic acid, which are commonly used in chemotherapy. However, there are studies on antioxidant activity or ROS activity in cell line applications.

There are also studies on determining the synergistic effects of different natural substances without cell application. In 2019, Sumaya and Amit conducted a study to determine the activity of combinations of green tea and basil at certain concentrations using various methods such as DPPH and ABTS. They also investigated the synergistic interactions of these combinations using the Compusyn programme. They stated that the combinations of green tea and basil showed significant antioxidant potential and the strongest synergistic effect ratio was 1:1 (Sumaya & Amit, 2019). In another study, antioxidant interactions of black tea and *Ocimum gratissimum* binary mixture at different ratios were determined by combination index. It was concluded that the 3:1 ratio had the highest radical scavenging capacity in both in vitro and ex vivo analyses among the ratios (Guleria et al. 2022).

Therefore, in our study, the antioxidant and antiradical scavenging activities of Ellagic acid and Docetaxel and Mitoxantrone chemotherapy drugs separately and in combination (EA+DOC, EA+MIX) were determined.

Then, using the Compusyn programme, the concentrations that may show synergistic or antagonistic effects in combinations were investigated. Determination of the synergistic effect according to the combination index results provided guidance for further studies such as anticancer and enzyme activity in which combinations of Ellagic acid and chemotherapy drugs will be used.

## 2. Material and method

### 2.1. Chemicals

Trolox,  $\alpha$ -Tocoferol, ABTS, DPPH, Ethanol, BHA, BHT, DMPD, TCA, DMSO,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}_8\text{S}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , Ellagic acid, Docetaxel and Mitoxantrone were obtained from Sigma Aldrich.

### 2.2. Antioxidant activity determination methods

#### 2.2.1. DPPH<sup>•</sup> scavenging activity

DPPH free radical scavenging activity was determined by the Blois method (Blois, 1958). 1 mM solution of DPPH<sup>•</sup> radical was used. Samples prepared at a concentration of 1 mg/mL were used in the stock solution. Stock solutions of different concentrations of the samples were transferred to tubes and the final volumes were made up to 3 mL with ethanol. Next, tubes containing varying concentrations were each added with 1 mL of the stock DPPH<sup>•</sup> solution. The samples were incubated in the dark at room temperature for 30 minutes. The measurement of absorbance at 517 nm was taken against ethanol. A control solution consisting of 3 mL of ethanol and 1 mL of DPPH<sup>•</sup> radical was used.

#### 2.2.2. ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity

ABTS radical scavenging activity was determined according to the study of Re et al. (Re et al., 1999). 7 mM ABTS solution was prepared and a 2.45 mM persulfate solution was added. Thus, ABTS<sup>•+</sup> radicals were produced. Prior to using the ABTS radical solution, the absorbance of the control solution was adjusted to  $0.700 \pm 0.025$  nm at 734 nm using 0.1 M phosphate buffer with a pH of 7.4. 1 mL ABTS<sup>•+</sup> radical solution was added into the tubes prepared at concentrations of 1, 2, 3, 4, 5 and 6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . The samples were incubated for a duration of 30 minutes. The measurement of absorbance at 734 nm against ethanol was recorded.

#### 2.2.3. $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$ reduction activity

The reduction activity of  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$  was studied using the method determined by Oyaizu. Stock solutions were prepared at a concentration of 1 mg/mL. Stock solutions prepared at varying concentrations were added to the glass tubes. The final volume was made up to 1 mL with distilled water. 2.5 mL of 0.2 M phosphate buffer with a pH of 6.6 and 1% potassium ferricyanide ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) were added to each tube. The mixture was incubated at 50°C for 20 minutes. After incubation, 2.5 mL of 10% trichloroacetic acid (TCA) solution was added to the reaction mixture. After removing 2.5 mL of the supernatant of the solution, 2.5 mL of distilled water and 0.5 mL of 0.5 mL of 0.1%  $\text{FeCl}_3$  were added. Absorbance was measured at 700 nm against distilled water. Distilled water was used as a control instead of the sample (Oyaizu, 1986).

## 2.2.4. Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction capacity

The reduction activities of Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> were carried out by making slight modifications to the method used for reducing copper ions. To the tubes containing our samples prepared at different concentrations, we added 25 mL of 0.01 M CuCl<sub>2</sub> solution, 0.25 mL of 7.5x10<sup>-3</sup> M ethanolic neocuprin solution, and 0.25 mL of 1 M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> buffer solution, respectively. Absorbance values were measured at 450 nm against distilled water after 30 minutes (Apak et al., 2006).

## 2.3. Compusyn

The Chou-Talalay method is based on the median effect equation, which is derived from the law of mass action. This theorem ensures a common link between single and multiple entities. According to the combination index (CI) theorem, drug combinations are quantitatively defined for additive effect (CI=1), synergistic effect (CI<1) and antagonistic effect (CI>1) (Chou, 2010). This theory also provides algorithms for automatic computer simulation of synergism and/or antagonism at any effect and dose level, as shown in the CI plot and isobologram (Chou, 2006).

## 3. Results and discussion

### 3.1. Antioxidant activity and reducing capacity findings for Ellagic acid, chemotherapy drugs and combinations

Ellagic acid and Mitoxantrone were prepared at a concentration of 1 mg/mL for all methods used to determine antioxidant activity. For the study on ABTS<sup>•+</sup> radical scavenging activity only, the concentration of Ellagic acid was diluted to 1:8 mg/mL. Since dimethyl sulfoxide (DMSO) will be used as a solvent in subsequent cell culture studies, DMSO was used as solvent in this study. In the study, Ellagic acid EA, Docetaxel DOC, Mitoxantrone MIX, Ellagic acid+Docetaxel EA+DOC, Ellagic acid+Mitoxantrone EA+MIX are given as abbreviations.

#### 3.1.1. DPPH<sup>•</sup> scavenging activity findings

DPPH scavenging activity at 517 nm was tested for the ellagic acid/chemotherapy combinations (EA, MIX, DOC, EA+DOC, EA+MIX). We drew absorbance graphs corresponding to the concentrations and included error bars on the graph (Figure S1, S2) Finally, separately IC<sub>50</sub> values were calculated (Table 1). No significant decrease in absorbance with increasing concentration was observed for Docetaxel, and therefore it could not be plotted.

#### 3.1.2. ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity findings

The scavenging activity of ellagic acid/chemotherapy combinations (EA, MIX, DOC, EA+DOC, EA+MIX) on ABTS<sup>•+</sup> was tested at 734 nm. Absorbance graphs corresponding to the concentrations were drawn and error bars were shown on the graph (Figure S3, S4). IC<sub>50</sub> values were calculated (Table 1). For Docetaxel, no significant decrease in absorbance was observed with increasing concentration, and therefore, it could not be plotted.

**Table 1.** DPPH<sup>•</sup>, ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity (IC<sub>50</sub>) values of the substances and combinations and Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction force (A) values

Substances and Combinations	DPPH <sup>•</sup>	ABTS <sup>•+</sup>	Fe <sup>3+</sup> -Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup> -Cu <sup>+</sup>
	[IC <sub>50</sub> ](µg/mL)	[IC <sub>50</sub> ](µg/mL)	A±SD	A±SD
EA	3.797	0.524	0.964 ± 0.043	0.455 ± 0.011
DOC	-	-	0.064 ± 0.001	0.154 ± 0.004
MIX	6.556	2.461	0.730 ± 0.067	0.420 ± 0.004

**Table 1. Continued**

EA+DOC	10.999	4.290	0.514 ± 0.010	0.274 ± 0.016
EA+MIX	6.988	1.804	0.661 ± 0.038	0.303 ± 0.042

### 3.1.3. Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction activity findings

The absorbance of Ellagic acid, chemotherapy drugs, and combinations was measured at 700 nm, and corresponding absorbance graphs were plotted with error bars (Figure S5,S6). The increase in absorbance of Docetaxel with increasing concentration is negligibly small.

### 3.1.4. Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction capacity findings

The absorbances of Ellagic acid, chemotherapy drugs, and their combinations were measured at 450 nm. The corresponding absorbance graphs were drawn, and error bars were included (Figure S7, S8). For both Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction and Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction methods were compared with each other by giving the absorbance values of Ellagic acid, chemotherapy drugs and combinations at 5 µg/mL (Table 1).

## 3.2. Determining synergistic effects of in vitro antioxidant activity

In the in vitro antioxidant methods, compusyn programme was used to determine the combination index (CI). To determine the synergistic effect, we used the CompuSyn programme to draw a fractional effect (Fa) and combination index (CI) graph (Fa-CI). Values below CI<1 on the y-axis indicate a synergistic effect, while values below CI<0.5 indicate a strong synergistic effect. At the same time, a CI>1 was considered antagonistic, while a CI=1 was considered additive.

The names given in the tables are abbreviated as follows.

Combination index: CI, Fractional effect: Fa

### 3.2.1. DPPH<sup>•</sup> scavenging activity findings

The results obtained from EA, DOC, and MIX using the DPPH<sup>•</sup> scavenging method were analysed using the Compusyn programme (Table S1). Fractional effect and combination index values of EA+DOC and EA+MIX obtained as a result of the application (Table 2).

**Table 2.** Doses of EA+DOC and EA+MIX combinations found according to DPPH<sup>•</sup> scavenging method and entered into Compusyn programme, Fa and CI values obtained as a result of application

Dose (µg/mL)	Fa (EA+DOC)	CI (EA+DOC)	Fa (EA+MIX)	CI (EA+MIX)
2.000	0.744	0.898	0.752	1.36489
6.000	0.389	0.962	0.638	2.78084
10.000	0.219	0.919	0.478	2.90873
14.000	0.080	0.582	0.321	2.54697
18.000	0.061	0.614	0.263	2.68293
22.000	0.053	0.678	0.202	2.57149

For DPPH<sup>•</sup> scavenging method results; The Compusyn programme's Fa and CI graph was used to evaluate the synergistic effect of the EA+DOC and EA+MIX combination (Figure S9, S10).

### 3.2.2. ABTS<sup>•+</sup> scavenging activity results

The results obtained from EA, DOC, and MIX using the ABTS<sup>•+</sup> scavenging method were applied to the Compusyn program (Table S2). The fractional effect and combination index values of EA+DOC and EA+MIX were obtained as a result of the application (Table 3).



**Table 3.** Doses of EA+DOC and EA+MIX combinations entered into Compusyn programme according to ABTS<sup>+</sup> scavenging method, Fa and CI values obtained as a result of application

Dose (µg/mL)	Fa (EA+DOC)	CI (EA+DOC)	Fa (EA+MIX)	CI (EA+DOC)
1.125	0.752	0.712	0.457	0.856
2.250	0.639	0.928	0.262	0.990
3.375	0.432	0.742	0.160	1.003
4.500	0.353	0.802	0.042	0.532
5.625	0.339	0.929	0.004	0.150
6.750	0.323	1.058	0.001	0.076

For the ABTS<sup>+</sup> scavenging method results, the synergistic effect of EA+DOC and EA+MIX combination was evaluated according to the Fa and CI graph drawn in Compusyn Programme (Figure S11, S12).

### 3.2.3. Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction activity findings

The results obtained from the EA, DOC, and MIX tests using the Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction method were applied to the Compusyn programme (Table S3). The fractional effect and combination index values of EA+DOC and EA+MIX were obtained as a result of the application (Table 4).

**Table 4.** Doses of EA+DOC and EA+MIX combinations entered into Compusyn programme according to Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction method, Fa and CI values obtained as a result of application

Dose (µg/mL)	Fa (EA+DOC)	CI (EA+DOC)	Fa (EA+MIX)	CI (EA+MIX)
2.000	0.183	0.671	0.198	1.130
10.000	0.496	1.042	0.638	1.118
18.000	0.659	1.084	0.768	1.197
26.000	0.774	0.879	0.921	0.613
34.000	0.869	0.757	0.999	0.021

For the results of Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction method, the synergistic effect of EA+DOC and EA+MIX combination was evaluated according to the Fa and CI graph drawn in Compusyn programme (Figure S13, S14).

### 3.2.4. Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction capacity findings

The results obtained from the Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction (Cuprak) method for EA, DOC, and MIX were applied to the Compusyn programme (Table S4). The fractional effect and combination index values of EA+DOC and EA+MIX were obtained as a result of the application (Table 5).

**Table 5.** Doses of EA+DOC and EA+MIX combination according to Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>+</sup> reduction (Cuprak) method entered into Compusyn programme, Fa and CI values obtained as a result of application

Dose (µg/mL)	Fa (EA+DOC)	CI (EA+DOC)	Fa (EA+MIX)	CI (EA+MIX)
2.000	0.286	0.521	0.256	1.133
10.000	0.374	0.907	0.414	1.081
18.000	0.422	0.962	0.630	0.290
26.000	0.470	0.832	0.951	0.004
34.000	0.578	0.346	0.999	3.74x10 <sup>-6</sup>

For the results of  $\text{Cu}^{2+}$ - $\text{Cu}^{1+}$  reduction method, the synergistic effect of EA+DOC and EA+MIX combination was evaluated according to the Fa and CI graph drawn in Compusyn programme (Figure S15, S16).

The study aimed to determine the antioxidant activities and radical scavenging capacities of drugs used in chemotherapy treatment (DOC and MIX), a natural substance EA, and their combinations (EA+DOC, EA+MIX) at different concentrations. Afterwards, the doses used in the antioxidant study were entered into the Compusyn programme to examine the synergistic effects of the combinations.

The method used in our study to determine DPPH scavenging activity is an antioxidant method that is simple, rapid, sensitive, and reproducible. In this study, we calculated the  $\text{IC}_{50}$  values for the DPPH free radical scavenging activities of EA (1-11  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), MIX (1-11  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), EA+MIX (2-22  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), and EA+DOC (2-22  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) combinations. The results showed that the DPPH scavenging activities were in the order of EA>MIX>EA+MIX>EA+DOC (Table 1).

The ABTS<sup>+</sup> radical scavenging method is another technique used to determine antioxidative activity. In this study, we calculated the  $\text{IC}_{50}$  values for ABTS<sup>+</sup> scavenging activity of various combinations: EA (1-6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), MIX (1-6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), EA+MIX (1.125-6.750  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), and EA+DOC (1.125-6.750  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). The order of potency was found to be EA>EA+MIX>MIX>EA+DOC when compared with each other.

Since no regular absorbance decrease was observed for DOC in both radical scavenging methods, it could not be graphed and no  $\text{IC}_{50}$  value could be calculated.

One of the two radical reduction methods used in the study is the reduction capacity of ferric ions ( $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$ ) by mild modification of Oyaizu. This method involves measuring  $\text{Fe}[(\text{CN})_6]^{3+}$  through the reduction of  $\text{Fe}[(\text{CN})_6]^{3+}$  to  $\text{Fe}[(\text{CN})_6]^{2+}$ . This leads to the formation of  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , which is a Prussian blue coloured complex (Gülçin, 2012). In our study, EA (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), MIX (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), DOC (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) and EA+DOC (2-34  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), EA+MIX (2-34  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). When the absorbance values of combinations measured at 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentration for  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$  reduction capacity were compared with each other, it was determined that EA>MIX>EA+MIX>EA+MIX>EA+DOC>DOC.

Another reduction method developed by Apak et al. is based on the reduction of Cupric Ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ) to cuprous ions by reducing agents or antioxidants in the presence of Neocuproine. In our study, EA (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), MIX (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), DOC (1-17  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) and EA+DOC (2-34  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), EA+MIX (2-34  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). When the absorbance values measured for  $\text{Cu}^{2+}$ - $\text{Cu}^{1+}$  reduction capacities of combinations for 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentration were compared with each other, it was determined that EA>MIX>EA+MIX>EA+MIX>EA+DOC>DOC.

In literature studies, Kılıç et al. (2014) conducted a study on the ABTS<sup>+</sup> radical scavenging activity of Ellagic acid. The results showed that at a concentration of 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , the activity was 93.9% (Kılıç et al., 2014). Kannan and Quine (2012) conducted a study on the reduction capacity of Ellagic acid for  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$  at concentrations of 10-50  $\mu\text{M}$ . The absorbance values measured were found to be between 0.05-0.25 (Kannan & Quine, 2012).

When we evaluate the findings obtained from antioxidant methods in our study in general, it is seen that EA, EA and chemotherapy drug combinations have antioxidant activity and radical reduction capacity. Docetaxel and Mitoxantrone chemotherapy drugs and their combinations with Ellagic acid could not be compared since there were no studies on the antioxidant activities of these drugs in the literature searches. In the study observed that the combination of Ellagic acid and Docetaxel exhibited significantly higher antioxidant activity than Docetaxel alone in both radical scavenging and reduction methods. The fact that the combinations of Ellagic acid and Mitoxantrone showed similar activity with Mitoxantrone is thought to be due to the high antioxidant activity of Mitoxantrone due to the OH groups in its chemical structure. The role of OH groups in antioxidant activity is known from the studies (Sarıkaya et al., 2010; Gülçin, 2012).

Since the antioxidant activity of the combinations was not a sufficient criterion in the study, the results obtained from the antioxidant study were applied to the Compusyn programme to investigate the synergistic effect of these combinations.

Table 2 and Figure S9 show that in the DPPH<sup>•</sup> scavenging method, CI<1 was found in six doses of the EA+DOC combination, indicating a synergistic effect. The combination's effective concentration dose was 14 µg/mL (CI: 0.582). According to Table 2 and Figure S10, the EA+MIX combination does not have any value below 1 in the Fa-CI graph. Since CI>1, antagonistic effect was observed at all concentrations.

Table 3 and Figure S11 show that in the ABTS<sup>•+</sup> scavenging method, CI<1 was found for 5 doses of the EA+DOC combination, indicating a synergistic effect. The effective concentration dose for the combination was found to be 1.125 µg/mL (CI: 0.712). Table 3 and Figure S12 show that in the ABTS<sup>•+</sup> scavenging method, CI<1 was found in five doses of the EA+MIX combination, indicating a synergistic effect. The effective concentration dose for the combination was found to be 6.750 µg/mL (CI: 0.076). At the same time, the treatment at a dose of 5.625 µg/mL (CI: 0.150) was also found to be effective. It appears that there is a strong synergistic effect at both concentrations.

Table 4 and Figure S13 show that the Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction method resulted in a CI<1 for three doses of the EA+DOC combination, indicating a synergistic effect. The effective concentration dose for the combination was found to be 2,000 µg/mL (CI: 0.671). Table 4 and Figure S14 show that the Fe<sup>3+</sup>-Fe<sup>2+</sup> reduction method resulted in a synergistic effect for 2 doses of the combination of Ellagic acid and Mitoxantrone, with a CI<1. The effective concentration dose for the combination was found to be 34,000 µg/mL (CI: 0.021). A strong synergistic effect was observed for this dose.

According to Table 5 and Figure S15, the Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> reduction (Cuprak) method showed a CI<1 for 5 doses in the EA+DOC combination, indicating a synergistic effect. The effective concentration dose for the combination was found to be 34,000 µg/mL, resulting in a strong synergistic effect (CI: 0.346). According to Table 5 and Figure S16, for Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> reduction (Cuprak) method; CI<1 was found for 3 doses in EA+ MIX combination. The effective concentration dose for the combination was determined to be 34,000 µg/mL, exhibiting a strong synergistic effect (CI: 3.74.10<sup>-6</sup>). At the same time, it is noted that the doses of 18,000 µg/mL (CI: 0.290) and 26,000 µg/mL (CI: 0.004) are also highly effective and exhibit a strong synergistic effect.

Although there are no studies on the combinations used in our study, there are different studies in which combinations of natural substances are formed to determine the synergistic effect. In a study, synergistic antioxidant effects of different phenolic acids and flavonoids were investigated using FRAP method. The study found that the combination of Gallic acid and Caffeic acid demonstrated a significant synergistic effect (137.8%), while the other combinations were less effective (Hajimehdipoor et al. 2014). In a separate study, the researchers investigated the impact of certain antioxidants on the stability of soybean oil. They found that a combination of tetrabutyl hydroquinone and butylated hydroxyanisole (in a 2:1 ratio) had the strongest synergistic effect and antioxidant activity (Guzman et al. 2019). In their study conducted in 2019, Sumaya and Amit determined the activity of combinations of green tea and basil at certain concentrations by various methods such as DPPH and ABTS and investigated their synergistic interactions using compusyn programme. Green tea and basil combinations showed significant antioxidant potential and the strongest synergistic effect ratio was 1:1 (Sumaya & Amit 2019).

When evaluating our study, we applied the concentrations used in the DPPH and ABTS scavenging activity methods to the Compusyn programme. For EA+DOC, a more effective synergistic effect was observed at lower concentrations (7:7 µg/mL) and (0.125+1 µg/mL), respectively. For EA+MIX, no synergistic effect was observed for DPPH scavenging activity, but an antagonistic effect was observed. However, for EA+MIX, a more effective synergistic effect was observed for ABTS scavenging activity at higher concentrations (0.750:6 µg/mL). In the reduction methods, synergistic effect was observed at higher concentrations (17:17 µg/mL) at the doses applied for both EA+DOC and EA+MIX and even strong synergistic effect was observed in many of them.

#### 4. Conclusions

Currently, natural substances have been shown to prevent various diseases, including cancer, neurodegenerative and cardiovascular disorders, as well as ageing. As a result, there has been a growing number of studies conducted on these substances, both individually and in combination with other substances. In particular, studies on anticancer treatments that reduce the damage caused by chemotherapy drugs by

combining them with natural products or eliminating side effects, as well as studies on enzymes used as disease markers, are of particular interest. In our study, the antioxidant activities and synergies of EA+DOC and EA+MIX combinations, which we could not provide information about the combination effect as a result of the literature review, were primarily examined. The results of Compusyn indicate a synergistic effect in all methods and combinations, except for the EA+MIX combination in the DPPH scavenging method. Concentrations with a strong synergistic effect were also identified. The results obtained suggest that it would be useful to observe the effects of these combinations in further studies such as cell studies and enzyme studies.

### Acknowledgement

This article is a part of C. Zehiroğlu's PhD dissertation (No. 777975) supervised by Prof. Dr. Sevim Beyza Öztürk Sarıkaya at Gümüşhane University.

### Author contribution

C. Zehiroğlu carried out experimental studies. C. Zehiroğlu and S. B. Öztürk Sarıkaya worked together on the sections related to literature research, graphic drawings and discussion.

### Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

### Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- Anantharaju, P. G., Gowda, P. C., Vimalambike, M. G. & Madhunapantula, S. V. (2016). An overview on the role of dietary phenolics for the treatment of cancers. *Nutrition Journal*, 15(99), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0217-2>
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Karademir, S. E. & Erça, E. (2006). The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(5-6), 292–304. <https://doi.org/10.1080/09637480600798132>
- Ayvat, İ. (2019). *Ayaktan kemoterapi alan kanser hastalarının karşılanmamış destekleyici bakım gereksinimlerinin yaş bağlamında incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Aziz, A., Sarwar, S., Akter, T., Uddin, S., Xun, S., Zhu, Y., Islam, M. S. & Hongjie, Z. (2021). Polyphenolic molecules targeting STAT3 pathway for the treatment of cancer. *Life Sciences*, 268, 118999. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.118999>
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 26, 1199-1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>
- Buczowski, A., Tokarz, P., Stepniak, A., Lewkowski, J., Rodacka, A. & Palecz, B. (2019). Spectroscopic and calorimetric studies of interactions between Mitoxantrone and cucurbituril Q7 in aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 290, 111190. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111190>
- Chai, H., Wu, J., Liu, J., Liu, T., Ren, Q. & Zheng, X. (2021).  $\delta$ -tocopherol enhances Docetaxel-induced growth inhibition and apoptosis in ovarian cancer SKOV3 cells. *Natural Product Communications*, 16(3), 1–8. <https://dx.doi.org/10.1177/1934578X211002298>
- Chou, T. C. (2006). Theoretical basis, experimental design, and computerized simulation of synergism and antagonism in drug combination studies. *Pharmacological Reviews*, 58(3), 621–681. <https://doi.org/10.1124/pr.58.3.10>
- Chou, T. C. (2010). Drug combination studies and their synergy quantification using the Chou-Talalay method. *Cancer Research*, 70(2), 440–446. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-09-1947>

- Durante, S., Dunet, V., Gorostidi, F., Mitsakis, P., Schaefer, N., Delage, J. & Prior, J. O. (2020). Head and neck tumors angiogenesis imaging with <sup>68</sup>Ga-NODAGA-RGD in comparison to <sup>18</sup>F-FDG PET/CT: A pilot study. *EJNMMI Research*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/0.1186/s13550-020-00638-w>.
- Fox, E. J. (2006). Management of worsening multiple sclerosis with Mitoxantrone: A review. *Clinical Therapeutics*, 28(4), 461-74. <https://dx.doi.org/10.1016/j.clinthera.2006.04.013>
- García-Niño, W. R. & Zazueta, C. (2015). Ellagic acid: Pharmacological activities and molecular mechanisms involved in liver protection. *Pharmacological Research*, 97, 84-103. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2015.04.008>
- Granja, A., Lima-Sousa, R., Alves, C. G., de Melo-Diogo, D., Pinheiro, M., Sousa, C. T., Correia I. J. & Reis, S. (2021). Mitoxantrone-loaded lipid nanoparticles for breast cancer therapy – quality-by-design approach and efficacy assessment in 2D and 3D in vitro cancer models. *International Journal of Pharmaceutics*, 607, 121044. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.121044>
- Guleria, K., Sehgal, A., Bhat, I. A., Singh, S. K., Vamanu, E. & Singh, M.P. (2022). Impact of Altering the Ratio of Black Tea Granules and Ocimum gratissimum Leaves in a Binary Infusion on Radical Scavenging Potential Employing Cell Free Models and Ex Vivo Assays. *Applied Sciences*, 12(20), 10632. <https://doi.org/10.3390/app122010632>
- Guzman, R., Tang, H. & Salley, S.(2009). Synergistic effects of antioxidants on the oxidative stability of soybean oil- and poultry fat-based biodiesel. *Journal of Oil & Fat Industries*, 86, 459- 467. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1373-8>
- Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
- Gündoğdu, B. (2020). *Farklı kurutma yöntemlerinin balkabağı posasından fenolik madde ekstraksiyonuna etkisinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüleri Ortak Yüksek Lisans Programı].
- Hajimehdipoor, H., Shahrestani, R., & Shekarchi, M. (2014). Investigating the synergistic antioxidant effects of some flavonoid and phenolic compounds. *Research Journal of Pharmacognosy*, 1(3), 35-40.
- Hazafa, A., Iqbal, MO, Javaid, U. Tareen, M. B. K., Amna, D., Ramzan, A., Piracha, S. & Naeem, M. (2022). Inhibitory effect of polyphenols (phenolic acids, lignans, and stilbenes) on cancer by regulating signal transduction pathways: A review. *Clinical and Translational Oncology*, 24(3), 432–445. <https://doi.org/10.1007/s12094-021-02709-3>
- Kannan, M. M. & Quine, S. D. (2012). Ellagic acid protects mitochondria from  $\beta$ -adrenergic agonist induced myocardial damage in rats: Evidence from in vivo, in vitro and ultra structural study. *Food Research International*, 45(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.018>
- Kaur, H., Ghosh, S., Kumar, P., Basu, B. & Nagpal, K. (2021). Ellagic acid-loaded, tween 80-coated, chitosan nanoparticles as a promising therapeutic approach against breast cancer: In-vitro and in-vivo study. *Life Sciences*, 284, 119927. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119927>
- Khanduja, K. L., Avti, P. K., Kumar, S., Mittal, N., Sohi, K. K. & Pathak, C. M. (2006). Anti-apoptotic activity of caffeic acid, Ellagic acid and ferulic acid in normal human peripheral blood mononuclear cells: A Bcl-2 independent mechanism. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1760(2), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2005.12.017>
- Kılıç, I., Yesiloğlu, Y. & Bayrak, Y. (2014). Spectroscopic studies on the antioxidant activity of Ellagic acid. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130, 447–452. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.04.052>
- Kumar, N. & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 20(24), 00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Lennan, E. (2011). Chemotherapy as a treatment for breast cancer. V., Harmer (Ed.), *Breast cancer nursing care and management* (ss. 149-172). Blackwell Publishing.
- Lu, L., Zhang, M., Wang, X., Zhang, Y., Chai, Z., Ying, M., Guan J, Gongi W., Zhao, Z., Liu, L., Hu, Y., Lu, W. & Dong J. (2020). Baicalein enhances the antitumor efficacy of Docetaxel on nonsmall cell lung cancer in a  $\beta$ -catenin-dependent manner. *Phytotherapy Research*, 34(1), 104–117. <https://dx.doi.org/10.1002/ptr.6501>

- Martinelli, V., Radaelli, M., Straffi, L., Rodegher, M. & Comi, G. (2009). Mitoxantrone: Benefits and risks in multiple sclerosis patients. *Neurological Sciences*, 30, 167-70. <https://dx.doi.org/10.1007/s10072-009-0142-7>
- Mehta, V., Verma, P., Sharma, N., Sharma, A., Thakur, A. & Malairaman, U. (2017). Quercetin, ascorbic acid, caffeine and Ellagic acid are more efficient than rosiglitazone, metformin and glimepiride in interfering with pathways leading to the development of neurological complications associated with diabetes: A comparative in-vitro study. *Bulletin of Faculty of Pharmacy*, 55(1), 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.bfopcu.2016.12.002>
- Oyaizu, M. (1986). Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307-315. <http://dx.doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>
- Özyürek, M., Bektaşoğlu, B., Güçlü, K. & Apak, R. (2009). Measurement of xanthine oxidase inhibition activity of phenolics and flavonoids with a modified cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC) method. *Analytica Chimica Acta*, 636(1), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.01.037>
- Papadakis, M. A., McPhee, S. J. & Rabow M. W. (2016). *Current medical diagnosis and treatment 2016* (55). McGraw-Hill Education / Medical.
- Razak, S. A., Mohd Gazzali, A., Fisol, F. A., M. Abdulbaqi, I., Parumasivam, T., Mohtar, N., & A. Wahab, H. (2021). Advances in Nanocarriers for Effective Delivery of Docetaxel in the Treatment of Lung Cancer: An Overview. *Cancers*, 13(3), 400. <https://doi.org/10.3390/cancers13030400>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Sarıkaya, S. B., Gülçin, İ. & Supuran, C.T. (2010). Carbonic anhydrase inhibitors: Inhibition of human erythrocyte isozymes I and II with a series of phenolic acids. *Chemical Biology & Drug Design*, 75(5), 515-520. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2010.00965.x>
- Sumaya, F. & Amit, S. (2019). Synergistic antioxidant interactions between green tea and Ocimum gratissimum. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 9, 333-338. <https://doi.org/10.4103/2221-1691.262081>
- Şimşek, H. (2022). *Meme kanserli kadınlarda kemoterapi sırasında stres topu uygulamasının stres, anksiyete ve konfor üzerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Xue, P., Zhang, G., Zhang, J. & Ren, L. (2022). Synergism of Ellagic acid in combination with radiotherapy and chemotherapy for cancer treatment. *Phytomedicine*, 99, 153998. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.153998>
- Yan, M., Fan, X., Si, H., Wang, X., Wang, Z., Wang, Z., Lv, X., Yin, H., Jia, Y., Jiang, L., Xia, Y. & Liu, Y. (2022). Association between gene polymorphism and adverse effects in cancer patients receiving Docetaxel treatment: a meta-analysis. *Cancer Chemother Pharmacol*, 89, 173–181. <https://doi.org/10.1007/s00280-021-04374-3>

SUPPLEMENTARY MATERIAL

Figures

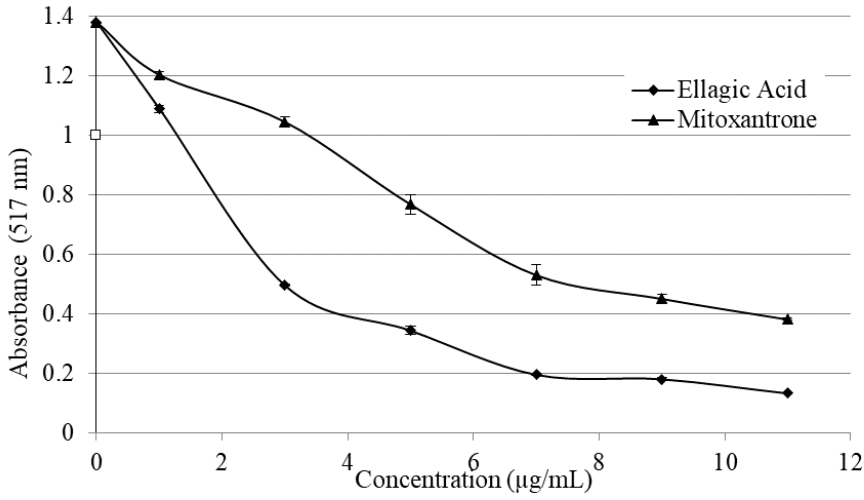


Figure S1. Graph of DPPH· scavenging activity of EA and MIX substances (1-11 µg/mL)

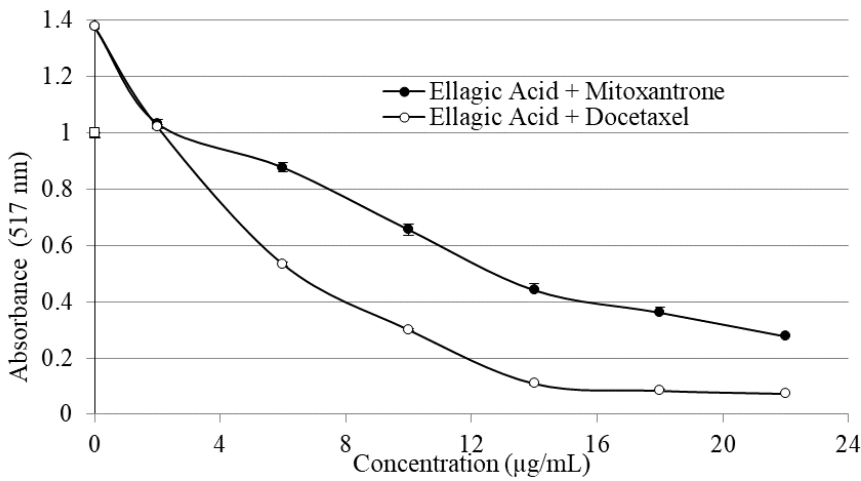


Figure S2. DPPH· scavenging activity graph of combinations (EA+MIX and EA+DOC) (2-22 µg/mL)

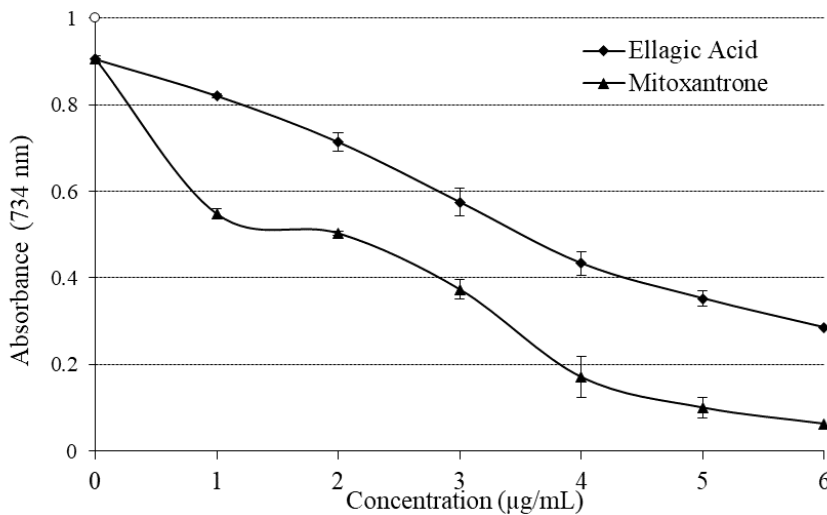
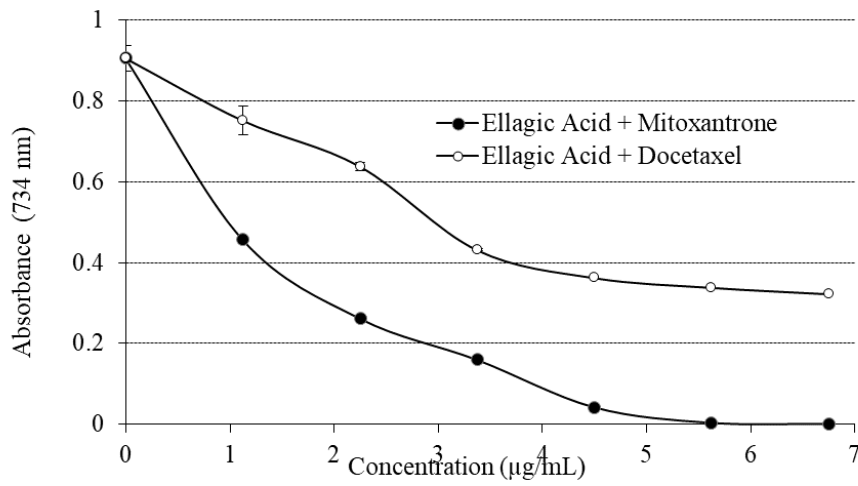
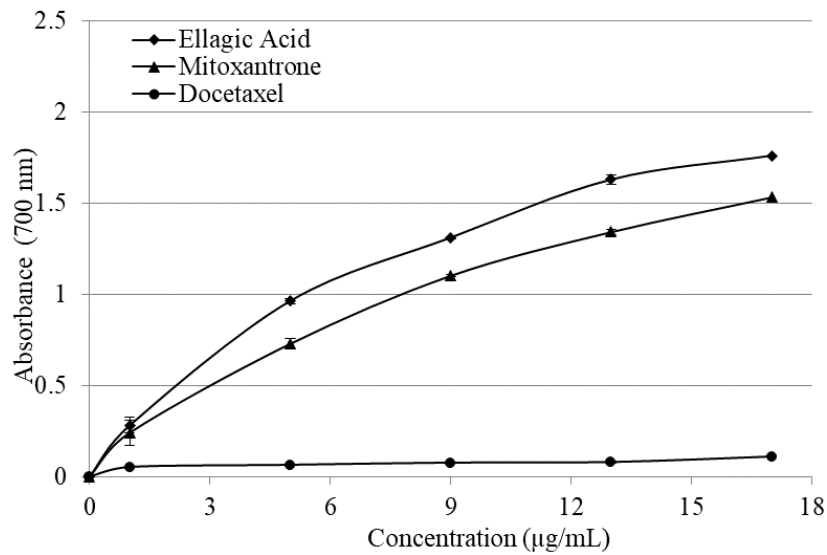


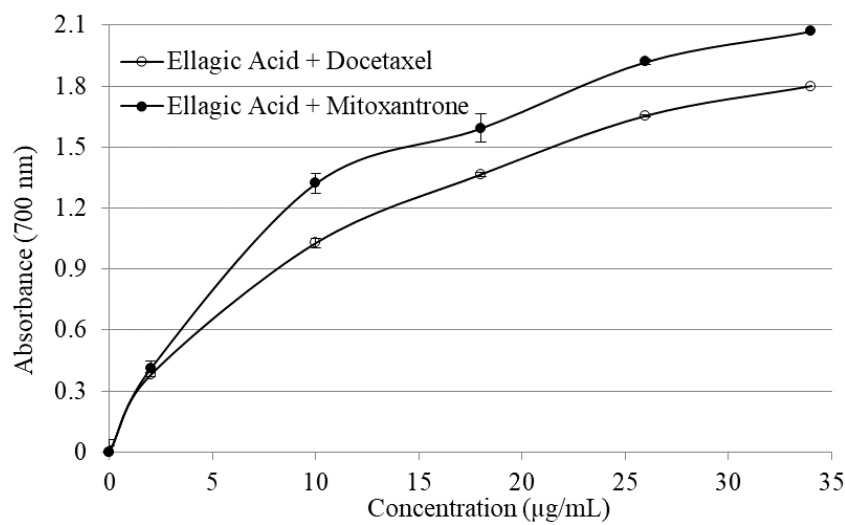
Figure S3. ABTS<sup>+</sup> scavenging activity graph of EA and MIX substances (1-6 µg/mL)



**Figure S4.** ABTS<sup>+</sup> scavenging activity graph of combinations (EA+MIX and EA+DOC) (1.125-6.750 µg/mL)

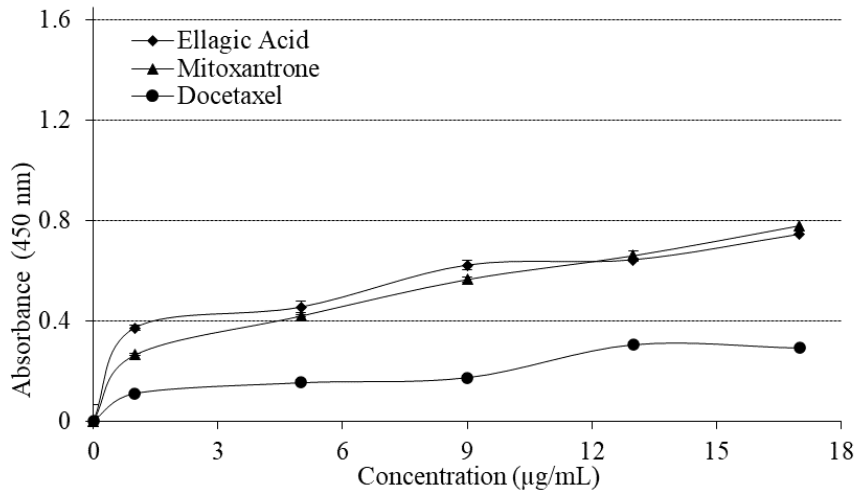


**Figure S5.** Fe<sup>3+</sup> - Fe<sup>2+</sup> reduction capacity graph of EA, MIX and DOC (1-17 µg/mL)

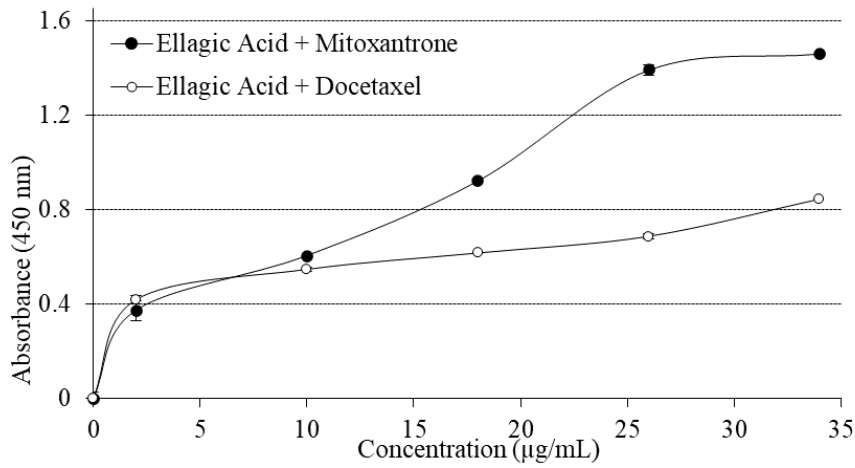


**Figure S6.** Fe<sup>3+</sup> - Fe<sup>2+</sup> reduction capacity graph of combinations (EA+DOC and EA+MIX) (2-34 µg/mL)

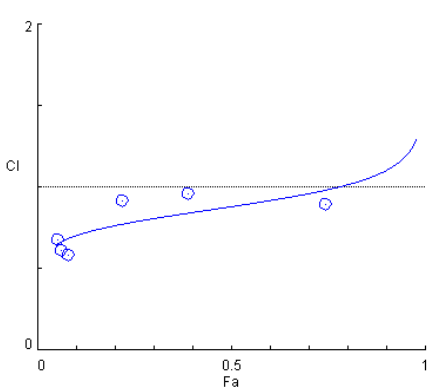




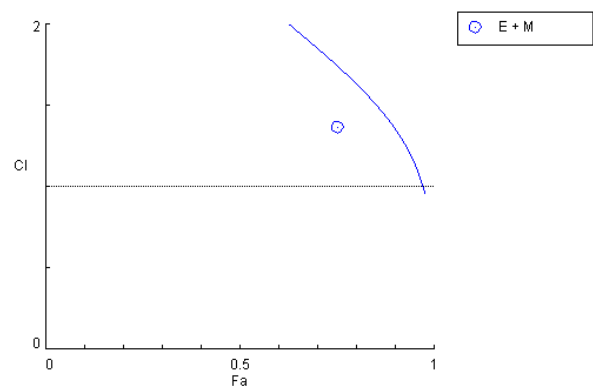
**Figure S7.** Graph of  $\text{Cu}^{2+}$   $\text{Cu}^{1+}$  reduction capacity of EA, MIX and DOC (1-17  $\mu\text{g/mL}$ )



**Figure S8.**  $\text{Cu}^{2+}$ - $\text{Cu}^{1+}$  reduction capacity graph of combinations (EA+DOC and EA+MIX) (2-34  $\mu\text{g/mL}$ )



**Figure S9.** FA-CI graph drawn for EA+ DOC



**Figure S10.** FA-CI graph drawn for EA+ MIX

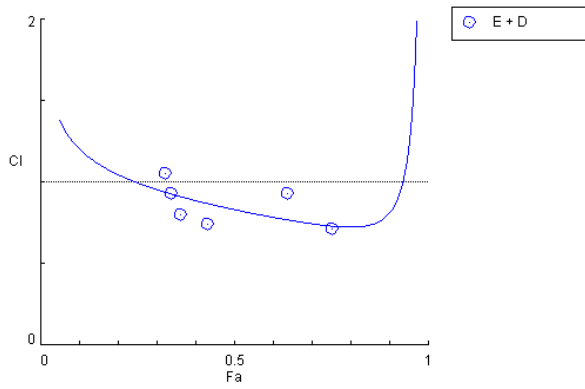


Figure S11. FA-CI graph drawn for EA+ DOC

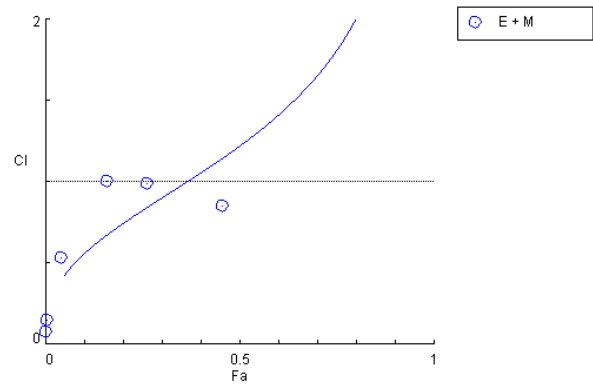


Figure S12. FA-CI graph drawn for EA+ MIX

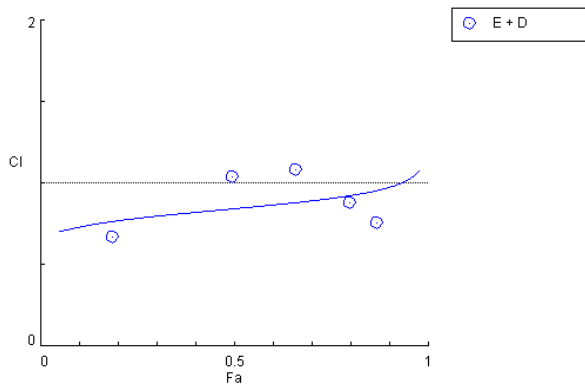


Figure S13. FA-CI graph drawn for EA+ DOC

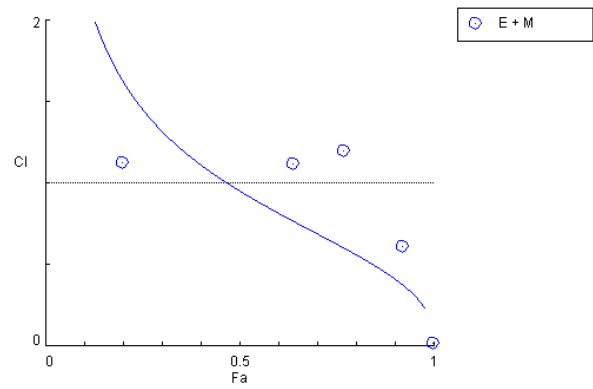


Figure S14. FA-CI graph drawn for EA+ MIX

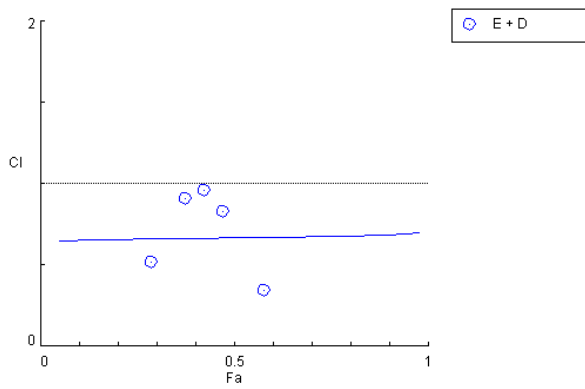


Figure S15. FA-CI graph drawn for EA+ DOC

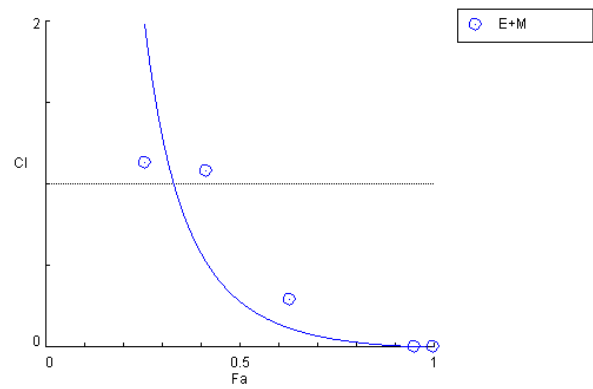


Figure S16. FA-CI graph drawn for EA+ MIX

**Tables****Table S1.** Dose and absorbance values of EA, DOC and MIX according to DPPH<sup>•</sup> removal method and entered into Compusyn programme

EA Dose (µg/mL)	EA Absorbance	DOC Dose (µg/mL)	DOC Absorbance	MIX Dose (µg/mL)	MIX Absorbance
1.000	0.791	1.000	0.999	1.000	0.873
3.000	0.359	3.000	0.993	3.000	0.759
5.000	0.249	5.000	0.987	5.000	0.558
7.000	0.142	7.000	0.995	7.000	0.385
9.000	0.131	9.000	0.995	9.000	0.327
11.000	0.096	11.000	0.992	11.000	0.272

**Table S2.** Dose and absorbance values of EA, DOC and MIX according to ABTS<sup>•+</sup> removal method and entered into Compusyn programme

EA Dose (µg/mL)	EA Absorbance	DOC Dose (µg/mL)	DOC Absorbance	MIX Dose (µg/mL)	MIX Absorbance
0.125	0.821	1.000	0.903	1.000	0.548
0.250	0.714	2.000	0.900	2.000	0.504
0.375	0.575	3.000	0.890	3.000	0.374
0.500	0.434	4.000	0.872	4.000	0.171
0.625	0.353	5.000	0.823	5.000	0.101
0.750	0.285	6.000	0.816	6.000	0.063

**Table S3.** Dose and absorbance values of EA, DOC and MIX according to Fe<sup>3+</sup>- Fe<sup>2+</sup> reduction method and entered into Compusyn programme

EA Dose (µg/mL)	EA Absorbance	DOC Dose (µg/mL)	DOC Absorbance	MIX Dose (µg/mL)	MIX Absorbance
1.000	0.136	1.000	0.025	1.000	0.116
5.000	0.465	5.000	0.031	5.000	0.352
9.000	0.632	9.000	0.037	9.000	0.532
13.000	0.786	13.000	0.038	13.000	0.648
17.000	0.850	17.000	0.053	17.000	0.837

**Table S4.** Dose and absorbance values of EA, DOC and MIX according to Cu<sup>2+</sup>-Cu<sup>1+</sup> reduction (Cuprak) method entered into Compusyn programme

EA Dose (µg/mL)	EA Absorbance	DOC Dose (µg/mL)	DOC Absorbance	MIX Dose (µg/mL)	MIX Absorbance
1.000	0.254	1.000	0.076	1.000	0.181
5.000	0.311	5.000	0.105	5.000	0.288
9.000	0.425	9.000	0.120	9.000	0.387
13.000	0.440	13.000	0.209	13.000	0.452
17.000	0.509	17.000	0.200	17.000	0.534

## İskenderun örneğinde mevsimsel ölçümlere göre trafikten kaynaklanan gürültünün mekânsal analizi

*Spatial analysis of noise caused by traffic according to seasonal measurements in the Iskenderun example*

Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN\*<sup>1</sup>, Asuman AYSU KAPAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 31200, Hatay

<sup>2</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 31200, Hatay

• Geliş tarihi / Received: 27.11.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.05.2024

### Öz

Günümüz yaşam koşullarında artan kent içi trafik yoğunluğu gürültü kirliliğinin oluşmasına neden olmaktadır. Gürültü, insan başta olmak üzere tüm ekosistem için ciddi bir kirlilik kaynağıdır. Bu çalışma kapsamında İskenderun ilçe merkezinde trafikten kaynaklanan gürültü düzeyinin tespiti ve alan kullanımları üzerindeki dağılımları tespit edilmiştir. Bu amaçla İskenderun ilçe merkezinde kent içi yol güzergâhlarında bulunan 36 noktada 2022 yılı yaz ve kış aylarında hafta içi ve hafta sonu olmak üzere gürültü ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ArcMap 10.0 programına aktarılarak kriging enterpolasyon yöntemiyle gürültü kirliliği dağılım haritaları oluşturulmuş ve Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre sınıflandırılan gürültü değerlerine göre kirlilik düzeylerinin yerleşim alanları, endüstriyel ve ticari alanlar, tarım alanları, park ve yeşil alanlar, İskenderun Teknik Üniversitesi merkez kampüsü, liman, yollar ve su yüzeyi olmak üzere toplam sekiz kullanım alanına dağılımı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda gürültü kirliliğinin alansal olarak en fazla olduğu dönem yaz hafta içi gündüz, en az olduğu dönem ise yaz hafta sonu akşam saatleridir.

**Anahtar kelimeler:** Gürültü kirliliği, İskenderun, Kriging

### Abstract

Increasing urban traffic density in today's living conditions causes noise pollution. Noise is a serious source of pollution for the entire ecosystem, especially for humans. Within the scope of this study, the noise level caused by traffic in Iskenderun district center was determined and its distribution over area uses was determined. For this purpose, noise measurements were made at 36 points on urban road routes in Iskenderun district center on weekdays and weekends in the summer and winter months of 2022. The measurement results were transferred to the ArcMap 10.0 program and noise pollution distribution maps were created with the kriging interpolation method. According to the noise values classified according to the Regulation on the Evaluation and Management of Environmental Noise, the pollution levels were determined in residential areas, industrial and commercial areas, agricultural areas, parks and green areas, Iskenderun Technical University center. It was calculated to distribute it to a total of eight usage areas: campus, port, roads and water surface. As a result of the study, the period when noise pollution is highest is summer weekdays and the least is summer weekend evening hours.

**Keywords:** Noise pollution, Iskenderun, Kriging

\*Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN; sinem.okten@iste.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Günümüz kentlerinin sürekli gelişim ve değişim içinde olması, sürdürülebilir kalkınmanın önündeki en büyük engellerden biri olan gürültü kirliliğini ortaya çıkarmaktadır (Zuo vd., 2016). Bu süreçte kentlerin gelişmesinde, sosyo-ekonomik gelişmelerin insan davranışlarındaki etkileri ve Sanayi devrimi sonrası gelişen göç dalgaları da etkili olmuştur (Yılmaz & Çitçi, 2011).

Gürültü, hoş bir müzik kalitesine sahip olmayan bir ses veya istenmeyen bir ses olarak tanımlanabilir (Tripathy, 2008). Gürültü kirliliği ise insanın fiziksel/zihinsel faaliyetlerine, hayvan ve bitki yaşamı ile genel olarak çevreye zarar verebilecek rahatsız edici gürültü olarak tanımlanmaktadır (Deepak, 2016; Öden & Bilgin, 2019). Karayolu trafik gürültüsü ise bir aracın motor sisteminden kaynaklanan gürültü ile aracın lastikleri ile yol yüzeyi arasındaki etkileşimden kaynaklanan gürültünün birleşimidir (Murphy & King, 2022).

Gürültü kirliliği dünya çapında birçok insanın karşılaştığı önemli bir çevre sorunudur (Ranjan vd., 2023). Kentsel alanlarda trafikten kaynaklanan gürültü kirliliği toplam gürültü kirliliğinin üçte ikisini oluşturmaktadır (Tandel & Macwan, 2017; Ranjan vd., 2023). Trafik gürültüsü, insan sağlığı üzerinde zararlı fizyolojik ve psikolojik etkilere sahiptir ve aşırı durumlarda işitme bozukluğuna yol açabilmektedir (Singh & Deswal, 2023). Avrupa Çevre Ajansı, Avrupa'da her yıl yaklaşık 20 milyon yetişkinin çevresel gürültüden şikâyetçi olduğu ve 8 milyondan fazla insanın çevresel gürültü kaynaklı uyku bozukluğu yaşadığını belirtmekte, gürültü kirliliğini Avrupa'daki önemli bir çevre sağlığı sorunu olarak ifade etmektedir. Çevresel gürültü, Avrupa'da her yıl en az 1000 erken ölüm vakasına neden olmakta ve her yıl 900.000'den fazla hipertansiyon vakası çevresel gürültü kaynaklı ortaya çıkmaktadır (European Environment Agency, 2014; Zuo vd., 2016).

Kentsel trafik hacminin hızla artması ve kontrolsüz araç kullanımı sonucu gürültünün düzenli olarak araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Ranjan vd., 2023; Sahlatasneem & Deswal, 2023). Gürültü ve sesin net sınırlara sahip olmamasından dolayı kontrol altına alınması, planlanıp yönetilmesi oldukça zordur (Atkinson, 2007; Lumsden, 2013). Gürültü haritalaması, gürültü kirliliğini görselleştirmenin ve ona erişmenin etkili bir yöntemidir (Zuo vd., 2016). Bu nedenle araçlar ve yazılımlardan yardım alınmaktadır. Birçok araştırmacı kentsel alanlardaki gürültü seviyesinin tahmin edilmesi ve çevresel etki değerlendirmesini yapabilmek için Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) kullanmaktadır (Moragues & Alcaide, 1996; Sheng & Tang, 2011). CBS yazılımlardan ArcGIS de analiz ve modellemede önemli bir araçtır.

Bu çalışmada da İskenderun ilçe merkezinde gürültü kirliliğinin analiz edilmesi ve haritalanması amacıyla ArcMap yazılımı kullanılmış, trafikten kaynaklanan gürültü kirliliğinin mekânsal alan kullanımları üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

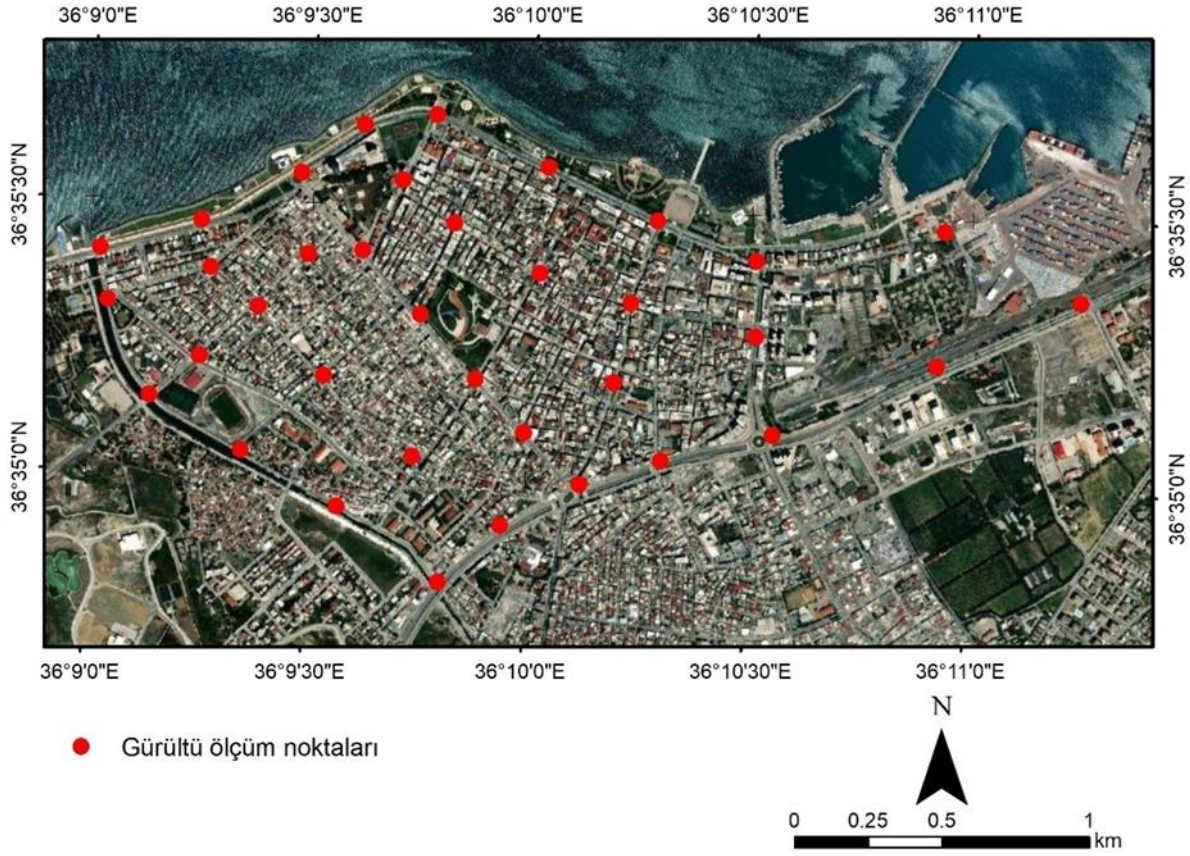
Araştırma alanını Hatay ili İskenderun ilçesinin sanayi, liman, demiryolu ve konut alanlarının yoğun olduğu İskenderun D817 karayolu ve devamında İskenderun-Arsuz çevreyolundan sahil şeridine kadar olan kent içi yol güzergâhlarında kalan bölge oluşturmaktadır. Bu bölgede Şekil 1'de görülen 36 noktada gürültü ölçümü yapılmıştır.

Araştırma alanında ölçüm noktalarının belirlenmesi için Google Earth Pro programı kullanılmıştır. Belirlenen gürültü ölçüm noktalarında Delta OHM HD2010UC ses ölçüm cihazı kullanılmış ve ölçümlere ait haritaların oluşturulması için ArcMap 10.0 programından yararlanılmıştır. Araştırma alanında bulunan alan kullanım verileri ise Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Corine projesi kapsamında üretilen 1/100.000 ölçekli haritalardan üretilmiştir.

### 2.1.1. Gürültünün ölçülmesi

#### 2.1.1. Measurement of noise

İskenderun'un gürültü düzeyini belirlemek amacıyla İskenderun D817 karayolu ve devamında İskenderun-Arsuz çevreyolundan sahil şeridine kadar olan kent içi yol güzergâhlarında bulunan 36 nokta belirlenmiştir. Ölçüm noktaları belirlenirken, trafik yoğunluğunun an fazla olduğu ana trafik aksı temel alınmıştır.



**Şekil 1.** Araştırma alanı  
**Figure 1.** Research area

Bu ölçüm noktalarında yaz ve kış aylarında hafta içi 5 gün, hafta sonu ise 2 gün olmak üzere toplam 7 gün boyunca Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği Ek-2 Tablo 1’de belirlenen üç aralıktaki saatlerde ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerin gündüz 07:00–19:00, akşam 19:00–23:00 ve gece ise 23:00–07:00 saat aralıklarında gerçekleşmesi gerekmektedir. Fakat ölçüm aralıkları çok geniş olduğu için araştırma kapsamında gündüz ölçümleri 07:00-10:30, akşam ölçümleri 19:00-22:30 ve gece ölçümleri 23:00-02:30 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada Delta OHM HD2010UC ses ölçüm cihazı kullanılmıştır. Gürültü haritalarının oluşturulmasında kullanılan ölçümler için tüm noktadaki ölçümlerin logaritmik ortalaması aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$L = \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{Li}{10}}$$

$L$ = Gürültü seviyeleri

$n$ = gürültü ölçüm sayısı

$i$ = örnek nokta ( $i=1,2,3,4,\dots,n$ )

$Li$ =  $i$  örnek noktasının gürültü seviyesi

Ölçüm noktaları Google Earth Pro programı yardımıyla belirlenmiş alanlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler ISO 1996-1 (2003) ve ISO 1996-2 (2007) standartlarına göre yapılmıştır. Ölçümler yerden 1.5 m yükseklikte ve her bir ölçüm noktasında 5’er dakikalık sürelerde yapılmıştır. Cihazda ölçülen maksimum gürültü seviyeleri ( $L_{max}$ ), minimum gürültü seviyeleri ( $L_{min}$ ) ve eşdeğer gürültü seviyeleri ( $L_{eq}$ ) olmak üzere ayrı ayrı eşzamanlı olarak CBS altlığına işlenmiştir. Gürültü ölçümlerinin öncesinde cihazın kalibrasyonu yapılmış ve ölçüm süresince sabit tutularak trafik harici gürültüler olması halinde ölçüm tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçları 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi gazetede yayınlanan Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-7 Tablo-1’de verilen Kara Yolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri’ne göre değerlendirilmiştir.

## 2.2. Gürültü dağılımının analizi

### 2.2. Analysis of noise distribution

İskenderun ilçe merkezinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda toplanan veriler tablolaştırılmış ve Google Earth Pro ve ArcMap 10.0 yardımıyla ölçüm sonuçları sayısal altlığa işlenmiştir. Ölçüm sonuçlarının ArcMap 10.0 programına işlenmesi sonucunda gürültü kirliliğinin alan kullanımları üzerindeki etkisini görselleştirmek amacıyla kriging yöntemi kullanılmış ve gürültü dağılım haritaları oluşturulmuştur. Kriging, CBS’de özellikle yüzeylerin enterpolasyonu için kullanılan gelişmiş bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntem, özellikle noktasal ölçümleri veya verileri kullanarak belirli bir alanın yüzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Chen vd., 2013; Guo vd., 2019; Lv & Shichang, 2021). Bu tahminleri de ölçümleri bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak, ilgilenilen konuma yakın noktalara uzaktaki noktalara göre daha fazla ağırlık verilecek şekilde hesaplamaktadır (İnal vd., 2022; Yaprak & Arslan, 2008; Taylan & Damçayırı, 2016). Yöntemde tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabiliyor olması, yapılan tahminin güven derecesini artırdığı için diğer yöntemlerden öne çıkmaktadır (Başkan, 2004). Kriging yönteminde kullanılan temel eşitlik;

$$Np = \sum_{i=1}^n PixNi \quad (1)$$

Np= aranılan ondülasyon değeri

n= modeli oluşturan nokta sayısı

Ni= Np’nin hesabında kullanılan noktaların geoit ondülasyon değerleri

Pi= N’nin hesabında kullanılan her Ni değerine karşılık gelen ağırlık değeridir.

i=1’den n’ye kadar gözlem noktalarındaki N ondülasyon değeri bilinmektedir (i) için ağırlıklı katsayıya dayalı olarak bilinen değerleri (Ni) bölgeselleştirilmiş bir değişkenin (Np) bilinmeyen değerini tahmin eder. Ancak bu değerlere verilecek olan ağırlıkların hesaplanması gerekmekte olup Kriging’de bu ağırlıklar, kestirim hataları ortalaması sıfır ve varyans minimum olacak şekilde belirlenir. Yansızlık için ümit değeri E [Np-Ni] = 0 olmalıdır. Bunu sağlayabilmek için  $\sum Pi=0$  olmalıdır. Minimum varyans için ise; Var [NpNi] = minimum olmalıdır.

Enterpolasyonun yansız olması için ağırlık toplamlarının 1’e eşit olması istenir. n bilinmeyen ve (n+1) tane denklem vardır ve çözümün yansız olması için  $\lambda$  Lagrange çarpanı eklenir. Böylece denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşitlenir (İnal & Yiğit, 2003; Yaprak & Arslan, 2008).

Ağırlıklar variogram fonksiyonlarından yararlanılarak;

$$P = \gamma^{-1} X \gamma_0 \quad (2)$$

eşitliği ile sağlanır.

P =Ağırlık matrisi,

= Dayanak noktaları arasındaki yarı variogram matrisi

= Dayanak noktaları ile kestirim noktaları arasındaki yarı variogram matrisi

Ağırlıkların belirlenmesinden sonra her bir nokta için kestirim değerleri hesaplanır. Enterpolasyon noktasının Kriging varyansı,

$$\sigma^2 = P^T X \gamma_0 \quad (3)$$

eşitliği ile bulunur.

= Kriging varyansı

= Ağırlık matrisinin transpozu

Araştırma alanından alınan 36 gürültü ölçüm değerinden yola çıkarak, ArcMap 10.0 programında kriging enterpolasyon yönteminin kullanılmasıyla hazırlanan haritalar yerleşim alanları, endüstriyel ve ticari alanlar, tarım alanları, park ve yeşil alanlar, eğitim alanları, liman, yollar ve deniz kullanımları üzerindeki gürültü dağılımının hesaplanması için kullanılmıştır.

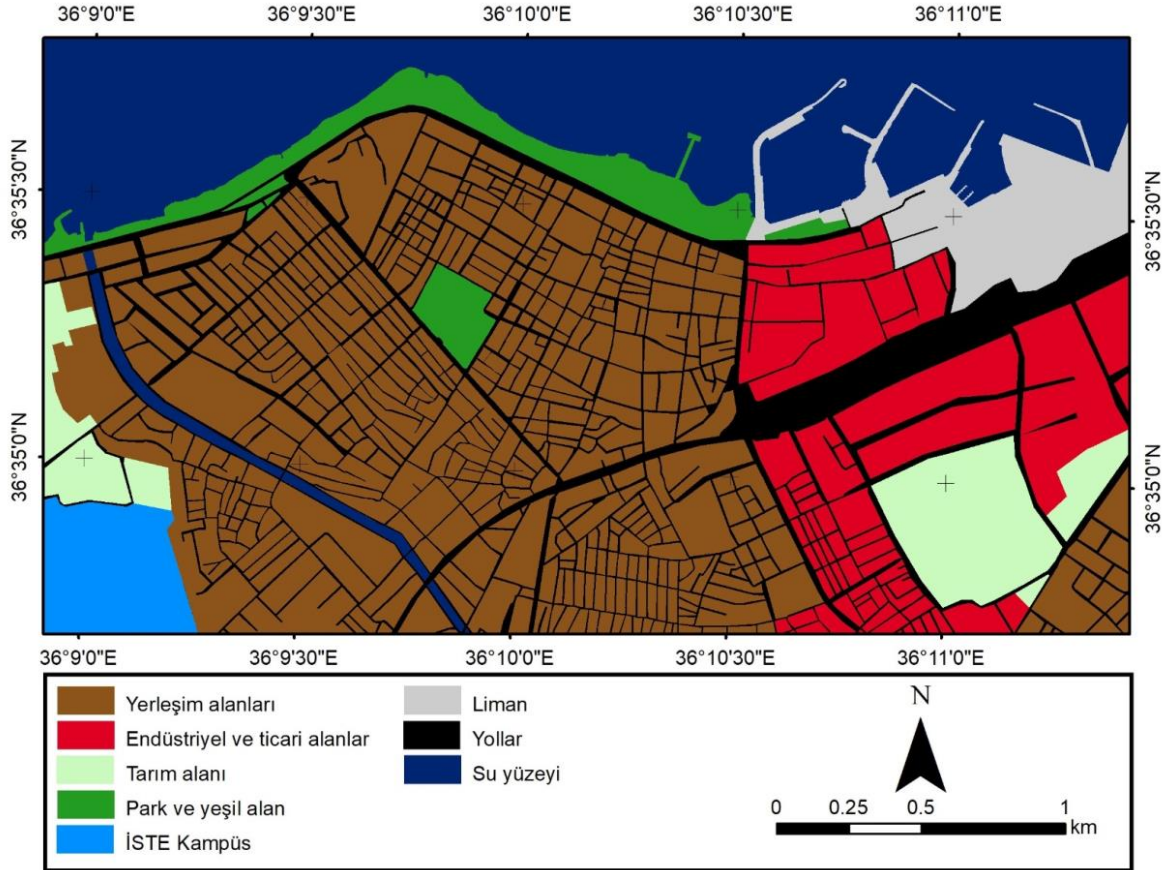
### 3. Bulgular

#### 3. Findings

#### 3.1. Araştırma alanı arazi kullanım sınıflamaları

##### 3.1. Research area land use classifications

Araştırma alanında bulunan alan kullanım verileri Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Corine projesi kapsamında üretilen 1/100.000 ölçekli haritalardan üretilmiştir. Arazi kullanımları yerleşim alanları, endüstriyel ve ticari alanlar, tarım alanları, park ve yeşil alanlar, eğitim alanları (İskenderun Teknik Üniversitesi (İSTE) merkez kampüsü), liman, yollar ve deniz olmak üzere toplam 8 ana başlık altında toplanmıştır. 8 başlık altında sınıflandırılan alan kullanımları haritası Şekil 2'de, çalışma alanında kapladıkları toplam alanlar ve oransal dağılımları ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Araştırma alanındaki temel kullanımlar

Figure 2. Main uses in research area

Tablo 1. Araştırma alanındaki arazi örtüsünün kapladıkları alanlar ve oransal dağılımları

Table 1. Areas covered and proportional distribution of land cover in the research area

Alan Kullanımları	Alan (ha)	Alan (%)
Konut alanları	285.84	36.79
Endüstriyel ve ticari alanlar	84.57	10.88
Tarım alanları	41.77	5.38
Park ve yeşil alanlar	30.98	3.99
Eğitim alanı (İSTE Kampüsü)	21.38	2.75
Liman	35.15	4.52
Yollar	112.84	14.52
Deniz	164.46	21.17
<b>Toplam</b>	<b>776.99</b>	<b>100.00</b>



Araştırma alanı toplam 776.99 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Şekil 2’de verilen araştırma alanındaki temel kullanımların toplam alan içindeki dağılımları incelendiğinde, alanın 1/3’ünü konut alanlarının oluşturduğu görülmektedir. Konut alanları genel olarak 5-6 katlı, çoğu konut altı ticaret olarak faaliyet gösteren alanlardır. Araştırma alanının doğu bölümünde bulunan ve toplam alanının %10.88’ini oluşturan endüstriyel ve ticari alanlar içerisinde de daha çok ticari faaliyet gösteren işletmelerle depo sahaları yer almaktadır. Tarım alanları %5.38’lik oranda, daha çok sulu tarım yapılan ve yeşil yapraklı bitkilerin yetiştirildiği alanlar olmakla birlikte araştırma alanının batı ve güneybatısında bulunmaktadır. İskenderun sahil kesiminde bulunan rekreasyon alanları, çim alanlar, spor tesisleri ile araştırma alanının merkezinde yer alan İskenderun Millet Bahçesi de park ve yeşil alan kategorisinde incelenmiştir ve toplam alanın %3.99’unu kapsamaktadır. Araştırma alanı içerisinde en büyük eğitim kurumu olan İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsü de eğitim alanı olarak ayrı bir kategoriye alınmış ve kampüsün araştırma alanı sınırı içerisine giren bölümü toplam alanın %2.75’ini oluşturmuştur. Liman, İskenderun ilçesi ve hatta Hatay ili için çok önemli bir yere sahiptir. Liman, Güney ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerine ve Ortadoğu ülkelerine aktarma limanı olarak kullanılmaktadır (İskenderun Kaymakamlığı, 2023). Araştırma alanının %21.17’lik bölümü ise deniz yüzeyinden oluşmaktadır. Gürültü kirliliği deniz canlıları için de olumsuz etkilere neden olabileceği için araştırma alanı sınırları içine giren deniz yüzeyi hesaplamalara dâhil edilmiştir. Yollar kategorisi ise taşıt yolları ve tren istasyonundan oluşan toplam %14.52’lik bir alanı kapsamaktadır.

### 3.2. Gürültü haritaları

#### 3.2. Noise maps

Araştırma alanında yaz ve kış aylarında alınan hafta içi ve hafta sonu ölçüm sonuçları Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-7 Tablo-1’de verilen Kara Yolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri’ne göre sınıflandırılarak dağılım gürültü haritaları oluşturulmuştur. Araştırmada belirlenen 36 noktada alınan ölçüm sonuçlarının CBS ortamına alınması ve ArcMap 10.0 programında kriging yöntemi ile gürültünün dağılımının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Tablo 1’e göre mevcut yollarda “Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar” Lgündüz 68 dB(A), Lakşam 63 dB(A) ve Lgece 58 dB(A) sınır değerlerini aşmamalıdır. Bu nedenle ölçüm sonuçları kategorize edilirken sınır değerleri ve alanda alınan maksimum gürültü ölçüm değerleri arasında kalan alanlar kırmızı renkte, sınır değerinin hemen altında bulunan alanlar turuncu renkle başlayarak 5 dB(A) farkla sarı, açık yeşil ve koyu yeşil olmak üzere gürültünün fazla olduğu alandan az olduğu alana kadar sınıflandırılarak haritada verilmiştir. Oluşturulan haritalar verilen sınır değerlerinin farklı olması nedeniyle gündüz, akşam ve gece olmak üzere ayrı ayrı oluşturulmuştur.

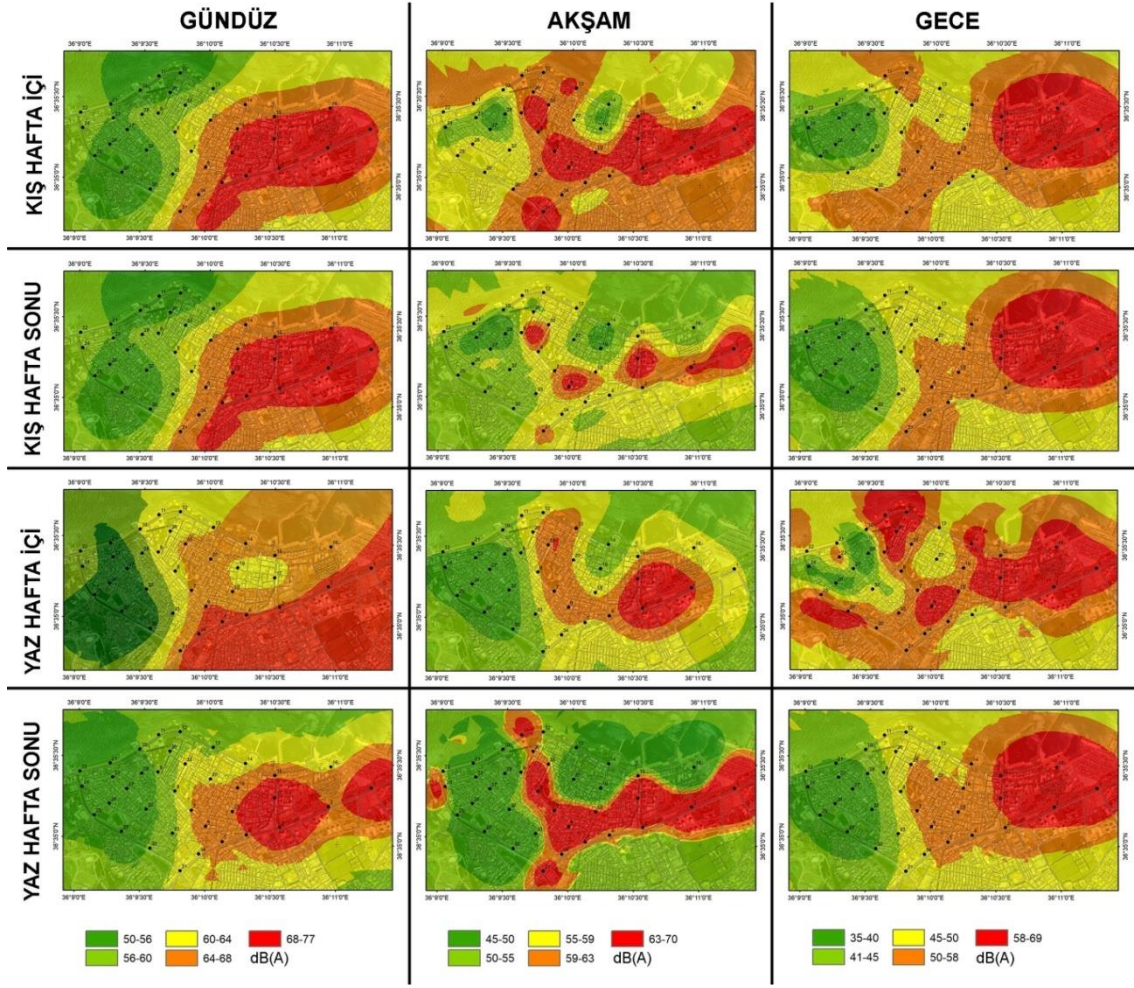
Çalışmanın detaylı bir şekilde ele alınması amacıyla İskenderun’un deniz kıyısında bir yerleşim olması ve mevsimsel nüfus hareketliliklerinin fazla olması nedeniyle ölçümler yaz ve kış mevsimlerinde ayrı ayrı ele alınmış ve ek olarak haftaiçi ve haftasonu her yerleşim yerinde olduğu gibi taşıt trafiği farklılaştığı için ayrı ele alınarak toplamda 12 harita hazırlanmıştır. Gürültünün araştırma alanı üzerindeki dağılımı ise Şekil 3’te verilmiştir.

### 4. Tartışma

#### 4. Discussion

İskenderun ilçe merkezinde bulunan araştırma alanı, oluşturulan gürültü haritaları ve araştırma alanında bulunan alan kullanım dağılımları açısından bulgular bölümünde incelenmiştir. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-7 Tablo-1’de verilen Kara Yolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri’ne göre belirlenen sınır değerleri ve sınır değerlerinin altındaki ölçüm değerleri kategorize edilerek araştırma bulguları bölümünde verilmiştir.

Çalışmada Şekil 3’te verilen kış aylarında gündüz ve gece ölçümlerindeki gürültü dağılımlarının özellikle sınır değerini aşan yerlerde hemen hemen aynı alanlarda etkili olduğu görülmüştür. Akşam ölçümlerinde ise ciddi bir farklılık bulunmakta, hafta içi ölçümlerinde sınır aşan alanlar geniş bir alana yayılmaktadır. Hem ölçüm saat aralıkları hem de alanda ölçüm saatlerinde yapılan gözlemler sonucu bu farkın ölçüm saatlerinin iş ve okul çıkış saatlerine denk gelmesinden kaynaklandığı görülmüştür. Yaz aylarında ise öngörüldüğü gibi kış aylarından oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yaz aylarında gündüz kıyı şeridinin sakin olduğu, hafta sonu günlerinde ise ulaşım aksında gürültü tespit edilmiştir.



Şekil 3. Gürültü ölçümlerinin haritalanması  
Figure 3. Mapping of noise measurements

Bu durum İskenderun iklimsel özelliklerinden de kaynaklanan gündüz yüksek sıcaklıklara maruz kalan İskenderun kıyı şeridi ve merkezinde araç trafiğinin azalması olarak yorumlanabilir. Yaz akşam saatlerinde ise yine hafta içi saatleri daha sakin olmakla birlikte, hafta sonu akşam saatlerinin ise özellikle ulaşım aksında seri şekilde yoğunlaşan gürültü kirliliği olduğunu görmek mümkündür. Bu kullanım yoğunluğu ve gürültü artışı yaz aylarında ilçeye gelen yerli ve yabancı turistlerin artmasından ve gündüz yüksek sıcaklıklara maruz kalan bölgede rekreasyon faaliyetlerinin akşam saatlerine kaymasından kaynaklanmaktadır. Yaz dönemi gece ölçümlerinde ise hafta sonunda kış aylarına benzer bir sonuçla karşılaşılmış sadece belirli bir bölgede kirlilik tespit edilmiştir. Fakat yaz dönemi gece ölçümleri diğer gece ölçümlerinden oldukça farklıdır. Bu durumun nedeni yaz döneminde İskenderun ilçesinin Arsu ve Belen gibi deniz ve yayla turizmüne uygun ilçelere çok yakın olması ve insanların hafta sonlarını ilçe dışında geçirmeye yatkın olmaları gösterilebilir. Yaz hafta içi gece ölçümlerinde ise özellikle sahil şeridinde yakın veya sahile çıkan ana caddelerde bulunan kafe, restoran ve alışveriş merkezi gibi birçok kullanımdan çıkan gürültünün trafik ve insan yoğunluğuyla birlikte ciddi bir düzeye ulaştığı görülmüştür.

Trafikten kaynaklanan gürültünün tespitinde gürültü ölçüm sonuçlarının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği ile karşılaştırıldığı çalışmada Delikanlı vd. (2014) gürültü haritaları oluşturulmasının gerekliliğini belirtirken Maraş vd. (2010) mevcut gürültüyle mücadele etmenin etkin yolunun coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı olduğunu belirtmiştir. Maraş & Sesli (2017), düzenli gürültü ölçümünün coğrafi bilgi sistemi teknikleriyle analiz edilmesi planlama sürecinde gürültü kirliliğini engellemede önemli adımlar atılabileceği görüşündedir. Say vd. (2017) gününbirlik veya mevsimlik önemli turizm akslarında bulunan yerleşimlerin gürültü değerlerinin tespiti için özellikle yaz ve kış dönemi olmak üzere mevsimsel ölçümlerin yapılmasının önemine vurgu yapmaktadır. Deveci & Yorulmaz (2022) Edirne il merkezinde gürültü ölçüm cihazı ile yaptıkları analizler sonucunda kıyı şeridinin özellikle yaz aylarında yoğun gürültüye maruz kaldığı sonucuna varmıştır. Çeşitli örneklerden de görüldüğü gibi, gürültü ile ilgili yapılan

çalışmalarda öncelikle mevcut durumun belirlenmesi için ilgili yasal ve yönetsel çerçeve içerisinde değerlendirilebilecek ölçüm sonuçlarına sahip olmak ve bu sonuçları uygun teknik ve yöntemlerle değerlendirmek gerekmektedir. Bu sayede planlama süreçlerinde gürültü kirliliğinin giderilmesinde geliştirilecek öneriler, alan kullanımlarına göre önceliklendirilebilecek ve mekansal öneriler geliştirilebilecektir.

## 5. Sonuçlar

### 5. Results

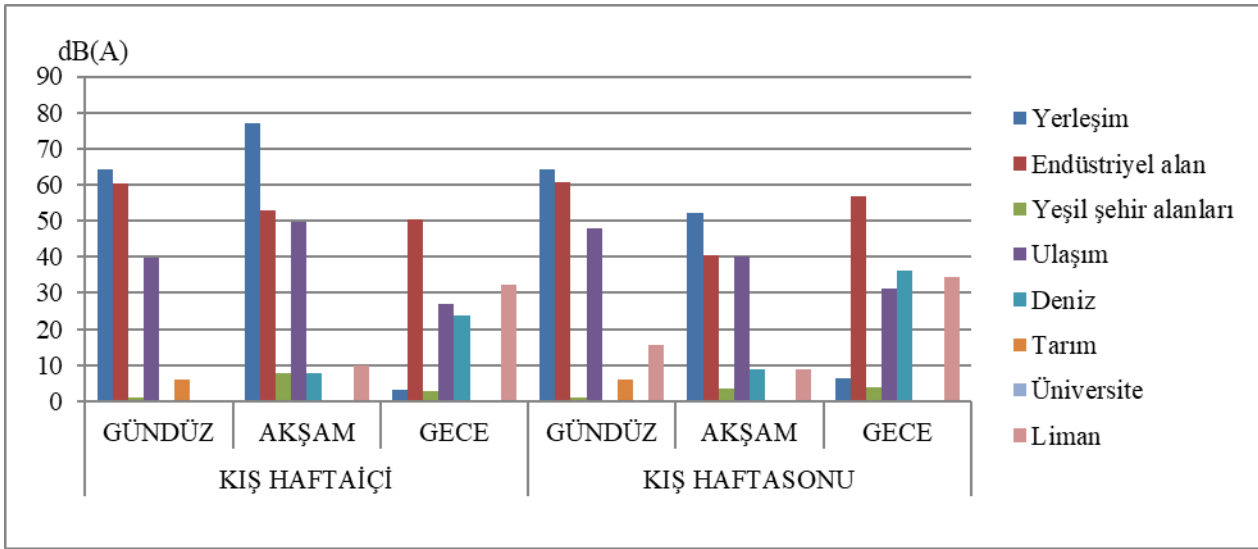
Gürültü haritalarında verilen dağılımlardan yola çıkarak gürültü kirliliğinin tespit edildiği, yani gürültü sınır değerlerinin üzerinde ölçüm alınan alanların hangi alan kullanımını etkilediği tespit edilmiştir. Bu kapsamda 36 noktada alınan ölçüm sonuçları ile oluşturulan gürültü dağılım haritaları ve araştırma alanındaki temel kullanımlar çakıştırılmış ve gürültü ölçüm aralıklarına maruz kalan alanlar Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3 incelenirken Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-7 Tablo-1’de verilen Kara Yolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri dikkate alınmış ve mevcut yollarda sınır değerlerini aşan gündüz saatlerinde 68 dB(A), akşam saatlerinde 63 dB(A), gece saatlerinde ise 58 dB(A)’yı aşan alanlar gürültü kirliliği tespit edilen alanlar olarak yorumlanmıştır.

**Tablo 2.** Kış dönemi gürültü ölçüm sonuçları

**Table 2.** Winter period noise measurement results

		Alan Kullanımları(ha)									
		dB(A)	Yerleşim	Endüstriyel alan	Yeşil şehir alanları	Ulaşım	Deniz	Tarım	Üniversite	Liman	TOPLAM
KİŞ HAFTA İÇİ	GÜNDÜZ	50-56	56.24	0.00	8.62	12.52	31.37	3.34	3.57	0.00	<b>115.66</b>
		56-60	74.69	0.00	5.79	19.07	46.47	8.87	17.81	0.00	<b>172.70</b>
		60-64	40.01	8.38	8.96	22.39	61.69	5.50	0.00	1.97	<b>148.90</b>
		64-68	50.58	15.67	6.45	19.18	24.93	17.93	0.00	17.65	<b>152.39</b>
		<b>68-77</b>	<b>64.32</b>	<b>60.52</b>	<b>1.16</b>	<b>39.68</b>	<b>0.00</b>	<b>6.13</b>	<b>0.00</b>	<b>15.53</b>	<b>187.34</b>
	AKŞAM	45-50	9.67	0.00	0.00	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>12.50</b>
		50-55	23.85	0.00	4.41	7.67	0.20	0.66	0.00	0.00	<b>36.79</b>
		55-59	57.78	0.00	4.14	14.84	21.16	7.8	0.29	8.76	<b>114.77</b>
		59-63	117.35	31.75	14.64	37.67	135.21	33.31	21.09	16.52	<b>407.54</b>
		<b>63-70</b>	<b>77.19</b>	<b>52.82</b>	<b>7.79</b>	<b>49.83</b>	<b>7.89</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>9.87</b>	<b>205.39</b>
	GECE	35-40	28.54	0.00	0.00	8.32	0.00	0.47	0.00	0.00	<b>37.33</b>
		40-45	27.29	0.00	4.96	7.78	5.43	3.01	0.00	0.00	<b>48.47</b>
45-50		93.18	8.31	4.98	26.79	56.14	14.05	6.99	0.00	<b>210.44</b>	
50-58		133.64	25.95	18.07	42.98	79.14	24.24	14.39	2.78	<b>341.19</b>	
<b>58-69</b>		<b>3.19</b>	<b>50.31</b>	<b>2.97</b>	<b>26.97</b>	<b>23.75</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>32.37</b>	<b>139.56</b>	
KİŞ HAFTA SONU	GÜNDÜZ	50-56	56.33	0.00	8.62	13.46	31.41	3.34	3.58	0.00	<b>116.74</b>
		56-60	73.99	0.00	5.79	20.00	46.49	8.87	17.80	0.00	<b>172.94</b>
		60-64	40.97	8.36	9.32	12.28	61.58	5.50	0.00	1.97	<b>139.98</b>
		64-68	50.34	15.67	6.22	19.14	24.98	17.93	0.00	17.55	<b>151.83</b>
		<b>68-77</b>	<b>64.21</b>	<b>60.54</b>	<b>1.03</b>	<b>47.96</b>	<b>0.00</b>	<b>6.13</b>	<b>0.00</b>	<b>15.63</b>	<b>195.5</b>
	AKŞAM	45-50	7.81	0.00	0.24	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>10.98</b>
		50-55	22.94	0.11	4.51	8.41	0.79	0.00	0.00	4.76	<b>41.52</b>
		55-59	73.04	3.47	6.72	16.4	29.92	3.22	0.00	7.28	<b>140.05</b>
		59-63	129.93	40.65	15.94	45.05	124.82	38.55	21.38	14.13	<b>430.45</b>
		<b>63-70</b>	<b>52.12</b>	<b>40.34</b>	<b>3.57</b>	<b>40.07</b>	<b>8.91</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.98</b>	<b>153.99</b>
	GECE	35-40	42.32	0.00	0.00	10.23	0.00	0.31	0.00	0.00	<b>52.86</b>
		40-45	35.73	0.00	4.84	9.63	8.62	9.42	1.07	0.00	<b>69.31</b>
45-50		39.42	0.00	2.16	8.52	41.65	2.49	20.31	0.00	<b>114.55</b>	
50-58		162.06	27.88	20.17	53.06	78.07	29.26	0.00	0.61	<b>371.11</b>	
<b>58-69</b>		<b>6.31</b>	<b>56.69</b>	<b>3.81</b>	<b>31.42</b>	<b>36.1</b>	<b>0.29</b>	<b>0.00</b>	<b>34.54</b>	<b>169.16</b>	

Tablo 2’de verilen ve gürültü haritalarının oluşturulmasında kullanılan detaylı ölçüm sonuçlarının yanında Şekil 4’te Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nde belirtilen sınır değerlerinin aşıldığı alan kullanımları görülmektedir.



**Şekil 4.** Kış dönemi gürültü sınır değerlerinin aşıldığı alanlardaki kullanımlar

**Figure 4.** Land uses where winter noise limit values are exceeded

Bu sonuçlara göre, kış aylarında hafta içi gündüz ölçümlerinde ulaşım alanlarının %35'i, endüstriyel ve ticari alanların %60'ı, limanın %45, yerleşim alanları ile park ve yeşil alanların ise %25'e yakın bölümünde gürültü kirliliği tespit edilmiştir. Kış hafta içi akşam ölçümlerinde gürültünün ulaşım alanlarına dağılımı %10 oranında artmış ve %45'e yükselmiştir. Ulaşım alanlarındaki kirlilik artışına paralel olarak yerleşim alanlarında da oransal olarak küçük bir artış gözlenmiş fakat liman ve endüstriyel alanlarda gürültüye maruziyetin azaldığı belirlenmiştir. Kış hafta içi gece ölçümlerinde ise ulaşım alanlarının %24'ü, endüstriyel alanların %60, limanın ise tamamına yakınının sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kaldığı görülmüştür.

Kış hafta sonu gündüz ölçümlerinde ulaşım alanlarının %42'sinin kirlilik yüküyle karşı karşıya olduğu görülmüştür. Aynı zamanda yerleşim alanlarının %22'si, endüstriyel ve ticari alanların %70 ve liman alanının ise %45'inde gürültü sınır değerlerinin üzerinde ölçümler alınmıştır. Akşam ölçümlerinde tüm alanlarda benzer oranlarda kirlilik azalışı görülse de, gürültüye maruz kalan alanlar yine de yerleşim alanlarının %18'i, endüstriyel ve ticari alanların %50'sine yakını ve limanın ise %25'inde gürültü kirliliği tespit edilmiştir. Kış hafta sonu gece ölçümlerinde ise ulaşım alanlarındaki gürültü kirliliğine maruz alanın %35'ten %30'a, yerleşim alanlarında ise %18'den %2'ye gerilediği görülürken, endüstriyel ve ticari alanlarda görülen kirlilik alan artışı %50'den %65'e, limanda ise %25'ten %99'a çıkmıştır.

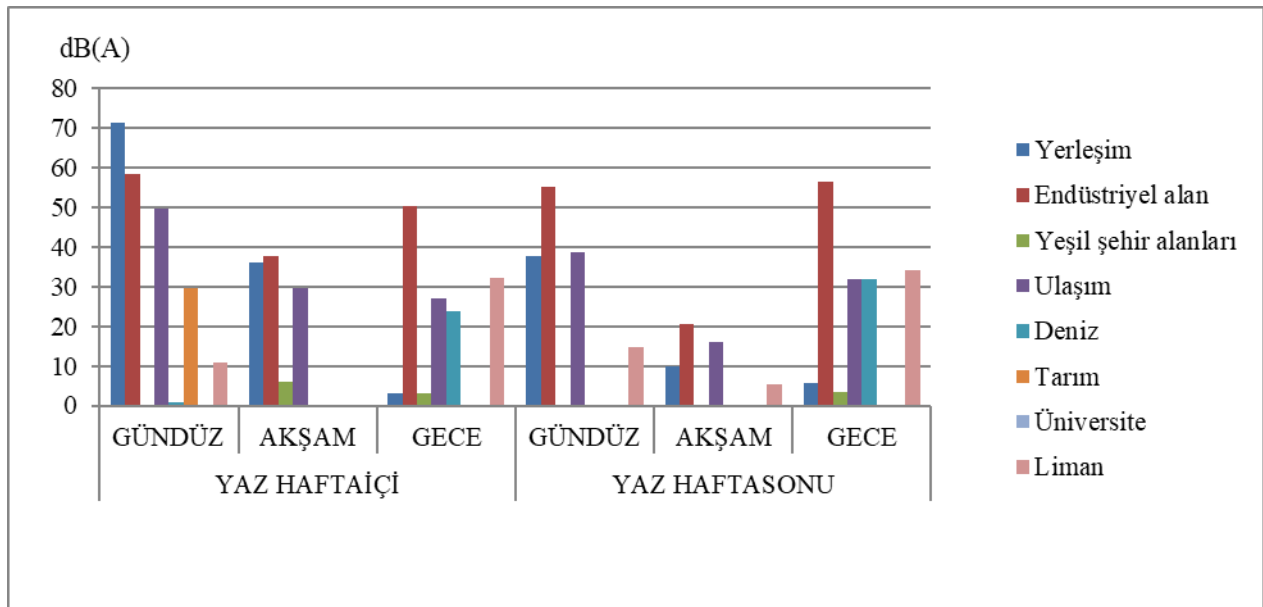
Kış hafta sonu gündüz ölçüm sonuçlarına gelindiğinde hafta içi gündüz sonuçlarına göre artan bir ulaşım hattı kirliliği ve diğer kullanımlarda hemen hemen aynı sonuçların alındığı ölçümlerle kanıtlanmıştır. Kış hafta sonu akşam ölçümlerinde yine yüksek oranlarda özellikle ulaşım alanlarında sınır değerlerinin aşıldığı ve hafta içi ölçümlerinde olduğu gibi yerleşim ile endüstri ve ticaret alanları üzerinde kirlilik tespit edildiği görülmüştür. Fakat az da olsa sınır değeri aşan alanlarda azalma vardır. Kış hafta sonu gece ölçümlerinde ise hafta içi gece ölçümlerine benzer şekilde kirlilik yükü yerleşim alanlarında oldukça azalırken, endüstriyel ve ticari alanlarda yine yüksek kirlilik oranları tespit edilmiştir.

Yaz dönemine ait gürültü ölçüm sonuçları ise Tablo 3'de verilmiştir. Yaz hafta içi gündüz ölçümünde ulaşım alanlarında yoğun kirlilik tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Yaz dönemi gürültü ölçüm sonuçları  
**Table 3.** Summer period noise measurement results

		Alan Kullanımları(ha)									TOPLAM
dB(A)		Yerleşim	Endüstriyel alan	Yeşil şehir alanları	Ulaşım	Deniz	Tarım	Üniversite	Liman		
YAZ HAFTA İÇİ	GÜNDÜZ	50-56	63.77	0.00	1.79	14.67	3.85	9.11	13.96	0.00	<b>107.15</b>
		56-60	40.46	0.00	4.05	9.42	46.93	3.10	7.42	0.00	<b>111.38</b>
		60-64	52.62	2.90	10.41	15.24	27.03	0.00	0.00	0.00	<b>108.2</b>
		64-68	57.52	23.29	14.73	23.83	85.84	0.00	0.00	24.32	<b>229.53</b>
		<b>68-77</b>	<b>71.47</b>	<b>58.38</b>	<b>0.00</b>	<b>49.68</b>	<b>0.81</b>	<b>29.56</b>	<b>0.00</b>	<b>10.83</b>	<b>220.73</b>
	AKŞAM	45-50	48.8	0.00	0.00	11.91	0.00	0.54	0.00	0.00	<b>61.25</b>
		50-55	54.18	0.00	7.94	13.75	6.48	10.29	2.49	0.00	<b>95.13</b>
		55-59	80.92	25.68	9.82	28.24	138.16	20.49	18.89	25.29	<b>347.49</b>
		59-63	65.69	21.14	7.36	29.46	19.82	10.45	0.00	9.86	<b>163.78</b>
		<b>63-70</b>	<b>36.25</b>	<b>37.75</b>	<b>5.86</b>	<b>29.48</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>109.34</b>
	GECE	35-40	28.54	0.00	0.00	8.35	0.00	0.47	0.00	0.00	<b>37.36</b>
		40-45	27.29	0.00	4.95	7.78	5.43	3.01	0.00	0.00	<b>48.46</b>
45-50		93.18	8.31	4.97	26.78	56.14	14.05	7.00	0.00	<b>210.43</b>	
50-58		133.64	25.95	18.09	42.98	79.14	24.24	14.38	2.78	<b>341.2</b>	
<b>58-69</b>		<b>3.19</b>	<b>50.31</b>	<b>2.97</b>	<b>26.95</b>	<b>23.75</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>32.37</b>	<b>139.54</b>	
YAZ HAFTA SONU	GÜNDÜZ	50-56	52.64	0.00	4.96	13.81	22.41	3.81	0.00	0.00	<b>97.63</b>
		56-60	55.39	0.00	2.86	12.78	32.34	8.41	13.25	0.00	<b>125.03</b>
		60-64	57.97	9.58	11.29	18.51	91.36	12.21	8.13	2.62	<b>211.67</b>
		64-68	81.98	19.72	11.87	29.07	18.35	17.34	0.00	17.88	<b>196.21</b>
		<b>68-77</b>	<b>37.86</b>	<b>55.27</b>	<b>0.00</b>	<b>38.67</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14.65</b>	<b>146.45</b>
	AKŞAM	45-50	17.93	0.31	1.83	7.31	0.91	0.00	0.00	5.56	<b>33.85</b>
		50-55	63.58	3.67	10.54	17.35	18.04	0.00	0.00	5.37	<b>118.55</b>
		55-59	127.85	32.81	10.73	38.89	138.92	39.34	21.38	10.56	<b>420.48</b>
		59-63	66.64	27.07	7.88	33.31	6.59	2.43	0.00	8.41	<b>152.33</b>
		<b>63-70</b>	<b>9.84</b>	<b>20.71</b>	<b>0.00</b>	<b>15.98</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>5.25</b>	<b>51.78</b>
	GECE	35-40	46.63	0.00	0.00	11.09	0.00	0.31	0.00	0.00	<b>58.03</b>
		40-45	42.58	0.00	4.82	10.33	7.41	10.17	2.21	0.00	<b>77.52</b>
45-50		43.34	1.19	2.94	9.27	50.81	1.73	19.17	0.00	<b>128.45</b>	
50-58		147.62	26.81	19.77	50.28	74.49	29.56	0.00	1.04	<b>349.57</b>	
<b>58-69</b>		<b>5.67</b>	<b>56.57</b>	<b>3.45</b>	<b>31.87</b>	<b>31.75</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>34.11</b>	<b>163.42</b>	

Tablo 3’de verilen ve gürültü haritalarının oluşturulmasında kullanılan detaylı ölçüm sonuçlarının yanında Şekil 5’te Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nde belirtilen sınır değerlerinin aşıldığı alan kullanımları görülmektedir.



**Şekil 5.** Yaz dönemi gürültü sınır değerlerinin aşıldığı alanlardaki kullanımlar  
**Figure 5.** Land uses where summer noise limit values are exceeded

Ulaşım alanlarının %50'ye yakın kısmında gürültünün sınır değerini aştığı görülürken, yerleşim alanlarının %25'i, endüstriyel ve ticari toplam alanda bu oran %80'e kadar çıkmaktadır. Yaz hafta içi akşam ölçümlerinde ulaşım alanlarının %25'inde gürültü düzeyi sınır değerini aşmıştır. Endüstriyel ve ticari alanlarda %40, yerleşim alanlarında ise %13'lük alan sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Gündüz değerlerine göre akşam saatlerinde sınır değerleri aşan alanların ulaşım başta olmak üzere diğer alanlarda da benzer oranda, yaklaşık %50'lik bir gerileme kaydettiği görülmüştür. Yaz hafta içi gece ölçümlerinde ulaşım alanlarındaki kirlilik oranı neredeyse akşam ölçümleriyle aynıdır. Fakat bu zaman aralığında yerleşim alanlarındaki kirlilik düzeyi %1'lik alan üzerinde görülürken endüstriyel ve ticari alanların kirlilik oranının %60'a, liman alanının ise %95'inde kirlilik, sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Bu durum ulaşımdan kaynaklanan gürültü yanında gece saatlerinde endüstriyel ve ticari alanlar ile liman alanında farklı kaynaklardan oluşan gürültü kirliliği meydana geldiğini göstermektedir.

Yaz hafta sonu gündüz ölçümlerinde ulaşım alanlarının %34'ünün, endüstriyel ve ticari alanların %65'i, yerleşim alanlarının ise %13'ü sınır değerlerin üzerinde kirlilik düzeyine maruz kaldığı görülmüştür. Yaz hafta sonu akşam ölçüm sonuçlarında gürültü kirliliğine maruz alanların ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Ulaşım alanlarında bu oran %15'e, endüstriyel ve ticari alanlarda %25'e, yerleşim alanlarında ise %3'e kadar gerilemiştir. Gece ölçümlerinde ise yerleşim alanlarının %2'sinde kirlilik görülürken, ulaşım ile endüstriyel ve ticari alanlarındaki kirliliğin gündüz kirlilik düzeyine çıktığı, bunun yanında liman alanının neredeyse tamamının, deniz yüzeyinin ise %20'lik bölümünde gürültü kirliliği tespit edilmiştir. Şekil 2'de verilen çalışma alanı dikkate alındığında kıydan deniz yüzeyine ciddi bir kirlilik dağılımı olduğu ortaya çıkmaktadır.

İskenderun ilçesinin yaz ve kış dönemlerinde farklı düzeylerde sınır değerlerini aşan gürültü kirliliği düzeylerine maruz kaldığı görülmüştür. Her ne kadar çeşitli alan kullanımları üzerinde gürültü dağılımları dönemsel ve hafta içi, hafta sonu olarak farklılaşsa da gürültünün özellikle ulaşım, yerleşim, endüstriyel ve ticari alanlar, liman ve deniz kullanımları üzerinde ciddi etkileri mevcuttur. Bu gürültü kirliliğinin başlıca nedeni İskenderun ilçe trafiğini oluşturan bireysel otomobil ve motosiklet kullanımının yoğunluğudur. Trafikten kaynaklanan gürültü kirliliği, çevresinde sınırlayıcı herhangi bir önlem alınmadığı için diğer kullanımları da doğrudan etkilemekte ve ilçede genel olarak gürültü kirliliğine maruz kalınmaktadır.

İlçede trafikten kaynaklanan gürültü kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilçede toplu taşıma araçlarının kullanımı yaygınlaştırılmalı, özellikle bireysel otomobil kullanımına yönlenen halk bilinçlendirilmelidir. Alternatif ulaşım seçeneklerinden bisiklet kullanımı son yıllarda özellikle üniversite öğrencileri tarafından tercih edilse de, İskenderun gibi coğrafi şartları uygun olan ve temel kullanım alanları arasındaki mesafelerin kısa olması nedeniyle bisiklet, elektrikli bisiklet, elektrikli scooter gibi taşıma araçlarının kullanımı teşvik edilmelidir. Ek olarak İskenderun ilçesinin özellikle yaz aylarındaki turizm hareketliliği ve kış aylarındaki okul ve iş çıkış saatlerindeki yoğunluk düşünüldüğünde belediye tarafından ulaşım sistemine entegre edilecek bir raylı sistemin ya da ring sisteminin kent içi trafik yoğunluğunu büyük ölçüde azaltacağı düşünülmektedir.

İlçede trafikten kaynaklanan gürültü kirliliğinin yanında endüstriyel ve ticari alanlar ile limanda saptanan gürültü kirliliği de tespit edilmiştir. Bu kirliliğin, öncelikle çalışma sahalarında kullanılan makine ve araç gereçlerde, kaynakta azaltılması amaçlanmalıdır. Bu kapsamda yenilikçi uygulama ve tasarımlar takip edilmeli, gerektiğinde daha az kirlilik yayan makinelerle değiştirilmeli, çeşitli materyaller ve bitkisel örtüyle gürültü perdeleri oluşturularak kirlilik sınırlandırılmalı ve gürültü absorbe eden yüzey kaplamaları ile de desteklenmelidir.

Türkiye Cumhuriyeti Anayasa'sının 56. maddesinde belirtildiği gibi "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir." Bu amaçla toplumun yaşam standartlarını yükseltmek için, özellikle yerinde yapılan ve analizlere dayanan uygulama çalışmalarının artırılması ve yapılan çalışmalarda saptanan bulgular dahilinde belirlenen öneriler hayata geçirilmelidir.

#### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Bu çalışmaya yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz. Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izingerektirmediğini beyan etmektedir.

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

- Başkan, O. (2004). *Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik, Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulaması* [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Chen, X., Ankenman, B.E. & Nelson, B.L. (2013). Enhancing stochastic Kriging metamodels with gradient estimators. *Operations Research*, 61(2), 512–528. <https://dx.doi.org/10.1287/opre.1120.1143>
- Deepak, J. (2016). Noise pollution: A review. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 4(3), 72-77. <https://doi.org/10.12691/jephh-4-3-3>.
- Delikanlı, N. E., Yücedağ, C., & Kapdi, A. (2015). Bartın Kentinde Araç Trafikinden Kaynaklı Gürültü Kirliliği Üzerine Bir Ön Çalışma. *Journal of Engineering and Technological Sciences* (2014/2)
- Deveci, S. & Yorulmaz, F. (2022). Edirne il merkezinde çevresel gürültünün değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilim Dergisi*, 15(2), 234-244. <https://doi.org/10.26559/mersinsbd.1070709>
- European Environment Agency (2019). *Noise in Europe 2014*. Publications Office of the European Union: Luxembourg, ISSN:1977-8449. <https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014>
- Guo, Q., Huang, R., Liu, Z., Zhang, K., & Huang, J. (2019). Assessment of China's offshore wind resources based on the integration of multiple satellite data and meteorological data. *Remote Sensing*, 11(22), 2680. <https://doi.org/10.3390/rs11222680>
- İnal, C., Turgut, B. & Yiğit, C. Ö. (2002). *Lokal alanlarda jeoit ondülasyonlarının belirlenmesinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması*. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Konya. <https://docplayer.biz.tr/3389764-Lokal-alanlarda-jeoit-ondulasyonlarinin-belirlenmesinde-kullanilan-enterpolasyon-yontemlerinin-karsilastirilmasi.html>
- İnal, C., & Yiğit, C. Ö. (2003). *Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği*, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-26 Eylül 2003, Konya.
- İskenderun Kaymakamlığı (2023). *İskenderun Limanı*, <http://www.iskenderun.gov.tr/iskenderun-limani-#:~:text=KONUM%3A%20C4%B0skenderun%20Liman%C4%B1%2C%20Akdeniz',olarak%20C3%B6nemli%20bir%20role%20sahiptir>. Erişim tarihi: 12.09.2023.
- Lumsden, K. (2013). Policing the roads: traffic cops, ‘boy racers’ and anti-social behaviour. *Policing & Society*, 23(2), 204-221. <https://doi.org/10.1080/10439463.2012.696642>
- Lv, J., & Shichang, D. (2021). Kriging method-based return prediction of waste electrical and electronic equipment in reverse logistics. *Applied Sciences* 11(8), 3536. <https://doi.org/10.3390/app11083536>
- Maraş, E.E., Alkış, Z., & Maraş, H. H. (2010). *Çevresel gürültü haritalarının hazırlanmasında CBS'nin önemi*, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11-13 Ekim 2010, Gebze-Kocaeli.

- Moragues, A.,& Alcaide, T. R. (1996). The use of a geographical information system to assess the effect of traffic pollution. *Science of the Total Environment*, 189-190, 267-273. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(96\)05218-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(96)05218-7)
- Murphy, E.,& King, E. A.(2022). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy (2nd ed.)* Elsevier.
- Öden, M. K.,& Bilgin, E.(2019). Sarayönü İlçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 103-113.<https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.601324>
- Ranjan, R., Kumar, S.,& Singh, R. (2023). Monitoring of traffic noise pollution in urban Patna, Bihar, India. *Noise & Vibration Worldwide*, 54(4-5), 183-193. <https://doi.org/10.1177/09574565231161644>
- Say, N., Ökten, S.Ö., Aysu, A., & Yalçınkaya, N.M. (2017). Seasonal Change and Spatial Distribution of Traffic Noise in Seferihisar, Turkey. *Archives Of Acoustics*, 42(4), 631-642.
- Sheng, N.,& Tang, U. (2011). Spatial analysis of urban form and pedestrian exposure to traffic noise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 1977-1990. <https://doi.org/10.3390/ijerph8061977>
- Singh, C., & Deswal, S.(2023). Status and noise reduction analysis of robotics lab in an academic institute by using acoustic materials. *Noise & Vibration Worldwide*, 54(9), 469-476. <https://doi.org/10.1177/09574565231193052>
- Tandel, B. N.,& Macwan, J. E. M. (2017). Audiometric assessment of urban road traffic noise affected persons: A case study of Surat, India. 9th Asia Pacific Conference on Transportation & the Environment.<https://doi.org/10.31705/apte.2014.24>
- Taylan, E. D.,&Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi* , 27 (3) , 7551-7559.
- Tripathy, D.P., (2008). *Noise pollution*, A.P.H. Publishing Corporation.
- Yaprak, S., &Arslan, E. (2008) Kriging yöntemi ve geoit yüksekliklerinin enterpolasyonu, *Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, (98), 36-42.
- Yılmaz, E., & Çitçi, S.(2011). Kentlerin ortaya çıkışı ve sosyo-politik açıdan Türkiye’de kentleşme dönemleri. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi* , 10 (35) , 252-267.
- Zuo, J., Hao, X., Shuo, L.,& Yanyou, Q. (2016). Mapping urban environmental noise using smartphones. *Sensors* 16(10), 1692. <https://doi.org/10.3390/s16101692>



## A study on effective feature extraction and genetic algorithm based feature selection method in fake news detection classification using machine learning approaches

*Makine öğrenimi yaklaşımları kullanılarak sahte haber tespiti sınıflandırmasında etkili özellik çıkarma ve genetik algoritma tabanlı özellik seçimi yöntemi üzerine bir çalışma*

Ramazan İNCİR\*<sup>1</sup> , Mete YAĞANOĞLU<sup>2</sup> , Ferhat BOZKURT<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

• Received: 27.11.2024

• Accepted: 06.05.2024

### Abstract

In today's technology, information spreads quickly through online social networks, making our lives easier. However, when false news is shared without critical evaluation, it can harm society and affect social, political and economic aspects as it reaches a wide audience. At this point, it is important to develop content verification and confirmation systems. In this study, the aim is to conduct monolingual and cross-lingual classification on a multi-class dataset containing English and German news content. We applied data preprocessing, including CountVectorizer and stylometric feature extraction, before classification. Feature selection was made using the genetic algorithm, which is an algorithm based on the idea of evolution in nature. Selected features were classified by Random Forest, Logistic Regression, Multinomial Naive Bayes, Decision Tree and KNearest Neighbors machine learning algorithms. In the classification process, Multinomial Naive Bayes achieved 58.49% Accuracy and 42.97% macro-F1 for monolingual English news texts, while Logistic Regression achieved 45.39% Accuracy and 37.70% macro-F1 in Cross-lingual classification using English and German news texts. Significantly successful results were obtained compared to studies conducted with the same dataset. In addition, the same methodology was applied to the ISOT dataset. 99.48% and 99.62% macro-F1 were obtained by Logistic Regression and Decision Tree algorithms, respectively.

**Keywords:** Cross-lingual classification, Fake news detection, Genetic algorithm, Machine learning, Monolingual classification

### Öz

Günümüz teknolojisinde bilgi çevrimiçi sosyal ağlar aracılığıyla hızla yayılarak hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Ancak sahte haberler eleştirel bir değerlendirme yapılmadan paylaşıldığında geniş kitlelere kolaylıkla ulaştığı için topluma zarar verebilmekte ve sosyal, politik ve ekonomik yönleri etkileyebilmektedir. Bu noktada içerik doğrulama ve teyit sistemlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada İngilizce ve Almanca haber içeriklerinin yer aldığı çok dilli veri seti üzerinde tek dilli ve diller arası bir sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Sınıflandırmadan önce CountVectorizer ve stilometrik özellik çıkarımı da dâhil olmak üzere veri ön işleme uygulanmıştır. Özellik seçimi, doğadaki evrim fikrine dayanan bir algoritma olan genetik algoritma kullanılarak yapılmıştır. Seçilen özellikler Rastgele Orman, Lojistik Regresyon, Multinomial Naive Bayes, Karar Ağacı ve K-En Yakın komşu makine öğrenme algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda tek dilli İngilizce haber metinleri için Multinomial Naive Bayes algoritması ile %58.49 Doğruluk ve %42.97 makro-F1 elde edilirken, İngilizce ve Almanca haber metinleri kullanılarak diller arası sınıflandırmada Lojistik Regresyon algoritması ile %45.39 Doğruluk ve %37.70 makro-F1 elde edilmiştir. Aynı veri seti ile yapılan çalışmalara göre oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ISOT veri setine de aynı metodoloji uygulanmıştır. Lojistik Regresyon ve Karar Ağacı algoritmaları ile sırasıyla %99.48 ve %99.62 makro-F1 elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Diller arası sınıflandırma, Sahte haber tespiti, Genetik algoritma, Makine öğrenimi, Tek dilli sınıflandırma

\* Ramazan İNCİR; ramazan.incir@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

With the development of internet technology, modern life has become more convenient, leading to increased communication and information sharing that significantly simplifies our lives. Almost every piece of information has become easily accessible. However, the content available can be created and disseminated by ordinary people, whether it's based on false or real information. Fake news refers to news that contains false or misleading content, giving the impression of being accurate but failing to reflect the truth.

In recent years, there has been an increase in the amount of false information and rumors in print newspapers, television, radio, the internet, and social media (Lima et al., 2022). With the prevalence of social media, suspicious and untrue news content has reached large masses unchecked. Users have contributed to the credibility of such news by sharing fake news on various platforms with the prejudice of believing, without questioning the accuracy of the information shared by their friends (Jain & Kasbe., 2018). Fake news spreads faster, deeper, and wider than real news, resulting in significant consequences (Zhang et al., 2022). The fact that major rumors on social media platforms such as Facebook and Twitter influenced the outcome of the 2016 US presidential election confirms this situation (DiFranzo & Gloria-Garcia., 2017).

The mass media plays a crucial role in communicating and disseminating messages in various fields, including politics and health. However, due to the huge amount of information produced, mass media may have difficulty in communicating the correct information effectively. Given the large volume of data, manual validation is impractical (Ghayoomi & Mousavian., 2022). Therefore, it is of great importance to develop detection systems to prevent the spread of fake news that can have serious consequences.

In this study, both monolingual and cross-lingual classifications were conducted on news articles, which encompassed classes of true, false, partially false, and others. These classifications were presented comparatively using five different machine learning algorithms for classification. Feature extraction from news articles was performed using CountVectorizer and Stylometric feature extraction methods. Feature selection was performed using the genetic algorithm applied to the extracted features. Our approach was also compared with studies on the same dataset. To further evaluate the performance of the methodology, classification was performed using the ISOT dataset and the resulting performance measures were presented.

The novelty of our work lies in feature extraction using CountVectorizer, combining these features with stylometric features, and enhancing performance through feature selection using the genetic algorithm. The scope and contributions of this study can be summarized as follows:

- Effective feature extraction, feature selection and machine learning algorithms are proposed for fake news detection.
- A feature set was created by extracting features from the dataset via Stylometry and CountVectorizer.
- Feature selection was performed using a genetic algorithm on the created feature set.
- To assess the robustness of our methodology, classification was conducted using the ISOT dataset.
- In this study, experimental studies were carried out using five different machine learning techniques on a fake news article dataset with four distinct classes, and a comparative performance evaluation was conducted.

In the literature, there are studies that classify fake news using various methods. Ahmed et al. (2017) proposed a solution based on n-gram analysis and machine learning algorithms for fake news detection. In addition to six different machine learning, two different feature extraction equipment were used: Term Frequency (TF) and Term Frequency Inverted Document Frequency (TF-IDF). In the experimental evaluation, Linear Support Vector Machine (LSVM), one of the TF-IDF-based machine learning programs, reached 92% accuracy. Aborisade et al. (2018) aimed to detect fake news on 46,895 tweets they collected from Twitter. After the preprocessing steps such as short text cleaning, stop words cleaning, punctuation mark cleaning and tokenization, the classification process was conducted. The results showed an accuracy of 91.1% with logistic regression and 89.8% with a Naive Bayes classifier. Vogel et al. (2019) created the GermanFakeNC dataset consisting of German news texts for fake news detection. They transformed the train and test datasets into tf-idf feature vectors. As a result of the evaluation, it was stated that 0.72 and 0.89 Cohen's Kappa, 0.74 and 0.90 F1 Score were obtained with SVM and CNN classifiers, respectively.

Ahmad et al. (2020), have created a series of combinations of various machine learning algorithms. As a result of the experimental evaluations, they stated that the average accuracy values of 88.16% were obtained, in which ensemble learners performed better than individual learners on average. The lowest performance was obtained with Wang-Bi-LSTM. Nasir et al. (2021), presented a hybrid deep learning model combining Convolutional Neural Network (CNN) and Recurrent Neural Network (RNN) for fake news detection. Classification was done on ISOT and FA-KES datasets. They stated that the proposed hybrid model was more successful than other models. They stated that as a result of the classification made on the FA-KES and ISOT datasets, an average accuracy value of 60% and 99% was obtained, respectively.

Fayaz et al. (2022) extracted various features on the ISOT dataset to detect fake news. They used feature importance, information gain, univariate and chi2 for feature selection. The best 14 features were selected from 23 features. From the experimental results, an accuracy of 97.33% was obtained with chi2 in feature selection and random forest algorithm, one of the machine learning algorithms for classification. Taboubi et al. (2022), used pre-trained BERT base uncased and RoBERTa models. Preprocessing steps such as stop words and lemmatization were applied. The BERT model used consists of two sub-models. One of the models processed the title while the other processed the text. As a result, the macro F1 measure of 0.339 was reached with the BERT model. Martinez-Rico et al. (2022) LIWC explicit features and transformer models are used to extract hidden features in the text. At the end of the evaluations, the highest F1 measure value of 0.3324 was obtained as a result of using the third approach. Tran et al. (2022) aimed to classify fake news cross-linguals and monolinguals on a dataset consisting of English and German texts. As a result of the classification process, they obtained a macro-F1 score of 39.54% with T5-3B classifier for monolingual English news texts. They obtained XLM-RLarge 30.06% macro-F1 score for cross-lingual English and German news texts. LekshmiAmmal et al. (2022) utilized a Transformer-based model for the classification process after Text Preprocessing and Tokenization. As a result, they reported F1 scores of 0.2980 for monolingual and 0.2245 for cross-lingual texts.

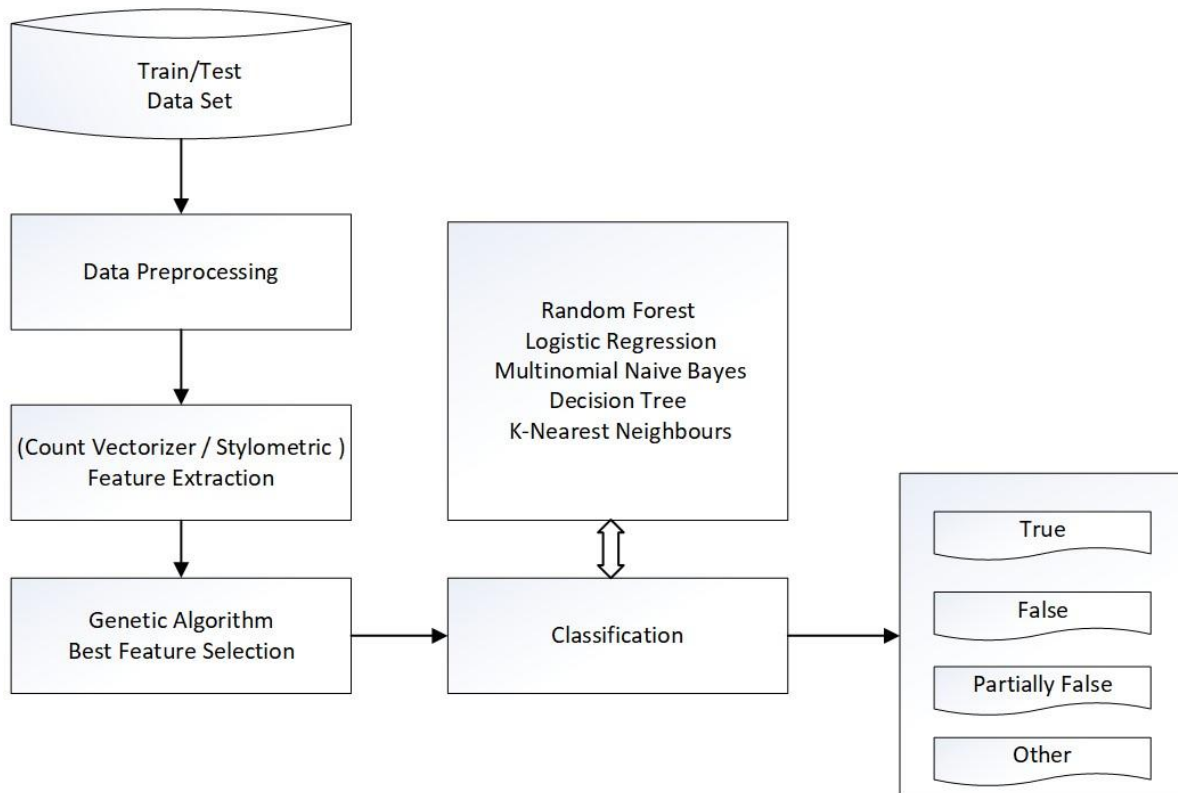
Truică et al. (2022) used BiLSTM with BART sentence converters on English articles for monolingual fake news detection. For cross-lingual fake news detection, they used English and German articles and BiLSM with XLM sentence converters. As a result, they obtained an F1 Score of 0.32 and an accuracy value of 0.53 in monolingual classification, and an F1 Score of 0.19 and an accuracy value of 0.28 in cross-lingual classification. Pritzkau et al. (2022) addressed a multi-class classification problem. They applied preprocessing steps such as removing duplicate data on the dataset consisting of English news articles. They made classification using RoBERTa and Longformer models. In their study, they obtained Macro-F1 at a rate of 0.3076. Althabiti et al. (2022) used a statistical measure called TF-IDF to convert all words to vectors in the text preprocessing stage on the dataset. Machine algorithms and transformer-based BERT, XLNet, RoBERTa and DistilBERT algorithms were used for the classification process. After classification, they obtained an F1 measure of 0.305 with the bert-large-cased model. Arif et al. (2022) used passive-aggressive classification, Bi-LSTM and RoBERTa for news classification. For the monolingual task consisting of English news articles, RoBERTa achieved the best performance with an F1 score of 28.60%. They achieved an F1 score of 17.21% with Bi-LSTM in the cross-lingual classification of news articles in English and German.

La Barbera et al. (2022) aimed to reveal passages matching Wikipedia data in articles using the word bag approach, validate the accuracy of passage claims using the T5 transformer, and classify with the BERT model. They obtained an F1 score of 0.275 in the classification results. Porto-Capetillo et al. (2022) proposed traditional machine learning algorithms and BERT embeddings from deep learning-based pre-trained architectures for the classification process. In order to increase the classification success of the models, they used additional stylometric features. At the end of the study, they obtained a F1-macro score of 0.2951 as a result. Blanc et al. (2022) proposed a two-component BERT-based system. In the first component, they determined whether the text content sample belongs to the classes. The second component is used to assign a truth value to the first component. They have fine-tuned BERT to improve classification performance and obtained an F1 score of 0.2549. Ludwig et al. (2022) proposed a metaheuristic feature selection algorithm based on human behavior on texts. They used SVM to show the effect of selected features on classification. They obtained an F1-score value of 0.251 as a result of the classification made for the purpose of obtaining higher performance by selecting some of the features. Schütz et al. (2022) used the monolingual and cross-lingual transformer model XLM-RoBERTa in their work. They achieved an F1 score of 15.48% in the monolingual study after classification. In the cross-lingual study, they achieved an F1 score of 19.46% in the classification of German texts.

When examining the existing studies, it is evident that there is no suitable evolutionary classification technique proposed for selecting the fundamental characteristics of fake news. This deficiency underscores the necessity for developing more effective solutions to cope with the increasing prevalence of fake news. Particularly, there is a need for new models that take into account the fundamental distribution of data. Therefore, this study aimed to achieve promising performance in detecting fake news by extracting features from fake news using tools such as Stylometry and CountVectorizer. Genetic Algorithm was employed for selecting these features. Subsequently, the selected features were classified using five different machine learning algorithms. Observations indicate that better performance was achieved compared to studies conducted with the same dataset in the literature.

## 2. Material and method

The aim of our study is to conduct an optimal classification analysis by applying effective feature extraction and feature selection techniques to a multi-class dataset containing fake news articles. The system design flowchart is presented in Figure 1, and the subsequent sections will discuss the various stages.



**Figure 1.** General flowchart of system design.

### 2.1. Dataset

In this study, A Multilingual dataset for Fake News Detection was used to detect fake news (Shahi et al., 2022). In the dataset, the statistical information of which is given in Table 1, there are a total of 1264 English news articles, including a training set of 900 lines and a development set of 394 lines. Each news article belongs to four classes: true, false, partially false, and other.

News articles have ID, text, title and our rating information. ID is a unique value that identifies news articles. Text contains the content information of news articles. Title is the title of the news article. Our rating indicates the trust rating and set of the news article, true, false, partially false, and others. The True and False classes are provable classes. Partially false class is specified as the class that cannot evaluate to 100% and contains true and false information. The other class is specified as the class that cannot be categorized as true, false, and partially false. When examining the percentages of data in the training set classes, there are a total of 1264 news articles, with 16.69% for the True class, 45.73% for the False class, 28.32% for the Partially False class, and 9.26% for the Other class.

The study aims to test the training set, which contains 1264 news articles, in two different ways: monolingual and cross-lingual. Statistical information from 612 English and 586 German news articles, as provided in Table 1, was utilized. The same training dataset was used for both monolingual and cross-lingual classification.

**Table 1.** Training and Test dataset statistics

Class	Train Data Count	Test Data Count English	Test Data Count German
True	211	210	243
False	578	315	191
Partially False	358	56	97
Other	117	31	55
<b>Total</b>	<b>1264</b>	<b>612</b>	<b>586</b>

## 2.2. Data preprocessing

In machine learning studies, one of the crucial steps that require emphasis is data preparation. In everyday life, during data collection, there can be instances of missing, incorrect, and contradictory data, which significantly impact the performance of the generated data. Data preprocessing plays a substantial role, especially in overcoming many challenges that may arise in the field of natural language processing. This contributes to obtaining more accurate and reliable results.

Various preprocessing steps have been applied to the text and headlines of the news articles used in our study. These preprocessing steps include converting uppercase letters to lowercase, removing numerical content, eliminating duplicate records, removing rows with empty values, cleaning URLs, removing HTML content, cleaning unprintable characters, cleaning repeated characters, and removing stop words. Additionally, punctuation cleansing and lemmatization have been performed, which we believe positively influence the performance of the classification process.

## 2.3. Feature extraction

When performing classification using machine learning algorithms, it is essential to transform the data into a format that the machine can comprehend. Textual data needs to be represented using numerical values for classification. This process is known as feature extraction. CountVectorizer is a method used to convert text into numerical data. It vectorizes the text based on the frequency of each word in the entire text. This means that every word in each text in the dataset is transformed into a vector. CountVectorizer represents each unique word in a column of the matrix, and the value in each cell denotes the frequency of the respective word in the corresponding text.

In the study, CountVectorizer was used for feature extraction from fake news text. When feature extraction is performed using CountVectorizer, terms are arranged based on their frequency. The top 5000 features, sorted by term frequency, were selected from the extracted features. Additionally, various stylometric features were extracted from the text and headline contents. Stylometry is a linguistic subfield that involves the statistical analysis of linguistically extracted features from text (Zheng et al., 2006). These features are commonly used in natural language processing, especially in text classification (Lagutina et al., 2019). Stylometry focuses on examining the linguistic features of content and is often employed to authenticate the originality or source of content based on linguistic processing style. Linguistic features help distinguish deceptive essence used to camouflage the author's unique composition style. With the assistance of stylometry, models can be trained to distinguish whether news articles are fake or real based on features extracted from the content of the written articles.

After a comprehensive examination of the news articles in the dataset, notable stylometric features were identified. A total of 26 stylometric features are listed in Table 2, with 14 related to text information, 11 related to title information, and 1 related to both title and text information in fake news articles.

**Table 2.** Stylometric features extracted on fake news texts

Feature	Text	Title
Length	✓	✓
Punctuation Count	✓	✓
Numeric Count	✓	✓
Http Count	✓	
Non Printable	✓	✓
Sent Count	✓	✓
Word Count	✓	✓
Char Count	✓	✓
Mentions Count	✓	
Caps Words Count	✓	
Avg Word Length	✓	✓
Propn Count	✓	✓
Noun Count	✓	✓
Punctuation Per	✓	✓
Title Text Ratio		✓

## 2.4. Classification algorithms used in the study

The article uses various machine learning methods to accomplish the task of classifying and predicting fake news. The algorithms used are the result of a careful process that forms the methodology of the study. When determining the algorithms, the characteristics of the dataset were analyzed, literature review was conducted, and the problem context was carefully evaluated. In the initial stage, the size, distribution, feature type, and relationships of the dataset were carefully examined. Then, machine learning algorithms used in the literature were studied to understand the type of results these algorithms provide. Factors such as the performance, complexity, and interpretability of the examined algorithms in the literature were taken into account. The best algorithms serving the purposes of the study have been identified. Each of these algorithms contributes to the comprehensive analysis and identification of fake news articles within the dataset, bringing unique strengths and characteristics to the classification task. Machine learning methods used in the article for fake news classification and prediction are:

### 2.4.1. Random forest classifier (RFC)

The RFC algorithm, one of the machine learning algorithms, is a supervised algorithm that often yields excellent performance results and is easy to use. RFC is commonly used for both classification and regression tasks (Breiman., 2001). It aims to achieve more accurate and stable predictions by using multiple decision trees. Since it consists of a collection of decision trees, it generally performs better than single-tree classifications. The RFC algorithm considers the majority votes by looking at the predictions of multiple decision trees rather than relying on a single decision tree, as it contains a large number of decision trees in its subsets. It predicts the final output by examining the final votes, thereby achieving high accuracy and mitigating overfitting issues.

### 2.4.2. Logistic regression (LR)

LR, one of the supervised machine learning algorithms, is popularly used today. Its general purpose is to model the relationship between two or more dependent variables and independent variables in order to predict the outcome in the classification process. In LR, the dependent variable is categorical and measures its relationship with the independent variable (Choudhary & Jain., 2017).

### 2.4.3. Multinomial naive bayes (MNB)

MNB is a widely used and computationally efficient machine learning algorithm, primarily employed in text classification problems, especially in Natural Language Processing (NLP). It is based on Bayes' theorem and is designed to determine the frequency of a term, i.e., how often a term appears in a text (Mc- Callum et al., 1998). The specificity of a term in a document is what makes that term significant in the classification phase of the MNB model. In MNB, term frequency is crucial, so attention should be paid to the relationship between

high-frequency terms and the text. Terms with high frequency but no semantic value in the text need preprocessing.

#### 2.4.4. Decision tree (DT)

Tree-based algorithms are one of the most frequently used algorithms. It can be used to solve many problems such as classification and regression. DT is an algorithm used to determine the class of data whose class is unknown, based on the class of data. In DT, the node attribute represents the branch decision rules and the leaf represents the result. The top node is called the root node. The classification process takes place in the leaves. The results are stored in the branches of the tree. When classifying a sample, it is classified by starting from the root node and progressing down the tree branch by testing it according to the attributes in the nodes.

#### 2.4.5. K-nearest neighbours (KNN)

The KNN algorithm is a machine learning algorithm that is frequently used in classification and regression problems. It focuses on keeping similar structures closest to each other. The KNN algorithm tries to predict the correct class by finding the similarity according to the distance between the training points and the data to be tested. K is the number of neighbors. It works by taking the closest K data as a reference while determining the class of new data.

### 2.5. Genetic algorithm based feature selection

To train a model created using machine learning algorithms and improve its learning, a large amount of data is collected. The degree to which the collected data is used in model training is a critical aspect. Some data may be useful, while others may be unnecessary. Unnecessary data can slow down model training, negatively impact model performance, and lead to incorrect results. The purpose of feature selection for machine learning algorithms is to retain useful data while removing unnecessary data. The primary goal is to create a subset of features from the existing features in the data without making any changes to the data itself. In this context, we aim to select the best feature subset using GA from the feature set extracted from English and German news texts.

GA is inspired by the idea of evolutionary mechanisms in nature, where the fittest survive. First introduced by John Holland in 1975, this theory draws inspiration from Darwin's theory of natural selection (Hayes-Roth., 1975). An intuitive algorithm, GA brings evolutionary processes into the realm of computer-based problem-solving. Following the logic of biological steps, it adheres to the principle of optimization. The general-purpose of GA is to find the most useful and suitable solution from within a problem-solving set. GAs mimic biological processes, such as selection, crossover, and mutation, to produce high-quality solutions. When examining the fundamental terminology of GAs, terms like Chromosome, Population, Fitness Function, Selection, Crossover, and Mutation are encountered.

- **Chromosome:** A collection of genes that are passed down from parents to offspring and to subsequent generations. A chromosome can be exemplified as a sequence of bits, with each bit representing a gene. It represents a candidate solution in GA.
- **Population:** A group of chromosomes. In GA, the population contains a series of possible solutions.
- **Fitness Function:** The stage where fitness is evaluated in each iteration. It determines the most fit individuals.
- **Selection:** The process of determining which individuals from the population will be selected and passed on to future generations based on their fitness values.
- **Crossover:** The stage where genetic exchange occurs between two selected individuals to create new offspring.
- **Mutation:** A random change process within a chromosome to produce better-optimized solutions.

The purpose of the GA used in our study is to determine the best subset of features from the features we generate for machine learning models and to better predict the target variable. Setting a user-defined parameter is important before predicting the target variable using GA. The optimal parameters were updated based on the success of experimental results. Among these parameters, the mutation rate was set to 0.01, and the population size and the number of iterations were both set to 100. The flowchart of the GA used in our study is shown in Figure 2.

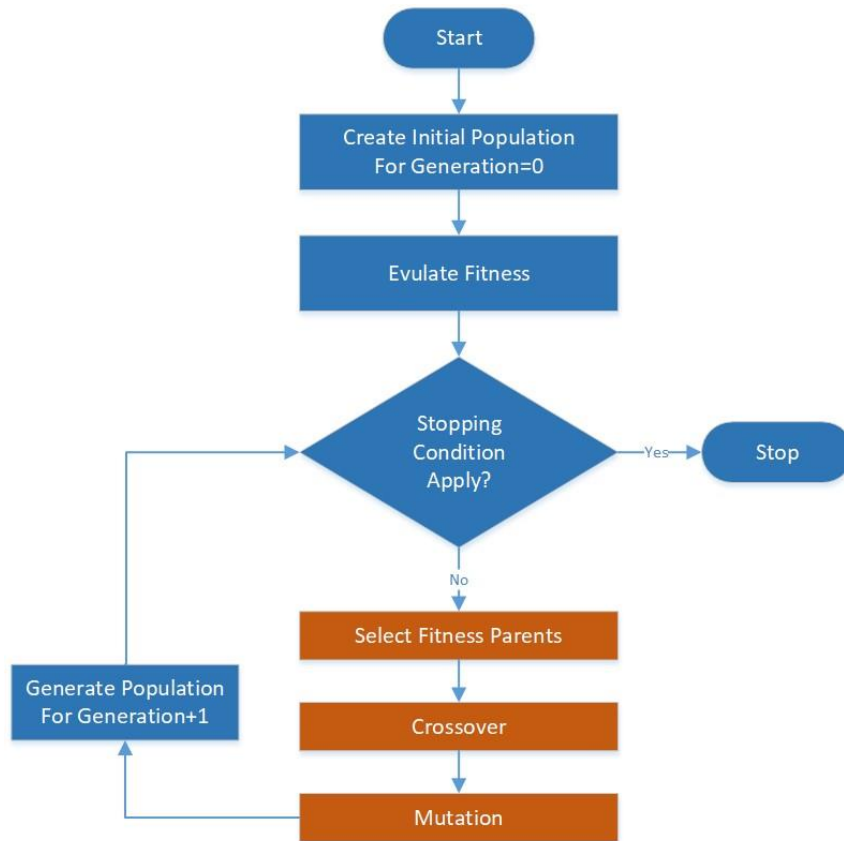


Figure 2. Basic flow chart of GA.

### 2.6. Performance metrics

The metrics used to determine the performance of machine learning models are given in Table 3.

Table 3. Performance Metrics

Metric	Mathematical Notation
Accuracy (ACC)	$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP}$ <p>TP = True Positive, TN = True Negative, FN = False Negative, FP = False Positive.</p>
Precision (P)	$P = \frac{TP}{TP + FP}$
Recall (R)	$R = \frac{TP}{TP + FN}$
F1-Score (F1)	$F1 = 2 * \frac{P * R}{P + R}$

### 3. Results

To detect and classify fake news, RFC, LR, MNB, DT, and KNN machine learning algorithms were used. In the classification process, 1264 English training data were used for training purposes. During testing, 612 English and 586 German news articles were used. Python's scikit-learn library was used for the classification process and performance evaluation. The experiments were conducted on a computer with an i7-11800H @2.30GHz processor, an RTX 3070 8GB graphics card, and 16GB of primary memory hardware. The



development was carried out in Python 3.9, using the Jupyter Notebook development environment. The German data was translated into English for cross-lingual fake news detection using the Google API.

The goal was to find the best classification result using different machine learning methods. Stylometric features extracted from the text and title in the dataset were combined with CountVectorizer features with different maximum feature values and passed through a genetic algorithm (GA). In this way, the GA algorithm, inspired by the idea of evolution in nature, was used to select the best features. Feature sets of different sizes were classified five times by each machine learning algorithm. The experimental results showed that the best result was achieved with a maximum feature limit of 5000.

In the comparison of performance values obtained after the classification process, accuracy, Macro-F1 score, and class-specific F1 score were used as performance criteria. The results of the performance criteria for the classification process are presented in Table 4 for English news articles and in Table 5 for German news articles.

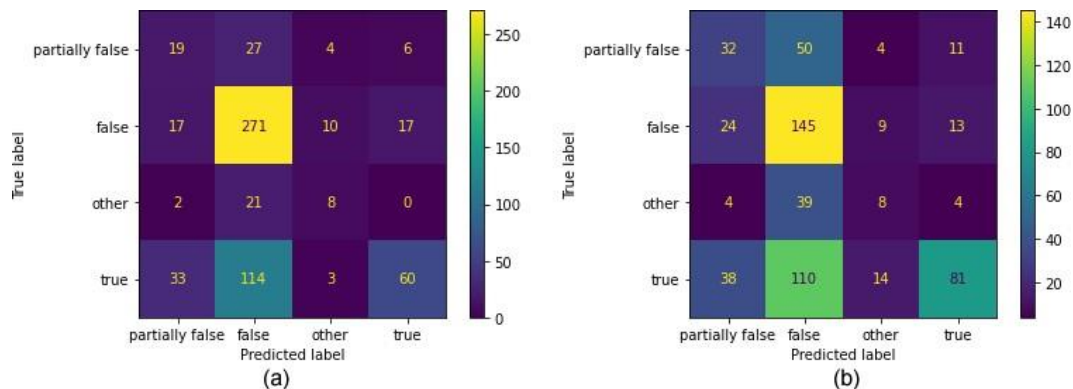
**Table 4.** F1 score, Accuracy and Macro-F1 score evaluation results by class for monolingual English news articles

Method	True Class F1Score	False Class F1Score	Partially False Class F1Score	Other Class F1Score	Accuracy	Macro-F1
RFC	0.11	0.70	0.18	0.00	0.5228	0.2495
KNN	0.20	0.60	0.13	0.21	0.4019	0.2847
DT	0.38	0.69	0.27	0.18	0.5228	0.3802
LR	0.40	0.72	0.25	0.23	0.5637	0.4016
<b>MNB</b>	0.41	0.72	0.30	0.29	0.5849	0.4297

**Table 5.** F1 score, Accuracy and Macro-F1 score evaluation results by class for cross-lingual English and German news articles

Method	True Class F1Score	False Class F1Score	Partially False Class F1Score	Other Class F1Score	Accuracy	Macro-F1
RFC	0.09	0.53	0.16	0.00	0.3515	0.1933
KNN	0.16	0.45	0.25	0.19	0.3122	0.2650
MNB	0.17	0.50	0.24	0.25	0.3412	0.2907
DT	0.42	0.50	0.24	0.30	0.4112	0.3646
<b>LR</b>	0.46	0.54	0.33	0.18	0.4539	0.3770

When Table 4 is examined, the most successful result for monolingual English news articles according to the Macro-F1 score is 42.97% with the MNB algorithm. When Table 5 is examined, according to the Macro-F1 score, the most successful result for cross-lingual English and German news articles was obtained with the LR algorithm, with a value of 37.70%. In light of these results, the confusion matrix obtained with the MNB algorithm for a monolingual as a result of the classification is indicated in Figure 3a the confusion matrix obtained with the LR algorithm as a result of the cross-lingual classification is shown in Figure 3b.



**Figure 3.** (a) Confusion matrix after classification of English news articles with MNB algorithm. (b) Confusion matrix of German and English news articles after classification with LR algorithm.

The robustness and performance of the system design indicated in Figure 1 have also been demonstrated by experiments on the "ISOT" dataset, created by Victoria University, in addition to the "A Multilingual dataset for Fake News Detection". The same steps of the system design indicated in Figure 1 were applied to the ISOT dataset, which consists of 23,481 fake news and 21,417 real news (ISOT, 2022). Based on the results we obtained, the classification process was performed using LR, MNB, and DT algorithms, which provided the best performance. In contrast to the previous dataset, the ISOT dataset includes both text and class attributes, so only 7 Stylometric features were extracted from the text. These Stylometric features include Length, Number of Https, Word Count, Character Count, Average Word Length, Number of Proper Nouns, and Number of Nouns. The number of CountVectorizer features is limited to 1000. As a result of the classification with 1007 features, the results specified in Table 6 were obtained. Within the framework of the methodology we used in our study, F1 Scores of 99.48% and 99.62% were achieved with LR and DT algorithms, respectively.

**Table 6.** ISOT dataset classification results

Method	Precision	Accuracy	Macro-F1
MNB	0.9601	0.9600	0.9600
LR	0.9948	0.9948	0.9948
<b>DT</b>	<b>0.9962</b>	<b>0.9962</b>	<b>0.9962</b>

#### 4. Discussion

In recent years, there has been a growing body of research on fake news detection. When examining these studies, it becomes evident that people are increasingly exposed to fake news, and they often struggle to identify them. The rising number of such news articles is seen to significantly impact economic and social life. In this context, the presence of automatic detection systems becomes crucial.

This study addresses the classification problem of single-language and cross-language fake news detection. Machine learning algorithms, including RFC, LR, MNB, DT, and KNN, were employed for the detection and classification of fake news. The classification process utilized 1264 English training data, 684 English test data, and 586 German test data. The German data was translated into English using Google API. Feature extraction was performed on the text and headlines of the dataset using CountVectorizer and Stylometric features. The obtained features were processed through GA (Genetic Algorithm) to select the best features for classification. As a result, for the single-language case, MNB achieved an accuracy of 58.49% and a macro F1 score of 42.97%, while for cross-language detection, LR achieved an accuracy of 45.39% and a macro F1 score of 37.70%. The ISOT dataset was also used to validate the methodology outlined in the system design, and successful results were obtained.

Comparative studies using the same dataset are presented in Tables 7 and 8.

**Table 7.** English: Performance comparison of similar studies in the literature according to the macro-F1 score

Author	Method	True	False	Partially False	Other	Accuracy	Macro-F1
(Tran et al., 2022)	T5-3B	-	-	-	-	-	0.3954
(Taboubi et al., 2022 )	BERT	0.383	0.721	0.173	0.080	0.5470	0.3390
(Martinez-Rico et al., 2022)	Longformer	-	-	-	-	0.5410	0.3324
(Truică et al., 2022)	BiLSTM	0.328	0.744	0.185	0.035	0.5310	0.3230
(Pritzkau et al., 2022)	RoBERTa & Longformer	0.339	0.707	0.184	0.000	0.5131	0.3076
(Alhabiti et al., 2022)	Bert-Large-Cased	-	-	-	-	0.5260	0.3050
(LekshmiAmmal et al., 2022)	Transformer based	-	-	-	-	-	0.2980
(Kumar et al., 2022)	RoBERT	0.276	0.619	0.137	0.155	0.4420	0.2960
(Porto-Capetillo et al., 2022)	BERT & Stylometric	-	-	-	-	0.5458	0.2951
(Arif et al., 2022)	RoBERTa	-	-	-	-	0.4700	0.2860
(La Barbera et al., 2022)	BERT	0.207	0.694	0.140	0.062	0.4720	0.2750
(Blanc et al., 2022)	BERT	0.126	0.661	0.202	0.028	0.4444	0.2549
(Ludwig et al., 2022)	SVM	0.141	0.670	0.169	0.022	0.4620	0.2510
(Schütz et al., 2022)	XLMRoBERTa	0.280	0.146	0.153	0.392	0.1993	0.1548
<b>Our study</b>	<b>MNB</b>	<b>0.410</b>	<b>0.720</b>	<b>0.300</b>	<b>0.290</b>	<b>0.5849</b>	<b>0.4297</b>

When examining studies conducted on English news using the same dataset, Tran et al. (2022) achieved the best result with a 39.54% F1 score. Comparing our results, it is observed that our study obtained a 3.43% higher macro F1 score compared to this study. Similarly, when studies conducted on German news using the same dataset were examined, Tran et al. (2022) achieved the best result with a 30.06% F1 score. Comparing our results, it is observed that our study obtained a 7.64% higher macro F1 score compared to this study.

**Table 8.** German: Performance comparison of similar studies in the literature according to the macro-F1 score

Author	Method	True	False	Partially False	Other	Accuracy	Macro-F1
(Tran et al., 2022)	XLM-RLarge	-	-	-	-	-	0.3006
(LekshmiAmmal et al., 2022)	Transformer based	-	-	-	-	-	0.2245
(Schütz et al., 2022)	XLMRoBERTa	0.378	0.168	0.151	0.808	0.2542	0.1946
(Truică et al., 2022)	BiLSTM+XML	0.098	0.452	0.193	0.000	0.2832	0.1859
(Arif et al., 2022)	BiLSTM	-	-	-	-	0.2800	0.1721
<b>Our study</b>	<b>LR</b>	<b>0.460</b>	<b>0.540</b>	<b>0.330</b>	<b>0.180</b>	<b>0.4539</b>	<b>0.3770</b>

## 5. Conclusions

Fake news detection is a challenging task in the field of text classification. Various researchers have made numerous attempts in this regard. This study presents a comparative analysis of news classification into four different classes: true, false, partially false, and other, using five different machine learning algorithms. CountVectorizer was combined with feature extraction and stylometric feature extraction for effective feature extraction. Genetic algorithms were used to select effective features. The classification results of the employed machine learning methods are presented comparatively. The study was compared with other studies using the same dataset, and successful results were achieved. The same methodology was also tested on the ISOT dataset, confirming the robustness of our approach.

In the future, data augmentation on the dataset and the use of different meta-heuristic algorithms and deep learning algorithms are planned to achieve better results.

## Acknowledgement

We sincerely thank the referees and journal editors for their careful review and valuable contributions.

## Author contribution

All authors had the same contribution. All authors read and approved the final manuscript.

## Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

## Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- Aborisade, O., & Anwar, M. (2018). Classification for authorship of tweets by comparing logistic regression and naive bayes classifiers. *2018 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI)*, 269–276. <https://doi.org/10.1109/IRI.2018.00049>.
- Ahmad, I., Yousaf, M., Yousaf, S., & Ahmad, M. O. (2020). Fake news detection using machine learning ensemble methods. *Complexity*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8885861>.

- Ahmed, H., Traore, I., & Saad, S. (2017). Detection of online fake news using n-gram analysis and machine learning techniques. *Intelligent, Secure, and Dependable Systems in Distributed and Cloud Environments: First International Conference, ISDDC 2017, Vancouver, BC, Canada, October 26-28, 2017, Proceedings 1*, 127–138. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69155-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69155-8_9).
- Alhabiti, S., Alsalka, M. A., & Atwell, E. (2022). SCUoL at CheckThat! 2022: fake news detection using transformer-based models. *CEUR Workshop Proceedings*, 3180, 428–433.
- Arif, M., Tonja, A. L., Ameer, I., Kolesnikova, O., Gelbukh, A., Sidorov, G., & Meque, A. G. M. (2022). CIC at CheckThat! 2022: multi-class and cross-lingual fake news detection. *Working Notes of CLEF*.
- Blanc, O., Pritzkau, A., Schade, U., & Geierhos, M. (2022). CODE at CheckThat! 2022: multi-class fake news detection of news articles with BERT. *Working Notes of CLEF*.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>.
- Choudhary, N., & Jain, A. K. (2017). Towards filtering of SMS spam messages using machine learning based technique. *Advanced Informatics for Computing Research: First International Conference, ICAICR 2017, Jalandhar, India, March 17--18, 2017, Revised Selected Papers*, 18–30. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5780-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5780-9_2).
- DiFranzo, D., & Gloria-Garcia, K. (2017). Filter bubbles and fake news. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 23(3), 32–35. <https://doi.org/10.1145/3055153>.
- Fayaz, M., Khan, A., Bilal, M., & Khan, S. U. (2022). Machine learning for fake news classification with optimal feature selection. *Soft Computing*, 26(16), 7763–7771. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06773-x>.
- Ghayoomi, M., & Mousavian, M. (2022). Deep transfer learning for COVID-19 fake news detection in Persian. *Expert Systems*, 39(8), e13008. <https://doi.org/10.1111/exsy.13008>.
- Hayes-Roth, F. (1975). Review of "Adaptation in Natural and Artificial Systems by John H. Holland", The U. of Michigan Press, 1975. *ACM SIGART Bulletin*, 53, 15–15.
- ISOT Fake News Dataset. (2023, February 10). <https://onlineacademiccommunity.uvic.ca/isot/2022/11/27/fake-news-detection-datasets/>
- Jain, A., & Kasbe, A. (2018). Fake News Detection. *2018 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SCEECS.2018.8546944>.
- Jose, X., Kumar, S. D. M., & Chandran, P. (2021). Characterization, Classification and Detection of Fake News in Online Social Media Networks. *2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, 759–765. <https://doi.org/10.1109/MysuruCon52639.2021.9641517>.
- Kumar, S., Kumar, G., & Singh, S. R. (2022). TextMinor at CheckThat! 2022: fake news article detection using RoBERT. *Working Notes of CLEF*.
- La Barbera, D., Roitero, K., Mackenzie, J., Damiano, S., Demartini, G., & Mizzaro, S. (2022). BUM at CheckThat! 2022: a composite deep learning approach to fake news detection using evidence retrieval. *Working Notes of CLEF*.
- Lagutina, K., Lagutina, N., Boychuk, E., Vorontsova, I., Shliakhtina, E., Belyaeva, O., Paramonov, I., & Demidov, P. G. (2019). A survey on stylometric text features. *2019 25th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, 184–195. <https://doi.org/10.23919/FRUCT48121.2019.8981504>.
- LekshmiAmmal, H. R., & Madasamy, A. K. (2022). *NITK-IT NLP at CheckThat! 2022: Window based approach for Fake News Detection using transformers*.
- Lima, G. B., Chaves, T. de M., Freitas, W. W. L., & de Souza, R. M. (2022). Statistical learning from Brazilian fake news. *Expert Systems*, e13171. <https://doi.org/10.1111/exsy.13171>.
- Ludwig, A., Felser, J., Xi, J., Labudde, D., & Spranger, M. (2022). FoSIL at CheckThat! 2022: using human behaviour-based optimization for text classification. *Working Notes of CLEF*.
- Martinez-Rico, J. R., Martinez-Romo, J., & Araujo, L. (2022). NLP & IRUNED at CheckThat! 2022: ensemble of classifiers for fake news detection. *Working Notes of CLEF*.

- McCallum, A., Nigam, K., & Others. (1998). A comparison of event models for naive bayes text classification. *AAAI-98 Workshop on Learning for Text Categorization*, 752, 41–48.
- Nasir, J. A., Khan, O. S., & Varlamis, I. (2021). Fake news detection: A hybrid CNN-RNN based deep learning approach. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(1), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2020.100007>.
- Porto-Capetillo, C., Lecuona-Gómez, D., Gómez-Adorno, H., Arroyo-Fernández, I., & Neri-Chávez, J. (2022). *HBDCI at CheckThat! 2022: Fake News Detection Using a Combination of Stylometric Features and Deep Learning*.
- Pritzkau, A., Blanc, O., Geierhos, M., & Schade, U. (2022). NLytics at CheckThat! 2022: hierarchical multi-class fake news detection of news articles exploiting the topic structure. *Working Notes of CLEF*.
- Schütz, M., Böck, J., Andresel, M., Kirchkopf, A., Liakhovets, D., Slijepčević, D., & Schindler, A. (2022). AIT FHSTP at CheckThat! 2022: cross-lingual fake news detection with a large pre-trained transformer. *Working Notes of CLEF*.
- Shahi, G. K., Struß, J. M., Mandl, T., Köhler, J., Wiegand, M., & Siegel, M. (2022, May 16). *CT-FAN: A Multilingual dataset for Fake News Detection*. Zenodo. <https://zenodo.org/records/6555293>
- Taboubi, B., Nessir, M. A. B., & Haddad, H. (2022). iCompass at CheckThat! 2022: combining deep language models for fake news detection. *Working Notes of CLEF*.
- Tran, H. N., & Kruschwitz, U. (2022). ur-iw-hnt at CheckThat! 2022: cross-lingual text summarization for fake news detection. *Working Notes of CLEF*.
- Truică, C.-O., Apostol, E.-S., & Paschke, A. (2022). Awakened at CheckThat! 2022: Fake news detection using BiLSTM and sentence transformer. *Working Notes of CLEF*.
- Vogel, I., & Jiang, P. (2019). Fake news detection with the new German dataset “GermanFakeNC.” *Digital Libraries for Open Knowledge: 23rd International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, TPDL 2019, Oslo, Norway, September 9-12, 2019, Proceedings 23*, 288–295. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30760-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30760-8_25).
- Zhang, D., Xu, J., Zadorozhny, V., & Grant, J. (2022). Fake news detection based on statement conflict. *Journal of Intelligent Information Systems*, 59(1), 173–192. <https://doi.org/10.1007/s10844-021-00678-1>.
- Zheng, R., Li, J., Chen, H., & Huang, Z. (2006). A framework for authorship identification of online messages: Writing-style features and classification techniques. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 378–393. <https://doi.org/10.1002/asi.20316>.

## Titreşim ve gürültü verileri ile soğutma sistemindeki arızaların teşhisi

*Diagnosing faults in the refrigeration system with vibration and noise data*

Zafer CİNGİZ\* 

Düzce Üniversitesi, Düzce MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 81100, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 14.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 06.05.2024

### Öz

Basınç, sıcaklık, tüketilen enerji, titreşim ve gürültü gibi parametrelerde bir değişiklik, soğutma sisteminde bir sorun olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada soğutma sistemi ekipmanlarından kompresörde tespit edilen titreşim ve gürültü ölçüm değerleri ile arıza teşhisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Beş farklı arıza durumu geliştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık ve basınç verileri ile titreşim ve gürültü değerleri bilgisayara (PC) aktarılmıştır. Sistemin normal ile arızalı durumlarındaki titreşim ve gürültü değerleri arasındaki farklardan arıza tespitleri yapılmıştır. Sistemdeki arıza türlerine bağlı olarak gürültü ve titreşim değerlerinin değiştiği görülmüştür. Ortalama titreşim değerleri, normal çalışma durumunda 0,1471 m/s<sup>2</sup>, kirli kondenserde 0,2373 m/s<sup>2</sup>, tıkalı genleşme valfinden 0,2209 m/s<sup>2</sup>, aşırı soğutucu akışkan şarjında 0,2129 m/s<sup>2</sup>, eksik soğutucu akışkan şarjında 0,1962 m/s<sup>2</sup> ve kompresör arızasında 0,2227 m/s<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Gürültü değerlerinde, normal çalışmada 68,1 dB, kirli kondenserde 93,49 dB, tıkalı genleşme valfinden 93,81 dB, aşırı soğutucu akışkan şarjında 92,42 dB, eksik soğutucu akışkan şarjında 92,14 dB ve kompresör arızasında 94,5 dB olarak belirlenmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerinin birbirine yakın değerlerden oluşmasına rağmen arızanın türü hakkında fikir verebileceği görülmüştür. Bu değerler, normal ve arızalı çalışma durumları için sadece titreşim ve gürültü ölçüm değerleri ile arıza tespiti yapılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Arıza teşhisi, Gürültü, Soğutma sistemi, Titreşim

### Abstract

A change in parameters such as pressure, temperature, consumed energy, vibration and noise indicates a problem in the refrigeration system. In this study, the relationship between vibration and noise measurement values detected in the compressor, one of the refrigeration system equipment, and fault diagnosis was examined. Five different fault cases have been developed. The measured temperature and pressure data, vibration and noise values were transferred to the computer (PC). Fault detection was made from the differences between vibration and noise values in normal and faulty states of the system. It has been observed that noise and vibration values vary depending on the types of faults in the system. Average vibration values are 0,1471 m/s<sup>2</sup> in normal operating condition, 0,2373 m/s<sup>2</sup> in dirty condenser, 0,2209 m/s<sup>2</sup> in clogged expansion valve, 0,2129 m/s<sup>2</sup> in excess refrigerant charge, 0,2129 m/s<sup>2</sup> in incomplete refrigerant charge. It was determined as 0,1962 m/s<sup>2</sup> and 0,2227 m/s<sup>2</sup> in case of compressor failure. In noise values, 68,1 dB in operating condition, 93,49 dB in dirty condenser, 93,81 dB in clogged expansion valve, 92,42 dB in excessive refrigerant charge, 92,14 dB in incomplete refrigerant charge and 94,5 dB in compressor failure determined. It has been observed that although noise and vibration values are close to each other, they can give an idea about the type of fault. These values showed that fault detection can be made only with vibration and noise measurement values for normal and faulty operating situations.

**Keywords:** Fault diagnosis, Noisy, Refrigeration systems, Vibration

\*Zafer CİNGİZ; zafercingiz@duzce.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Soğutma sistemlerinin çevresel etkisi, sistemler daha yüksek verimlilikte çalıştırılarak ve soğutucu akışkan sızıntısı en aza indirilerek giderilebilir. Soğutucu akışkan kaybı, verimsiz sistem çalışması, sistemde oluşan arızaların yol açtığı olumsuz durumlar, arızaların teşhisinin ve tespitinde geç kalınması, artan güç tüketimi ve sera gazı emisyonları ile daha yüksek bakım maliyetleri yoluyla küresel ısınmaya hem doğrudan hem de dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Soğutma sisteminin normal çalışması ya da çeşitli nedenlerle arızaların oluşması neticesinde kompresörler tarafından titreşim ve gürültü ortaya çıkmaktadır. Bu titreşim ve gürültü, ortaya çıkışından başlayarak kompresör dış muhafazasına iletilerek, sonrasında da kompresörün yer aldığı ortam veya bağlı bulunduğu sistem ekipmanları yoluyla çevreye geçmektedir. Hamilton yaptığı çalışmada, kompresörlerde ortaya çıkan titreşim ve gürültü sorunlarını değerlendirmiştir. İlk olarak soğutma sistemlerinde kullanılan kompresörler gruplandırılarak ortaya çıkan gürültü ve titreşim kaynakları ele alınarak, bunların çevreye iletim yolları ifade edilmiştir. Gürültü ölçümü yapılmasının kompresörlerdeki önemi ele alınmıştır. Kompresörde ortaya çıkan titreşim ve gürültüye dış muhafazasının etkileri ele alınmıştır (Hamilton, 1988). Buzdolapları gibi ev eşyalarında ortaya çıkan titreşim ve gürültü istenmeyen bir durumdur. Titreşim ve gürültünün soğutma sistemlerindeki kaynağı genellikle sistemde yer alan ekipmanların çalışması ile soğutucu akışkanın sistemde dolaşımından oluşmaktadır. Akışkan kaynaklı titreşimler borularda soğutma sistemlerinin tasarımı sırasında bir sorun teşkil etmektedir. Gürültü ve titreşimlerin giderilmesi ile soğutma sistemlerinde oluşan bu rahatsızlık giderilecektir (Celik & Nsofor, 2011). Sessiz bir odada bulunan buzdolabındaki gürültü seviyeleri, ölçüm yapıldığında sürekli azaldığının görülmesine rağmen, oluşan şikayetler ve belirtiler devam etmektedir. Ses kalitesi, tüketici duyarlılığı ve buzdolaplarının kusurlarının dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu nedenle, gerçek yaşam ortamlarında oluşan buzdolabı gürültüsünün değerlendirilmesi yapılmalıdır. Gürültü seviyesi, saate, süreye, arka plan gürültüsüne ve frekans özelliklerine göre değişiklik göstermektedir (Jeon vd., 2007).

Buzdolapları ve klimalar, kompresör gibi gürültü ve titreşim oluşturan elemanları bulduran sistemlerdir. Kompresör çalışmaya başladığı zaman, kompresöre bağlı olan borularda titreşim ve gürültü ortaya çıkmaktadır. Boru titreşimi ve gürültüsüne temel olarak iki nedeni bulunmaktadır. Bunlar, mekanik titreşim ile kompresör içindeki soğutucu akışkandan oluşan titreşimlerdir (Oh vd., 2019). Bu çalışmada, buhar sıkıştırma soğutma çevrimindeki arızaları tespit etmek için p-h diyagramından yararlanılmıştır. Genel bir teşhis teorisi uygulamak için gereken bilgiler ile p-h diyagramındaki sınırlı bilgiler arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak için; kompresör arızası, kompresör subap kaçakları, tıkalı filter-kurutucu, tıkalı genleşme valfi, eksik soğutucu akışkan şarjı, fazla soğutucu akışkan şarjı, kirli condenser ve evaporator fan arızası olmak üzere sekiz yapay arıza bulduran bir deney düzeneği incelenmiştir. P-h diyagramlarında çevrim ile normal ve hatalı durumlar arasındaki farkın kolaylıkla gözlemlenebildiği görülmüştür (Kocyigit vd., 2014). Buhar sıkıştırma sistemlerinde oluşan arızalardan dolayı sistemde performans düşüşü görülmektedir. Buna bağlı olarak enerji tüketiminde önemli artışlar ortaya çıkmaktadır. Soğutma sistemleri, yüksek verimlilikte çalıştırılması ve soğutucu akışkan kaçaklarının azaltılması ile çevresel etkisi en aza indirilebilir. Soğutucu akışkan kaçakları, sistemin verimsiz çalışması, güç tüketiminin artması, sera gazı emisyonu ve bakım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle küresel ısınmaya hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumsuz etki ortaya çıkartmaktadır. Mevcut sensörlü kaçak tespit yöntemleri, kademeli olarak ilerleyen soğutucu akışkan kaçaklarını tespit edememekte ve sensörlerin konumlandırma sorunu nedeni ile sınırlı olmaktadır. Bu dezavantajların üstesinden gelinmesi için kaçak tespiti ve arıza teşhisi için gerçek anlamda bir performans izleme sistemine ihtiyaç bulunmaktadır (Tassou & Grace, 2005).

Soğutma gruplarında otomatik arıza tespiti ve teşhisi (AFDD) uygulamasının faydaları arasında daha düşük maliyetli onarımlar, zamanında bakım ve daha kısa süreli arızalar yer almaktadır. Bu çalışma ile, ilk sensör maliyetinden tasarruf edilirken aynı zamanda arıza tespit ve teşhis performansını geliştirmede sensörlerin kullanılmasına yardımcı olmak için bilgi tabanlı filtre ile genetik algoritma tabanlı özellik seçim teknikleri kullanılmıştır (Han vd., 2011).

Klima ünitelerinin arıza teşhisi ile bir ya da birden fazla sayıda arızaları tespit etmek ve artan enerji tüketimi bakımından ortaya çıkan etkilerini ölçmek önemli bir yaklaşımdır. Bu yazıda, referans 120 kW gücünde hava soğutmalı klima sistemi için geliştirilmiş bir termoeconomik teşhis önerilmiştir. Normal ve arızalı koşullar altında ölçülen termodinamik verileri değerlendirmek için bir simülatör kullanılmıştır. Kondenserde ve

evaporatörde oluşan tıkanma, soğutucu akışkanın düşük şarjı ve kompresör valfinden oluşan akışkan sızıntısı incelenmiştir. Sonuçlar, hem ağır hem de hafif arızalar göz önüne alındığında çalışmanın yeterince güvenilir olduğunu göstermiştir (Piacentino & Talamo, 2013). Son yirmi yılda daha verimli sistemler tasarlamak için büyük çabalar verilirken, yanlış/yetersiz sistem bakımı sorununa daha az dikkat edilmiştir. Kapsamlı araştırmalar, Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemlerine entegre edilmiş soğutma ünitelerinin genellikle bakımlarının yetersiz olduğunu ve ortaya çıkan arızalar nedeniyle performanslarında önemli ölçüde düşüşler olduğunu ortaya koymuştur (Breuker, 1998). Sistemin çalışmasını durdurmamaya ya da kontrol/koruma sistemlerinin müdahale etmediği, sadece sistem performansında düşüşlerin olduğu durumlar arıza olarak ifade edilmektedir. Buhar sıkıştırılmalı klima sisteminde birden fazla arızayı tespit ve teşhis etmek için bir metodolojinin temelini oluşturan özelliklerin ve sanal sensörlerin geliştirilmesini ve değerlendirilmesini açıklamaktadır. Özellikler, sistemin fiziksel olarak anlaşılmasına, maliyet değerlendirmelerine ve deneysel verilerden ve modelleme sonuçlarından elde edilen buluşsal yöntemlere dayalı olarak geliştirildi. Özelliklerin ve sanal sensörlerin geçerliliği, laboratuvar ortamında test edilen çeşitli farklı klimalardan alınan ölçümler kullanılarak değerlendirildi (Li & Braun, 2007). Genel olarak, buhar sıkıştırma soğutma çevrimleri için mevcut arıza tespit ve teşhis algoritmaları, kararlı durum modeli tabanlı algoritmalar ve sinir ağı/bulanık model yaklaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır (Halm-Owoo & Suen, 2002). Rossi ve Braun, çatı iklimlendirme sistemlerinde yaygın olarak meydana gelen beş arızayı tespit etmek ve teşhis etmek için yalnızca sıcaklık ölçümlerini kullanan bir teknik geliştirdi (Rossi & Braun, 1997). Kim ve Kim, değişken hızlı kompresör ve elektrik genleşme valfi (EEV) ile sudan suya ısı pompası sistemini test etmiştir. Ayrıca, kompresör durumuna bağlı olarak iki farklı kural tabanlı çizelge ile birlikte bir arıza teşhis ve tespit algoritması geliştirmişlerdir (Kim & Kim, 2005). Proctor, oluşan sistemsel hataları teşhis etmek için teknisyen tarafından toplanan sistem bilgilerini kullanan bir veritabanı geliştirmiştir (Proctor, 2006). Arızalar iki kategoriye ayrılabilir; birincisi, aniden meydana gelen ve sistemin çalışmasının durmasına veya konfor şartlarını karşılamamasına neden olan sert arızalar ve ikincisi performansta düşüşe neden olan ancak sistemin çalışmasına izin veren yumuşak arızalardır (Kocuyigit vd., 2014). Buhar sıkıştırılmalı soğutma ekipmanındaki yumuşak arızaları teşhis etmek için geliştirilen teknikler, Isermann tarafından açıklanan bir dizi adım olarak tanımlanabilir. İlk adım, izlenen bir sistemin performansı beklentiden saptığında bir arızanın belirtildiği arıza tespitidir. İkinci adım olan teşhis, arızaya hangi arızalı bileşenin neden olduğunu belirler. Arıza teşhisinin ardından arıza değerlendirmesi, arızanın sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirir. Son olarak, hataya nasıl tepki verileceği konusunda bir karar verilir (Isermann, 1984). Uzman bilgisi, tespit edilen hataların önemli olduğunu ve onarılması gerektiğini garanti edecek daha büyük eşikler belirlemek için kullanılabilir (Braun, 2003). Isermann, kondenser kirlenmesinin, daha küçük bir kondansere sahip olmakla eşdeğer olduğunu ve normal (arıza yok) duruma göre daha yüksek yoğunlaşma sıcaklıklarına ve basınçlarına yol açtığını vurgulamıştır (Isermann, 1984). Braun, yoğunlaştırıcı kirlenmesinin ve düşük miktardaki soğutucu akışkanın termodinamik ölçümler ile etkilerinin belirlenebileceğini göstermiştir (Braun, 2003). Bulgurcu, HVAC&R sistemlerinde bakım, arıza giderme ve servis süreci üzerine bir kitap yayınladı. Bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, etkin bir şekilde teşhis edilebilecek arızaların sayısı hala çok sınırlıdır (Bulgurcu H. , 2009). Cingiz vd. yaptıkları çalışmada, farklı soğutucu akışkanların, pistonlu sızdırmaz bir kompresörde gürültü ve titreşime etkisi incelenmiştir. Çalışma deneysel olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak farklı soğutucu akışkanların performansları (COP) için deneyler yapılmıştır. İkinci aşamada farklı soğutucu akışkanlar için titreşim ve gürültü verileri alınması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar COP değeri ile kompresör titreşim ve gürültüsünün R22 soğutucu akışkanı ve diğer alternatif soğutucu akışkanlar için farklı değerler aldığı ancak R22'ye yakın değerler elde edildiği görülmüştür (Cingiz vd., 2021). Katırcıoğlu vd. yaptıkları çalışmada, soğutma sistemlerindeki soğutucu akışkan kaçaklarının belirlenmesi için kızılötesi görüntüler ile Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yöntemini kullanmışlardır. İlk olarak, R22 soğutucu akışkan kullanılarak hazırlanan deney düzeneğinde, 7 farklı noktada, farklı zamanlarda yapay kaçaklar oluşturulmuştur. Normal çalışan sisteme ait kızılötesi görüntüsü ile yapay kaçak uygulanmış çevrim görüntüleri üzerinden daha önceden tespit edilmiş 12 alt bölgeden öznelik verileri çıkartılmıştır. Öznelik özellik verileri için bu bölgelere ait yüzey sıcaklık bilgileri incelenmiştir. Kızılötesi görüntü analizi işlemini gerçekleştirmek için elde edilen öznelik verileri Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PKBA) işlemine sokulmuştur. Kızılötesi görüntü işleme tekniği kele alınarak gerçekleştirilen PKBA ile kaçak tespit işleminin, kullanım kolaylığı, hızlı kaçak tespit durumuna avantajlı olduğunu görülmüştür (Katırcıoğlu vd., 2020). Arızayı tespit etmede başarılı olmanın yolu, iklimlendirme-soğutma sistemlerinin çalışma prensibi ve sistemde yer alan her elemanın görevini bilmektir. Soğutma sistemleri borularla birleştirilen dört ve daha fazla elemana ihtiyaç olduğundan her bir elemanda meydana gelen arızanın diğer elemanlar üzerindeki etkisini tahmin etmek gerekir. Bir elemandaki arıza sistemde yer alan diğer elemanlarda da arızalara neden olabilir. Arızaların



başarılı bir şekilde teşhisi için soğutma sisteminin termodinamik çevriminin iyi bilinmesi zorunludur (Bulgurcu & Yaşar, 2011).

Daha önceki yapılmış çalışmalara dayanarak, genel bir arıza tespit ve teşhis süreci uygulamak için gerekli bilgiler ile toplanan titreşim ve gürültü değerleri kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, önerilen yeni yöntemle hermetik pistonlu kompresörün kullanıldığı buhar sıkıştırma soğutma sisteminin arıza teşhisi yapılmıştır. Önerilen yöntemin çok daha fazla sayıda arıza tespit ve teşhisi için kullanılma durumu söz konusudur. Hatasız veya arızalı durumlar sırasında sistem parametrelerini değerlendirmek için buhar sıkıştırma soğutma sisteminin test edilmesi mevcut araştırmanın temel amacını oluşturmaktadır. Sistem çalışma koşulları izlenerek performans parametre değerleri kaydedilmiştir. Önerilen yöntemle (i) kompresör arızası, (ii) tıkalı genişleme valfi, (iii) eksik soğutucu akışkan şarjı, (iv) aşırı soğutucu akışkan şarjı ve (v) kirli kondenser arızası olmak üzere beş arıza uygulanmış ve incelenmiştir. Toplanan bu sonuçlar, yeni arıza tespit ve teşhis yönteminin geliştirilmesi için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, soğutma sistemindeki gürültü ve titreşim değerlerinin makul düzeyde olup olmadığının kontrol edilmesi ile sistemde oluşabilecek arızalar ile performansı etkileyebilecek sorunların tespit edilerek giderilmesi amaçlanmıştır.

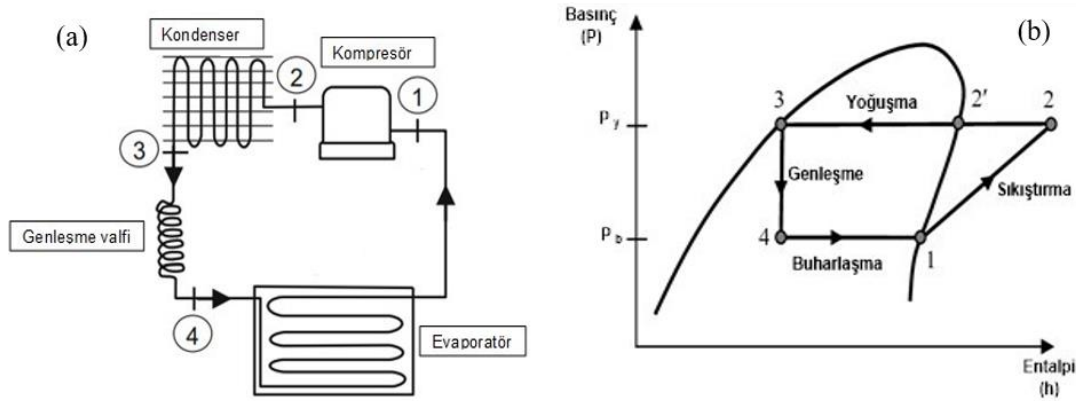
## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Materyal ve metod

#### 2.1.1. Materyal

##### 2.1.1.1. Materyal

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin büyük çoğunluğu buhar sıkıştırma soğutma sisteminin prensipleri ile çalışır. Şekil 1 (a) basit bir buhar sıkıştırma soğutma sisteminin şematik diyagramını göstermektedir. Teorik analizi dört temel süreci gösteren Şekil 1 (b) P-h diyagramı kullanılarak yapılır. İdeal çevrim, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kısımla (genleşme) vanası ve kompresör olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır.



**Şekil 1.** Buhar sıkıştırma soğutma sistemi. (a) Soğutma sistemi devre şeması ve (b) P-h diyagramı.

**Figure 1.** Vapor compression refrigeration system. (a) Refrigeration system circuit diagram and (b) P-h diagram.

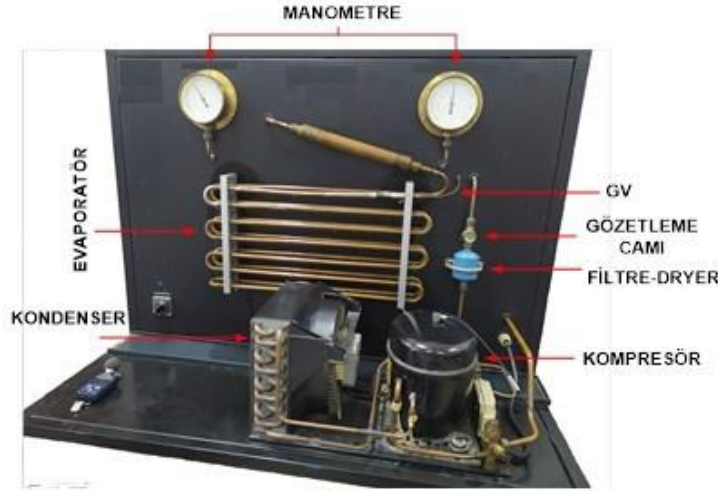
## 2.2. Deney sisteminin kurulumu

### 2.2.1. Deney sisteminin kurulumu

Deneyel sistem, buhar sıkıştırma soğutma çevrimi esasına göre dizayn edilmiştir. Deney sisteminde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Deney düzeneğine ilişkin genel görünüş Şekil 2'de verilmiştir.

Test edilecek soğutucu akışkan, sisteme şarj edilmiş, şarj öncesinde kompresör azot ile temizlenmiş ve vakumlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin stabil bir ortamda gerçekleştirilebilmesi, farklı soğutma sistemi arızalarının tespit edilebilmesi, daha gerçekçi şekilde incelenebilmesi için deneyler kapalı bir ortamda, dış sıcaklık sabit olacak bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sistemde sıcaklıkların ölçümü için, sistemin her ana

elemanının giriş ve çıkışlarına bağlanan termokupullar ile anlık olarak ölçüm yapılmıştır. Basınç ölçümleri ise, manometre ile gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları Şekil 3’de, teknik özellikleri ise Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmada, soğutma sisteminin performansını analiz etmek için sıcaklık, basınç ve elektriksel veriler ölçülmüş ancak arıza tespitinde sadece titreşim ve gürültü ölçüm değerleri kullanılmıştır. Soğutma arıza teşhis deney düzeneği Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterildiği gibi hermetik pistonlu kompresör, kanatlı tip hava soğutmalı kondenser, kılcal tip genişleme valfi ve çıplak borulu evaporatörden oluşmaktadır. Sisteme 700 g R134a soğutucu akışkanı şarj edilmiştir.

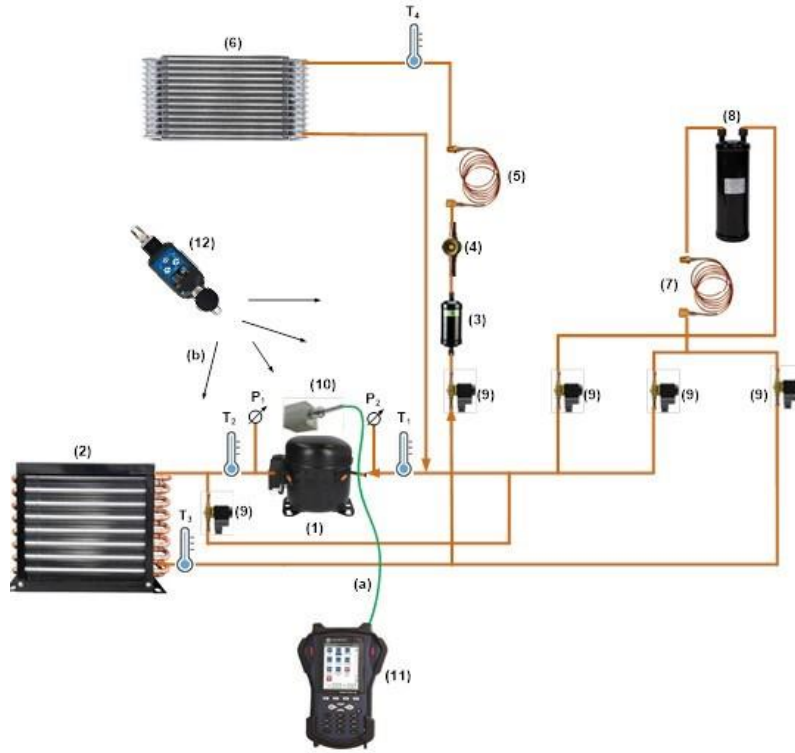


**Şekil 2.** Deney sisteminin genel görünüşü  
**Figure 2.** General view of the test systems

Şekil 2’de gösterildiği gibi, soğutma arıza teşhis düzeneği, soğutucu akışkanı kondensere ileten bir kompresöre sahiptir. Kondenserin üzerine yerleştirilmiş bir fan sayesinde hava üflenmektedir. Soğutucu akışkan filtre-kurutucu, gözetleme camı, bir genişleme elemanından geçerek evaporatöre gitmektedir. Soğutucu akışkan, emme hattından kompresöre geri dönmektedir. Sıvı soğutucu akışkan sonrasında akümülatöre girmektedir. Akümülatör, soğutma sistemine üstten (buhar halindeki soğutucu akışkan için) ve alt taraftan (sıvı soğutucu akışkan için) bağlanmaktadır.

**Tablo 1.** Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve sensörlerin özellikleri  
**Table 1.** Features of equipment and sensors used in the experimental setup

Ekipman ve Sensörler	Teknik Özellikler
Kompresör	Hermetik pistonlu, Akışkan: R134a, Güç: 288 W
Kondenser	Hava soğutmalı, max. hacimsel hava akış oranı: 300 m <sup>3</sup> /h
Evaporatör	Çıplak borulu, max. hacimsel hava akış oranı: 180 m <sup>3</sup> /h
Genleşme Valfi	Kılcal borulu, 1.5 m
Soğutma kapasitesi	463 W, R134a soğutucu akışkan
Akümülatör	Emiş hattı, Çalışma basıncı: 33 bar, Min.Max sıcaklık: -10°C-+100°C
Drayer	Kaynaklı
Gözetleme camı	Kaynaklı
Gaz Dolum Cihazı	Dijital terazili gaz şarj istasyonu, Basınç göstergesi: 0..30 Bar
Manometre	Soğutma grupları için, alttan çıkışlı direk bağlantılı, Basınç aralığı: -1..9 Bar/-1..24 Bar
Termokupl	KTTE2x0,5T 2K- K Tipi, Kesit: 2 x 0,5 mm <sup>2</sup> Tek telli, ucu kaynaklı
İvme Ölçer	Üç eksenli, Brüel&Kjaer 4527, Frekans aralığı: 0.3-10000 Hz, Hassasiyet: 10 mV/g, Sıcaklık ölçüm aralığı: -30/180°C, Rezonans frekansı: 30 kHz
Gürültü ölçüm cihazı	Svantek SV 104, Filtreler: A, C, Z Ölçüm aralığı: 55 dbA RMS/ 140.1 dbA pik, Frekans aralığı: 30 kHz-8 kHz, Dinamik aralık: 95 dB
Veri toplama cihazı	Vibrotest 80, FFT analizi, dört kanallı, Brüel&Kjaer 4527 yazılım,
Enerjimetre	Enerji sarfiyat ölçümü, Ölçüm aralığı: 5 W-3650W, Çalışma koşulları: +5°C-+40°C



Komponentler/Ölçüm ekipmanları

1	Kompresör	8	Akümülatör
2	Kondenser	9	Selenoid valf
3	Drayer-kurutucu	10	Üç eksenli (x-y-z) ivmeölçer
4	Gözetleme camı	11	Vibrotest titreşim ölçüm cihazı
5	Genleşme valfi	12	Svantek gürültü ölçüm cihazı
6	Evaporatör	a	Titreşim veri aktarımı
7	Kılcal boru	b	Ses seviyesi ölçümü
T <sub>1</sub>	Termokupl (Komp. giriş sıcaklığı)	T <sub>4</sub>	Termokupl (Evaporatör giriş sıcaklığı)
T <sub>2</sub>	Termokupl (kond. giriş sıcaklığı)	P <sub>1</sub>	Kond. giriş basınç manometresi
T <sub>3</sub>	Termokupl (Kond. çıkış sıcaklığı)	P <sub>2</sub>	Evap. çıkış basınç manometresi

**Şekil 3.** Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları  
**Figure 3.** Positions of all components and measuring equipment used in the test system

### 2.3. Arızalar

#### 2.3. Faults

Ele alınan deney sistemi çeşitli soğutma arızalarını simüle etmek için tasarlanmıştır. Bu sistemle beş farklı arıza oluşturulabilir. Tablo 2’de bu arızalar ve kısaltmaları gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Arıza listesi ve kısaltmalar

**Table 2.** Fault list and abbreviations

ARIZALAR	KISALTMALAR
Kompresör arızası	KA
Genleşme valfi tıkalı arızası	GVT
Eksik soğutucu akışkan şarjı arızası	EŞ
Aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası	AŞ
Kirli kondenser arızası	KK
Normal şartlar (Arıza yok)	NŞ

Deney sisteminde bu arızaların daha iyi anlaşılması için normal çalışma koşullarının bilinmesi arıza tespit ve teşhisi için gereklidir. 20 °C ortam sıcaklığında tutulan ortamda deneyler yapılmış ve evaporatörde aynı ortam şartlarında bulunmaktadır.

NŞ: Normal, sistemin hatasız normal çalışma durumudur.

EŞ: Sisteme olması gerekenden az miktarda soğutucu akışkanın şarj edilmesi durumudur. Bu durumda sistemin kızgınlığı artacağından ve kompresörün emiş basıncı olması gereken miktardan az olacaktır.

AŞ: Soğutucu akışkanın sisteme olması gereken miktardan daha fazla şarj edilmesi durumudur. Bu durumda kızgınlık miktarı azalacağından soğutucu akışkanın kompresöre olması gerekenden başka fazda girme olasılığı artacaktır. Kompresör emiş basıncı da artacaktır.

KK: Kondenser yüzeyinin bir kısmının ya da tamamının toz, kir ya da başka bir nedenden dolayı kirlenmesi ile ısı alışverişi zorlanır ve kondenser yüzeyinde tıkanma meydana gelir, kondenser çıkışında akışkanın ısı atarak sıvılaşması engellenir ve evaporatör ile ortam arasındaki ısı alışverişi engellenmiş olacaktır. Soğutma çevriminin verimliliğinde azalma meydana gelir.

GVT: Genleşme valfi tıkanırse emme ve basma basınçları düştüğü için kızgınlık ve aşırı soğutma değerleri de artmaktadır. Soğutucu akışkanın debisi azalacağından soğutma kapasitesi de azalmaktadır.

KA: Kompresör valflerinden gaz sızıntısı ya da başka bir nedenle oluşan kompresör arızasında, sıkıştırma sırasında soğutucu akışkanın bir kısmını yoğunlaşamayacağından kompresör verimi düşmektedir (Shamandi, 2020; Kocayigit, 2014; Bulgurcu & Yaşar, 2011).

## 2.4. Titreşim ölçümü

### 2.4. Vibration measurement

İvmeölçer kompresörün üst noktasına yerleştirilmiş ve bağlantı noktasından titreşim verileri zamana bağlı olarak alınmıştır. İlk olarak, kompresör üzerine ivmeölçer yapıştırıcı ile sabitlenmiş ve veri toplama cihazına bağlanmıştır. Kompresör titreşim verileri, Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer ile üç eksen (x, y, z) ölçüm yapılarak alınmıştır. İvmeölçerin x eksen, pistonun çalışma düzleminde, pistonun hareket yönüne dik olan yönü, y eksen, pistonun hareket ettiği yönü, z eksen ise, pistonun çalışma düzleminin normali yönlerini göstermektedir. Dört kanallı VIBROTEST 80 model FFT analizi yapabilen bir veri toplama cihazına ivmeölçer bağlanmıştır. Cihaz Brüel & Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir. Normal çalışma ve arızalı çalışma durumları için ayrı ayrı test için 20 saniye boyunca 5 kHz'e kadar olan titreşim sinyalleri alınmıştır. Hanning penceresinde 6400 çözünürlükte ölçümler zamana bağlı olarak alınmıştır. Şekil 4'te kullanılan ivmeölçer ile Tablo 1'de 3 eksenli ivmeölçerin özellikleri verilmiştir.



**Şekil 4.** Titreşim ölçüm cihazı (ivmeölçer)  
**Figure 4.** Vibration meter (accelerometer)

## 2.5. Gürültü ölçümü

### 2.5. Noisy measurement

İklimlendirme ve soğutma cihazlarında ortaya çıkan ve dikkate alınmayan gürültü, ev ile çalışma hayatının en önemli sorunlarından biri durumundadır. Bir ortamdaki gürültülü cihazların yol açtığı gürültüye maruziyet seviyesini tespit etmek için dozimetre kullanılır. Bu çalışmada, Şekil 5'de görülen Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) ile kompresör gürültü seviyesi ölçülmüştür. Ölçüm cihazı kompresöre çok yakın olacak şekilde sabitlenmiştir. Şekil 6'da deney sisteminden titreşim ve gürültü verilerinin alınma işlemi görülmektedir.



**Şekil 5.** Gürültü ölçüm cihazı  
**Figure 5.** Noise meter



**Şekil 6.** Titreşim ve gürültü ölçüm işlemi  
**Figure 6.** Vibration and noise measurement process

## 2.6. Belirsizlik analizi

### 2.6. Uncertainty analysis

Bu çalışmada, deneysel süreçte kullanılan tüm cihazların belirsizlik değerleri aşağıdaki eşitlik ile yardımıyla hesaplanmıştır. Belirli sayıda deney yapıldıktan sonra bu deneye ait sistematik (veya sabit) hataların tespiti için belirsizlik analizi yapılmıştır (Yılmaz, 2022).

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada;

$n$  = Değişken sayısı

$R$  = Ölçülecek boyut

$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  = Ölçümü etkileyen değişkenler

$W_1, W_2, W_3, \dots W_n$  = Bağımsız değişkenle ilgili belirsizlik oranı

$W_R$  = Toplam belirsizlik

Tablo 3. Ölçüm cihazlarının belirsizlik oranları

**Table 3.** Uncertainty rates of measuring devices

Cihaz Tipi	Belirsizlik
Gürültü ölçüm cihazı	0,1 dB
Titreşim ölçüm cihazı	0,01 m/s <sup>2</sup>

Tablo 3’de deney sisteminde kullanılan ölçüm cihazlarının belirsizlik oranları gösterilmiştir. Bu değerler ilgili cihazların ürün kataloglarından alınmıştır. Tablo 4 ve Tablo 5’de bu ölçüm cihazlarının değerlerine göre hesaplanan belirsizlik oranları görülmektedir.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

Deneysel çalışmalar iklimlendirilmiş bir ortamda 20°C ortam sıcaklığında ve evaporatör ortama açık halde yapılmıştır. Ölçümlerden görüldüğü gibi özellikle rejim halinde R134a kullanıldığında ve farklı arızalar oluşturulduğundan kompresör bazı arızalarda yakın değerler vermektedir. Burada gösterilmeyen diğer yönlerde de genlikler çok yakındır.

P-h diyagramı kullanılarak arıza tespit ve teşhisinin yapıldığı diğer bir çalışmada, ilk olarak deneysel veriler toplanmış sonrasında termodinamik özellikler hesaplanmıştır. Gözlemlenen ve hesaplanan değişkenler ile

arıza belirtileri bir araya getirilerek arızalar sınıflandırılmıştır. Çıkan sonuçlara bakıldığında bazı arızaların benzer sonuçlar içerdiği ancak oluşan belli farklılıklar sayesinde arızalar ile ilgili tahmin yapılabileceği belirtilmiştir (Kocyigit vd., 2014). Yapılmış bir diğer çalışmada, yine p-h diyagramı ve sistem performans değerlerindeki değişimlerden arızaların tahmin edilebileceği ifade edilmiştir. Tıkalı filtre ile otomatik genişleme valfi tıkanması arızalarının performans değerlerinin yakın çıktığı, bazı arızalarda kızgınlık ve aşırı soğutma değerlerinin yüksek ya da düşük çıktığı belirtilmiştir (Bulgurcu & Yaşar, 2011). Diğer bir çalışmada, soğutma yükü ve soğutucu akışkan miktarının sistem performansına etkisi gürültü ile titreşim yönünden incelenmiştir. Çalışmada, değişken soğutma yükleri altında çalışan ev tipi soğutma sistemlerinde çeşitli sebeplerle meydana gelebilecek soğutucu akışkan miktarındaki değişimin, sistemin çalışma özellikleri ile gürültü ve titreşim emisyonları üzerine etkileri ve aralarındaki ilişki incelenmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerindeki farklılıklar sayesinde arıza teşhisi ve tespitinin yapılabileceği belirtilmiştir (Yılmaz, 2022). Demirtekin ve Sarıgül, altı kapılı buzdolabı modelinin gürültüsü üzerine yaptıkları araştırmada ses gücü seviyesi, gürültü kaynağı tespiti ve gürültü testlerinden yararlanmışlar, ürün tasarımında kullanılan ürün bileşenlerinin ve yalıtım malzemelerinin özelliklerinin bilinmesinin gürültüyü azaltmak için gerekli olduğu sonucuna varmışlardır (Demirtekin vd., 2015). Seçgin vd. bir soğutma kompresörünün gürültü performansının iyileştirilmesine yönelik araştırmalarında, darbe testi ile sönüm ve karakteristik frekans gibi model parametrelerini kullanarak matematiksel bir çalışma yapmışlardır. Modelin güvenli bir şekilde uygulanabileceği belirtilmiştir (Seçgin vd., 2009). Lee vd. tarafından yapılan çalışmada, buzdolabında meydana gelen seslerin frekans karakterleri ele alınmıştır. Seslerin en fazla kompresör gürültüsünden ile hava dolaşımını sağlayan fanın ortaya çıktığı belirtilmiştir (Lee vd., 2005). Hartmann vd. buzdolabının kompresörü çalıştırıldıktan yaklaşık 30 saniye sonra oluşan aralıklı sesin en olası nedeni olarak kabul edilen yoğunlaşma şokunu doğrulamak ve ürünün verimliliğini etkilemeden bunu önlemenin yollarını bulmak amacıyla çalışma yapmışlardır (Hartmann vd., 2013). Soğutucu akışkan akışı, kompresörün ürettiği ve faz değişimleri sırasında ciddi gürültüye neden olan titreşimin taşınmasında önemli bir rol oynar. Akışkanın ürettiği gürültüyü ve titreşimi anlamak için bir deney düzeneği oluşturulmuş ve bu doğrultuda ölçümler yapılmıştır (Öğüç, 2011).

Bu çalışmada, kompresör yüküne bağlı olarak, gürültü ve titreşim değerlerinde görülen değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler R134a soğutucu akışkanı ile farklı arızalar oluşturularak yapılmıştır. Titreşim ve gürültü ölçümleri için deneyler her çalışma durumu dikkate alınarak üçer defa tekrarlanmıştır. Her bir ölçüm için 16384 veri alınmıştır. Kompresör farklı arızalı çalışma durumunda iken, kompresörün titreşim genlik değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için, her bir eksenden alınan verilerin ortalama karakökü (RMS) Eşitlik 2'e göre hesaplanmıştır (Saridemir vd., 2016).

$$a_{RMS} = \sqrt{1/N \sum_{k=1}^N a_k^2} \quad (2)$$

Burada;

$a_{RMS}$ : İvmelenme sinyallerinin ortalama karakökü (g)

$a_k$ : Zaman bölgesi sinyalleri için k'ncü ivme değeri

N: Toplam ivme değeri (N:16384)

Yüklü konumda, farklı arızaların oluşturulduğu durumlarda kullanılan kompresör için (x), (y) ve (z) eksenlerinden elde edilen verilerin, Eşitlik 1'e göre düzenlenmiş sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 4'de normal ve arızalı çalışma durumları için titreşim değerlerinde ki değişim oranları ile belirsizlik oranları ifade edilmiştir. Tabloya bakıldığında en yüksek belirsizliğin normal çalışma koşullarında (**0.69367562**) olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı çalışma durumları için kompresör çalışma durumunda iken, RMS değerlerine bakıldığında, normal çalışma durumu ile elde edilen titreşim verilerine sırasıyla eksik soğutucu akışkan arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, tıkalı genişleme valfi, kompresör arızası ve kirli kondenser arızalarının yakın olduğu görülmüştür. En düşük değişimin normal çalışma şartlarına göre bakıldığında eksik şarj arızasında olduğu, en büyük değişimin ise kirli kondenser arızasında gösterdiği görülmüştür. Ortalama titreşim değerindeki sıralama, normal çalışma durumuna göre, eksik soğutucu akışkan şarjı, aşırı soğutucu akışkan şarjı, tıkalı genişleme valfi arızası, kompresör arızası ve kirli kondenser arızası şeklinde olmaktadır. Minimum titreşim değeri normal çalışma durumundadır. Kompresörün eksenel yöndeki hareketi yüksek olduğundan, normal ve arızalı çalışma durumları için en büyük titreşim değeri, eksenel yönde (CH2-y eksen) elde edilmiştir. Minimum titreşim değeri ise yanal yönde (CH1-x eksen) elde edilmiştir. Tüm

arızalı çalışma durumlarında normal çalışma durumuna göre titreşim ve gürültü değerlerinde benzer şekilde artış görülmektedir.

**Tablo 4.** Farklı çalışma durumları için RMS ve titreşim değerleri  
*Table 4. RMS and vibration values for different operating situations*

No	Çalışma Koşulları	Eksenler			Titreşim a <sub>t</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Titreşim (ort.) (m/s <sup>2</sup> )	Belirsizlik (%) (±)	Max. Belirsizlik (%) (±)
		CH1	CH2	CH3				
1	Normal Şartlar (1)	0.08043	0.078028	0.09069	0.144159		0.69367562	<b>0.69367562</b>
1	Normal Şartlar (2)	0.084029	0.07853	0.095551	0.149525	0.14712	0.66878448	
1	Normal Şartlar (3)	0.084202	0.079099	0.092	0.147685		0.67711683	
2	Kirli Kondenser (1)	0.108473	0.151774	0.119761	0.221684		0.45109254	
2	Kirli Kondenser (2)	0.104745	0.173972	0.1176961	0.234713	0.23734	0.42605224	
2	Kirli Kondenser (3)	0.105392	0.200492	0.1185107	0.255634		0.39118427	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+61.32</b>	<b>0.063796</b>		
3	Kompresör Arızası (1)	0.107833	0.13645	0.127017	0.209284		0.47781961	
3	Kompresör Arızası (2)	0.1066746	0.157989	0.123623	0.227206	0.22274	0.44012747	
3	Kompresör Arızası (3)	0.107898	0.157481	0.131416	0.231758		0.43148456	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+51.4</b>	<b>0.053476</b>		
4	Genleşme Valfi Tık. (1)	0.107437	0.151684	0.084304	0.204102		0.48994894	
4	Genleşme Valfi Tık. (2)	0.1067012	0.166559	0.0898048	0.217237	0.22094	0.46032674	
4	Genleşme Valfi Tık. (3)	0.1069243	0.1785279	0.123102	0.241482		0.41410954	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+50.17</b>	<b>0.052196</b>		
5	Aşırı Şarj Arızası (1)	0.09552	0.134998	0.120325	0.2045165		0.48895809	
5	Aşırı Şarj Arızası (2)	0.0888443	0.1733478	0.0980252	0.2180642	0.212973	0.45858054	
5	Aşırı Şarj Arızası (3)	0.0883615	0.163204	0.1111746	0.216340		0.46223534	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+44.75</b>	<b>0.046563</b>		
6	Eksik Şarj Arızası (1)	0.120566	0.11475	0.093228	0.190774		0.52417852	
6	Eksik Şarj Arızası (2)	0.1240632	0.1046059	0.098727	0.189949	0.196227	0.52645710	
6	Eksik Şarj Arızası (3)	0.1170141	0.144137	0.093697	0.207959		0.48086401	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+33.37</b>	<b>0.034722</b>		

Tablo 4'teki veriler kullanılarak, tüm eksenlerdeki (x, y, z) ortalama titreşim değerleri ( $a_t$ ), Eşitlik 3'ye göre hesaplanmıştır.

$$a_t = \sqrt{a_{(x)}^2 + a_{(y)}^2 + a_{(z)}^2} \quad (3)$$

Burada;

$a_t$  = Ortalama titreşim değeri,

$a_{(x)}^2$  = x yönündeki RMS değeri,

$a_{(y)}^2$  = y yönündeki RMS değeri,

$a_{(z)}^2$  = z yönündeki RMS değeri,

**Tablo 5.** Farklı çalışma durumları için ortalama gürültü değerleri (dB)  
**Table 5.** Average noise values for different operating situations (dB)

No	Çalışma Şartları	Gürültü (1) (dB)	Gürültü (2) (dB)	Gürültü (3) (dB)	Gürültü (ort.) (dB)	Standart Sapma (σ)	Belirsizlik (%) (±)	Max. Belirsizlik (%) (±)
1	Normal Şartlar	67.8	67.4	69.1	68.1		0.146842878	<b>0.146842878</b>
2	Kirli Kondenser	92.9	93.7	93.86	93.4867		0.106967125	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+37.27</b>	<b>17.9511</b>		
3	Kompresör Arızası	94	94.96	94.54	94.5		0.105820106	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+38.77</b>	<b>18.6676</b>		
4	Genleşme Valfi Tıkalı	93.4	94.62	93.4	93.8067		0.106602232	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+37.74</b>	<b>18.1774</b>		
5	Aşırı Şarj Arızası	91.5	93.5	92.26	92.42		0.108201688	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+35.71</b>	<b>17.1968</b>		
6	Eksik Şarj Arızası	91.9	92.55	91.98	92.1433		0.108526571	
	<b>Değişim (%)</b>				<b>+35.31</b>	<b>17.0012</b>		

Tablo 5’de normal ve arızalı çalışma durumları için gürültü değerlerinde ki değişim oranları ile belirsizlik oranları ifade edilmiştir. Tabloya bakıldığında en yüksek belirsizliğin normal çalışma koşullarında (**0.14684287**) olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı çalışma durumları için kompresör çalışma durumunda iken, gürültü değerlerine bakıldığında, normal çalışma durumu ile elde edilen gürültü verilerine sırasıyla eksik soğutucu akışkan arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser, tıkalı genleşme valfi ve kompresör arızası arızalarının yakın olduğu görülmüştür. En düşük değişimin normal çalışma şartlarına göre bakıldığında eksik şarj arızasında olduğu, en büyük değişimin ise kompresör arızasında gösterdiği görülmüştür. Ortalama gürültü değerindeki sıralama, normal çalışma durumuna göre, eksik soğutucu akışkan şarjı, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser arızası, tıkalı genleşme valfi arızası ve kompresör arızası şeklinde olmaktadır. Minimum gürültü değeri normal çalışma durumundadır.

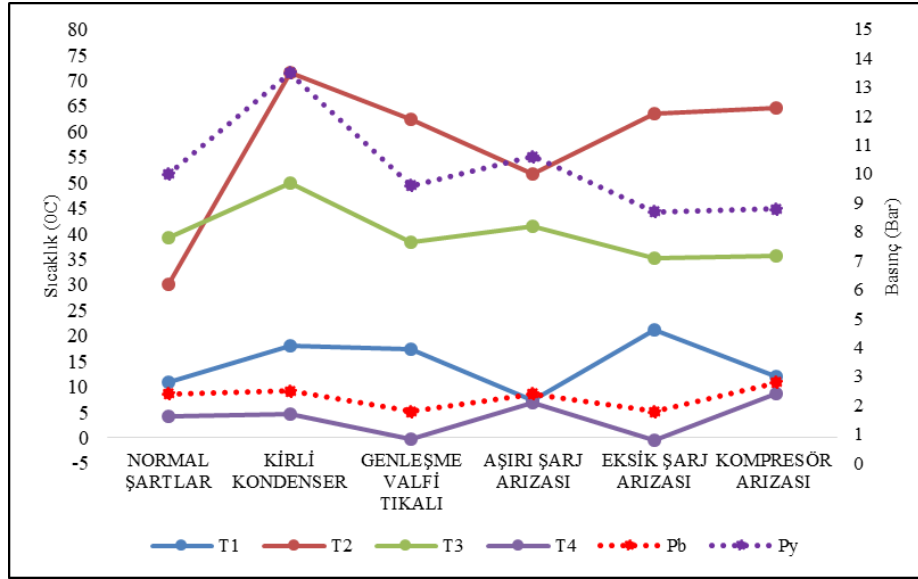
Tablo 6’daki çalışma durumlarına ait deneysel sonuçlara bakıldığında, normal ve arızalı çalışma durumları açısından çalışma basınçları, çalışma sıcaklıkları ve güç tüketimleri açısından da olan benzerlik titreşim ve gürültü değerleri dikkate alındığında Şekil 7 ve Şekil 8’de görüldüğü gibi yakın değerler oluşmasına neden olmuştur. Tablo 5’de bakıldığında normal çalışma durumunda sistemin en düşük elektrik tüketim değerine sahip olduğu, sistem arızalı durumlar başladığında ise arızanın türüne göre elektrik tüketiminin arttığı görülmektedir.

**Tablo 6.** Soğutucu akışkanlara ait deneysel sonuçlar  
**Table 6.** Experimental results of refrigerants

Çalışma Durumu	Elektrik Tüketimi, (kWh)	Buharlaşma Basıncı, P <sub>1</sub> (bar)	Yoğuşma Basıncı, P <sub>2</sub> (bar)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)
Normal çalışma	0.285	2.4	10	11	30	39.2	4.2
Kirli kondenser	0.47	2.5	13.5	18	71.5	50	4.7
Genleşme valfi tıkalı	0.31	1.8	9.6	17.4	62.3	38.2	-0.3
Aşırı soğutucu akışkan şarjı	0.32	2.4	10.6	7.4	51.6	41.4	6.8
Eksik soğutucu akışkan şarjı	0.305	1.8	8.7	2.2	63.4	35.2	-0.4
Kompresör arızası	0.315	2.8	8.8	12	64.5	35.6	8.7

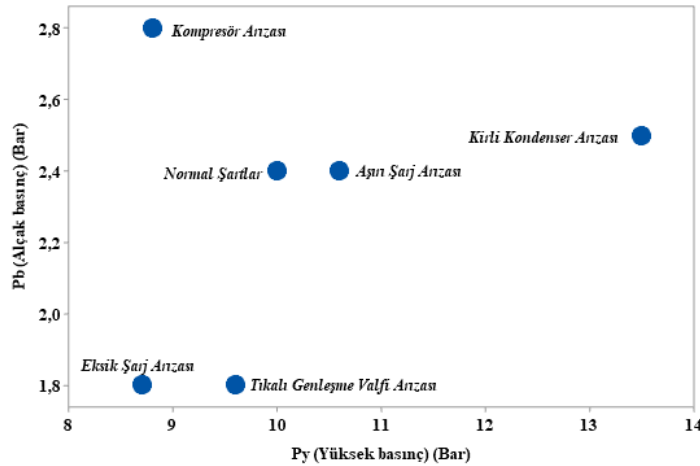


Şekil 7’de farklı çalışma durumları için sıcaklık ve basınç değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Normal ve arızalı çalışma durumları için sıcaklık ve basınç değişimi.

Figure 7. Temperature and pressure variation for normal and faulty operating conditions.

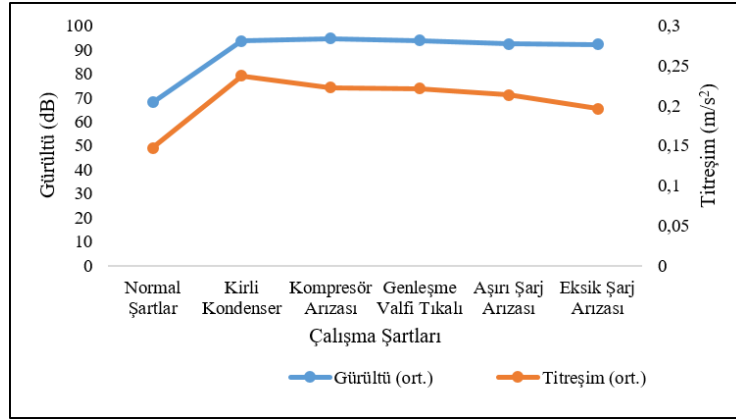


Şekil 8. Normal ve arızalı çalışma durumu için basınç değişimi

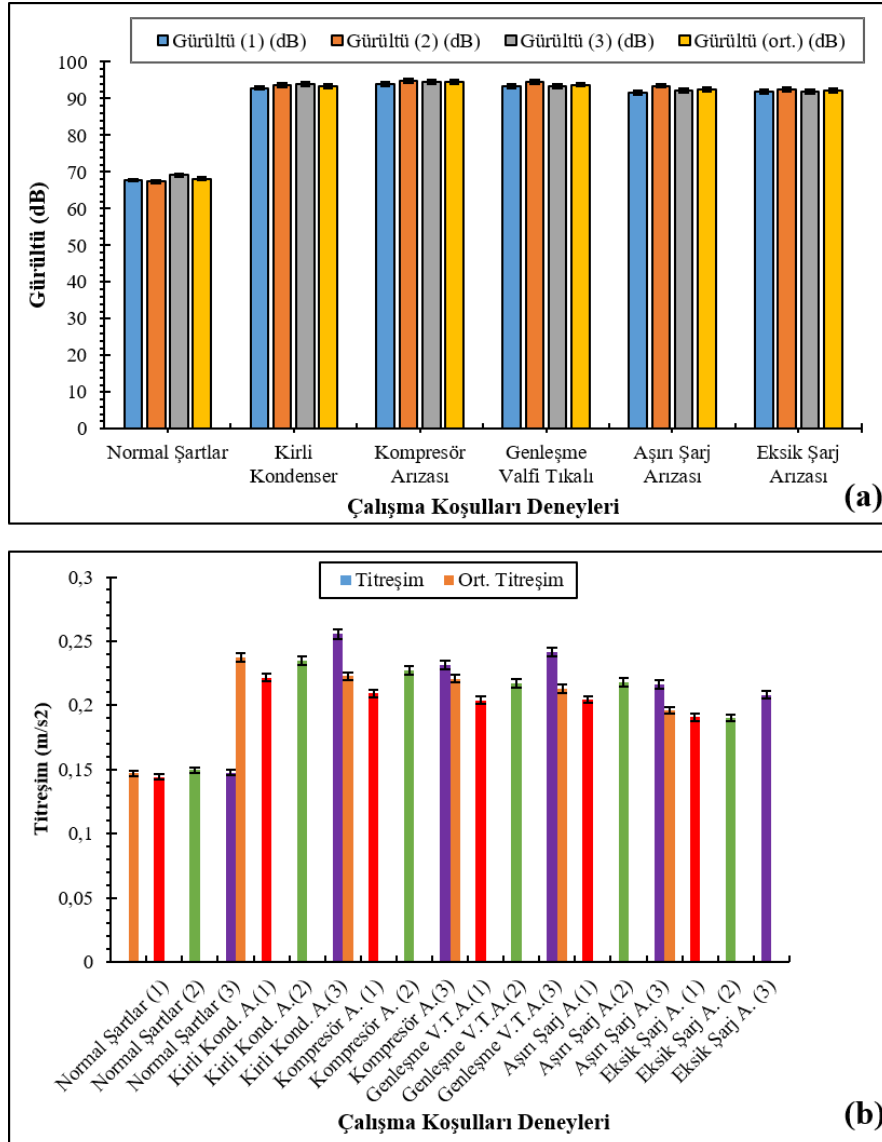
Figure 8. Pressure variation for normal and malfunctioning condition

Sıcaklık ve basınç soğutma sisteminin verimini belirleyen en önemli parametrelerdendir. Sıcaklık verilerine bakıldığında, kompresör çıkış sıcaklığı ( $T_2$ ) dikkate alınırsa normal çalışma şartlarına göre sistemde oluşan arızayı tespit ve teşhis etmek mümkün olacaktır. Şekil 7 ve Şekil 8 birlikte incelendiğinde, normal çalışma durumuna göre en yakın belirtileri aşırı akışkan şarjı arızası göstermektedir. Ancak bu arızada da sisteme fazla verilen soğutucu akışkan miktarına bağlı olduğu için normal çalışma durumundan basınca bakarak ayırt etmek zor olacaktır. Ancak diğer arızalar için direkt basınç değerlerinden arızanın türü hakkında tespit yapılma ihtimali bulunmaktadır. Şekil 9’da normal çalışma ve arıza durumlarına ait, gürültü ve titreşim değerleri ile aralarında ki ilişki verilmiştir. Grafığe bakıldığında normal çalışma durumuna göre, titreşim ve gürültü değerlerinden sistemde oluşan arızanın tespiti ve türü hakkında sağlıklı bir şekilde bilgi sahibi olunacaktır. Normal çalışma şartlarına en yakın titreşim ve gürültü değerine sahip arızalı durumlar sırasıyla, kompresör arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası, tıkalı genleşme valfi arızası, eksik soğutucu akışkan şarjı ve kirli kondenser izlemektedir. Şekil 8 ve Şekil 9 birlikte incelendiğinde basınç değerlerinden yapılan arıza tespiti ile titreşim ve gürültü değerlerinden yapılan arıza türlerinin benzer olduğu görülmektedir. Şekil 9’da tüm eksenlerden elde edilen ortalama titreşim değerleri ( $a_t$ ) ile ortalama gürültü değerleri verilmiştir. Normal

çalışma durumu ile en küçük ortalama titreşim değerleri elde edilir iken, kirli kondenser arızası ile en büyük ortalama titreşim değeri elde edilmiştir. Normal çalışma durumuna göre diğer tüm arızalarda titreşim ve gürültü değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Normal ve arızalı çalışma durumlarına ait titreşim ve gürültü ilişki grafiği.  
Figure 9. Vibration and noise relationship graph for normal and malfunctioning states.



Şekil 10. Titreşim ve gürültü grafikleri. (a) Gürültü grafiği ve (b) Titreşim grafiği  
Figure 10. Vibration and noise graphs. (a) Noise graph and (b) Vibration graph

Şekil 9'a bakıldığında oluşan soğutma sisteminde oluşan beş arızayı üç başlıkta toplamak mümkündür. Genleşme valfinin tıkanmasını akışkandan dolayı oluştuğunu düşünürsek bununla birlikte eksik soğutucu akışkan şarjı ve aşırı soğutucu akışkan şarjı arızalarını, akışkan kaynaklı arızalar, kompresör arızasını mekaniksel arıza, kirli kondenser arızasını da dış ortam kaynaklı olarak gruplandırabiliriz.

Titreşim bir sonucu olan gürültü de benzer bir değişim Şekil 10'da gösterilmektedir. Normal çalışma durumuna göre sırasıyla, eksik soğutucu akışkan şarj arızası, aşırı soğutucu akışkan şarjı, kirli kondenser arızası, tıkalı genleşme valfi arızası, ve kompresör arızasında artış olduğu gözlemlenmiştir. Titreşim değerleri ile gürültü değerleri arasında orantılı bir artış olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, ortalama titreşim değerleri hesabı için gerekli olan verilerin, kompresörün direk üzerine bağlanan ivmeölçer kanalları vasıtasıyla alınırken, ortalama gürültü değerine kompresörün gürültüsünün yanında ortamda yer alan diğer etmenlerin de etkisinin var olmasıdır.

Şekil 10'a bakıldığında ise, deneylerin yapıldığı normal çalışma şartları ile arızalı durumların oluşturulduğu koşullarda elde edilen veriler ayrı ayrı titreşim ve gürültü grafikleri ile belirsizlikler verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, titreşim ve gürültü değerlerinin de benzer davranışlar gösterdiği görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve öneriler

##### 4. Conclusion and recommendations

Soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılan kompresörlerin çevresel arızalardan kaynaklanan gürültü ve titreşimini azaltmak için en önemli tasarım parametresi, kompresörden kasaya iletilen kuvvetlerin azaltılmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, bir soğutma sisteminin ana parçasını oluşturan sıkıştırılmış pistonlu kompresörün normal ve arızalı çalışma koşulları altındaki dinamik davranışı incelenmiştir.

Bu çalışmada, pistonlu bir kompresörün yüke bağlı titreşim ve gürültü değişimini incelenmektedir. X, Y ve Z eksenlerinden toplanan verileri analiz edilerek kompresörün ortalama titreşim ve gürültü değerleri belirlenmiştir. Sistemdeki arıza türlerine göre kompresörün titreşim ve gürültü değerleri değişmiştir. Ortalama titreşim değerleri, normal çalışma durumunda  $0,1471 \text{ m/s}^2$ , kirli kondenserde  $0,2373 \text{ m/s}^2$ , tıkalı genleşme valfinden  $0,2209 \text{ m/s}^2$ , aşırı soğutucu akışkan şarjında  $0,2129 \text{ m/s}^2$ , eksik soğutucu akışkan şarjında  $0,1962 \text{ m/s}^2$  ve kompresör arızasında  $0,2227 \text{ m/s}^2$  olarak belirlenmiştir. Gürültü değerlerinde, normal soğutucu akışkan şarjında çalışmada 68,1 dB, kirli kondenserde 93,49 dB, tıkalı genleşme valfinden 93,81 dB, aşırı soğutucu akışkan şarjında 92,42 dB, eksik soğutucu akışkan şarjında 92,14 dB ve kompresör arızasında 94,5 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu deneysel araştırma tüm şartları için gürültü değerleri açısından toplam %0,683 ve titreşim değerleri açısından ise toplam %8,963 belirsizlikle gerçekleştirilmiştir. Gürültü ve titreşim değerlerinin, incelenen her çalışma durumu için arızanın türü hakkında kolayca fikir verebileceği görülmüştür. Bu değerler, sadece titreşim ve gürültü ölçümlerini kullanarak hem normal hem de arızalı çalışma koşulları için arıza teşhisinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir. Sistemdeki arızalar, motor titreşimleri ve gürültüsünü kısmen etkilemektedir.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Kaynaklar

##### References

Braun, J. E. (2003). Automated fault detection and diagnostics for vapor compression cooling equipment. *J. Sol. Energy Eng.*, 125(3), 266-274.

- Breuker, M. S. (1998). Common faults and their impacts for rooftop air conditioners. *Hvac&R Research*, 4(3), 303-318.
- Bulgurcu, H. (2009). *Maintenance, Troubleshooting and Service Process in HVAC&R Systems*. ISKAV Technical Book Series.
- Bulgurcu, H., & Yaşar, S. (2011). Soğutma sistemi arızalarının P-h diyagramı yardımıyla tespit edilmesi. X. U. Kongresi, *Soğutma sistemi arızalarının P-h diyagramı yardımıyla tespit edilmesi*. içinde İzmir.
- Celik, S. & Nsofor, E. C. (2011). Studies on the flow-induced noise at the evaporator of a refrigerating system. *Applied Thermal Engineering*, 31(14-15), 2485-2493.
- Cingiz, Z. Katırcıoğlu, F., Sarıdemir, S., Yıldız, G., & Çay, Y. (2021). Experimental investigation of the effects of different refrigerants used in the refrigeration system on compressor vibrations and noise. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(2), 152-162.
- Demirtekin, B. S. (2015). Kompresör Kompartımanı Üstte Olan Buzdolaplarının Gürültü Açısından İncelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, 726, İzmir.
- Halm-Owoo, A. K. & Suen, K.O. (2002). Applications of fault detection and diagnostic techniques for refrigeration and air conditioning: A review of basic principles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 3(121-132), 216.
- Hamilton, J. F. (1988). *Measurement and Control of Compressor Noise*. West Lafayette: Ray W. Herrick Laboratories, School of Mechanical Engineering, Purdue University.
- Han, H. G. (2011). Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. *International journal of refrigeration*, 34(2), 586-589
- Hartmann, D., & Melo, C. (2013). Popping noise in household refrigerators: Fundamentals and practical solutions. *Applied thermal engineering*, 51(1-2), 40-47.
- Han, H., Gu, B., Wang, T., & Li, Z.R. (2011). Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. *International journal of refrigeration*, 34(2), 586-589.
- Isermann, R. (1984). Process fault detection based on modeling and estimation methods—A survey. *automatica*, 20(4), 387-404.
- Jeon, J. Y., You, J. & Chang, H.Y. (2007). Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments. *Applied acoustics*, 68(10), 1118-1134.
- Katırcıoğlu, F., Cingiz, Z., Çay, Y., Gürel, A., & Kolip, A. (2020). Soğutma Sistemlerindeki Soğutucu Akışkan Kaçak Tespiti İçin Kızılötesi Görüntüler Üzerinde Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yönteminin Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(Özel sayı), 28-36.
- Kim, M., & Kim, M.S. (2005). Performance investigation of a variable speed vapor compression system for fault detection and diagnosis. *International Journal of Refrigeration*, 28(4), 481-488.
- Kocyigit, N., Bulgurcu, H., & Lin, C.X. (2014). Fault diagnosis of a vapor compression refrigeration system with hermetic reciprocating compressor based on ph diagram. *International journal of refrigeration*, 45, 44-54.
- Lee, C. C. (2005). Analyses of refrigerator noises. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Dubrovnik, Croatia, 1179-1184.
- Li, H., & Braun, J. E. (2007). Decoupling features and virtual sensors for diagnosis of faults in vapor compression air conditioners. *International Journal of Refrigeration*, 30, 546-564.
- Oh, H. E., Park, J.D., & Jeong, W.B. (2019). Numerical and experimental study on the reduction of refrigerant pressure pulsation within compressor pipes. *Journal of Sound and Vibration*, 438, 506-519.

- Ögüç, M. (2011). Experimental investigation of the influence of refrigerant flow on refrigerator noise. *Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yeditepe University.*
- Piacentino, A., & Talamo, M. (2013). Innovative thermoeconomic diagnosis of multiple faults in air conditioning units: Methodological improvements and increased reliability of results. *International journal of refrigeration*, 36(8), 2343-2365.
- Proctor, J. (2006). (CheckMe!<sup>TM</sup> Expert Analysis System Developed by Proctor Engineering Group, 418 Mission Avenue, San Rafael, CA 94901) 2021 tarihinde <http://www.proctoreng.com/checkme/checkme.html>
- Rossi, T. M., & Braun, J.E. (1997). A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners. *Hvac&R Research*, 3(1), 19-37.
- Sarıdemir, S., Polat, F., & Kılınçel, M. (2016). Motor Devir ve Yükünün Titreşim ve Gürültü Emisyonuna Olan Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(3), 459-466.
- Seçgin, A., Ertunç, S., Özütürk, B., Yildirim, K., & Sarigül, A. S. (2009). Bir Buzdolabi Kompresörünün Deneysel Modal Analizi. *14. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampusu.
- Shamandi, S. A., & Rasouli, S. (2020). Fault Detection in Compression Refrigeration System with a Fixed Orifice and Rotary Compressor. *AUT Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 277-286.
- Tassou, S. A., & Grace, I.N. (2005). Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 28(5), 680-688.
- Yılmaz, C. (2022). Ev Tipi Soğutma Cihazlarında Soğutma Yüğü ve Soğutucu Akışkan Miktarının Sistem Performansına Etkisinin Gürültü ve Titreşim Yönünden İncelenmesi. *Karabük: Karabük Üniversitesi FBE.*

## Myrmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) of Bozcaada Island of Türkiye

*Türkiye Bozcaada'nın karınca (Hymenoptera: Formicidae) faunası*

Nermin TOPTAŞ<sup>1</sup> , Celal KARAMAN\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Trakya University, Faculty of Science, Biology Department, Balkan Campus, 22030, Edirne

• Received: 17.01.2024

• Accepted: 06.05.2024

### Abstract

Ants, keystone organisms of the nature, show great diversity in the Mediterranean basin. In addition to the mainland, the islands of the Mediterranean countries have great importance and species diversity in terms of ants. In the present study, the ant fauna of Bozcaada, the third largest island of Türkiye was investigated. Ant specimens were collected from Bozcaada in 2018-2019 by means of the aspirator. As a result of evaluation of 700 ant samples collected from the island, 60 species belonging to 4 subfamilies and 22 genera were identified. Among these, the subfamily Ponerinae, 10 genera and 48 species were recorded for the first time for the ant fauna of Bozcaada. The ant faunas of the Greek islands Samos, Chios and Lesbos, which are located closer to the Turkish mainland than the Turkish islands, Bozcaada and Gökçeada were compared with the Bray-Curtis similarity analysis.

**Keywords:** Ant, Biodiversity, Bray-Curtis similarity analysis, Faunistic, Mediterranean Region

### Öz

Doğanın kilit taşı canlıları olan karıncalar Akdeniz havzasında da oldukça çeşitlilik göstermektedir. Akdeniz ülkelerinin ana karalarının yanı sıra adaları da karıncalar açısından büyük önem ve tür çeşitliliğine sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'nin üçüncü büyük adası olan Bozcaada'nın karınca faunası araştırılmıştır. Karıncalar Bozcaada'dan 2018-2019 yıllarında aspirator ile toplanmıştır. Çalışma kapsamında Bozcaada'dan toplanan 700 karınca örneğinin incelenmesi sonucunda 4 altfamilya ve 22 cinse ait 60 tür tespit edilmiştir. Bu kayıtlardan Ponerinae alt familyası, 10 cins ve 48 tür Bozcaada karınca faunasının ilk kayıtlarıdır. Türkiye anakarasına bazen Türk adalarından daha yakın olan 3 Yunan adası (Samos, Sakız ve Midilli), Bozcaada ve Gökçeada'nın karınca faunaları Bray-Curtis benzerlik analizi ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Karınca, Biyolojik çeşitlilik, Bray-Curtis benzerlik analizi, Faunistik, Akdeniz Bölgesi

\*Celal KARAMAN; celalkaraman78@gmail.com

## 1. Introduction

Ants are known to be one of the keystone organisms with paramount importance for sustainability of terrestrial ecosystems of nature (Gibb et al., 2024). Although the tropical regions of the world are the most biodiverse regions in terms of myrmecofauna, the Mediterranean region is another important region regarding myrmecofaunal elements, not only in the countries of the mainland, but also in the islands of these countries (Scupola & Borowiec, 2023). A well-known example of this case is the Greek islands which are represented by 238 ant taxa, while the ant fauna of Greece as a whole is represented by 316 taxa (Scupola & Borowiec, 2023).

The studies on myrmecofauna of Türkiye dates back to the second half of the 19th century and a large number of studies have been carried so far. The studies of researchers, especially in the last two decades, identified many new species not only for Turkish, but also for the world myrmecofauna (Kiran et al., 2008; Karaman, 2012; Kiran & Karaman, 2012, 2020, 2021; Karaman & Aktaş, 2013; Karaman et al., 2015; Salata & Borowiec, 2015a, b, c; Seifert, 2016, 2019, 2020, 2023; Kiran et al., 2017; Karaman et al., 2017; Salata & Borowiec, 2017; Karaman & Kiran, 2018; Wagner et al., 2018; Salata et al., 2019; Kiran et al., 2021; Salata et al., 2021). On the other hand, despite these considerable studies in the mainland, studies on the ant fauna of Turkish islands are limited in number and are generally very old (Emery, 1870, 1905; Forel, 1906; Schkaff, 1924; Donisthorpe, 1950; Aras & Aktaş, 1992, 1994; Sert & Karaman, 2024). The studies of researchers are related to the İstanbul Prince Islands, where 7 species were recorded so far (Sert & Karaman, 2024). Aras and Aktaş investigated the ant fauna of Gökçeada and Bozcaada in 1992 and 1994, and recorded 34 and 26 ant taxa, respectively (Aras & Aktaş, 1992, 1994).

Recently, Sert and Karaman (2024) investigated the myrmecofauna of Gökçeada in detail and recorded 72 ant taxa. This latest study showed how the old studies are far from reflecting the true richness of the fauna of Turkish islands.

In this study, Bozcaada, the third largest island of Türkiye with a surface area of 36 km<sup>2</sup>, was chosen as the study area and the myrmecofauna of the island was investigated in detail. In addition, the ant species diversity in the Turkish islands was compared with the Greek islands, whose ant fauna is well known.

## 2. Material and method

The material was collected from the Bozcaada Island in 2018-2019 by the second author. Ant specimens were mainly collected by hand collecting (direct sampling) method. The litter sifting method was also used in suitable habitats. The locality numbers, geographic coordinates, altitudes, habitat types and the sampling dates are presented in Table 1 and Figure 1. The results were represented as in the case of the example “1♀, 3♂♂, 1♂, 39♀♀; (B-12); EMTU 19/0658” in the results section. The expression “1♀, 3♂♂, 1♂, 39♀♀” shows the individual numbers representing each caste of the collected species from the study area. The symbols used in the results section correspond to ♀: queen, ♂: male, ♂: soldier, and ♀: worker. The cases when more than 50 workers were sampled from a single colony were denoted as the ♀♀ symbol. (B-12) indicates the locality number in Table 1 and Figure 1. EMTU stands for the Entomological Museum of Trakya University. 19/0658 indicates the species protocol number in the authors' database. The "\*" symbol before the species name in the results section indicates that the species was formerly recorded by Aras and Aktaş (1994).

The photographs of ants were created using a Nikon D800e camera attached to 3.2× and 8× microscope objectives. The Helicon Focus software (Helicon Soft Ltd., Kharkiv Ukraine) was used to stack the photos. The map of the studied localities was prepared with Google Earth. The Bray-Curtis similarity test between Turkish and Greek Islands' ant fauna was performed by the BioDiversity Pro version 2 programme. The ant material is deposited in EMTU, Edirne, Türkiye.



**Figure 1.** Studied localities in Bozcaada Island

**Table 1.** Details of the studied localities in Bozcaada Island

Loc. no	Coordinates	Altitude	Habitat	Date
B-01	N 39.8344, E 26.0695	10 m.	Urban area	21.IV.2018
B-02	N 39.8010, E 26.0776	8 m.	Barren land	22.IV.2018
B-03	N 39.7915, E 26.0606	5 m.	<i>Astragalus</i> sp.	22.IV.2018
B-04	N 39.8135, E 26.0073	25 m.	Maquis	22.IV.2018
B-05	N 39.8358, E 26.0630	119 m.	Pasture + <i>Astragalus</i> sp.	18.V.2019
B-06	N 39.8424, E 26.0508	172 m.	Barren land	18.V.2019
B-07	N 39.8359, E 26.0273	45 m.	<i>Pinus brutia</i> forest	18.V.2019
B-08	N 39.8327, E 26.0413	59 m.	<i>Astragalus</i> sp.	18.V.2019
B-09	N 39.8315, E 26.0531	59 m.	<i>Astragalus</i> sp.	18.V.2019
B-10	N 39.8377, E 26.0678	56 m.	<i>P. brutia</i> forest	18.V.2019
B-11	N 39.8248, E 26.0750	34 m.	Maquis	19.V.2019
B-12	N 39.8203, E 26.0482	57 m.	<i>P. brutia</i> forest	19.V.2019
B-13	N 39.8203, E 26.0306	65 m.	<i>P. brutia</i> forest	19.V.2019
B-14	N 39.8220, E 26.0611	37 m.	Oak forest	19.V.2019
B-15	N 39.8145, E 26.0445	82 m.	<i>P. brutia</i> forest	19.V.2019
B-16	N 39.8073, E 26.0601	56 m.	Maquis	19.V.2019
B-17	N 39.8413, E 26.0358	2 m.	Sandhill	20.V.2019
B-18	N 39.7994, E 26.0397	17 m.	Maquis	20.V.2019



Table 1. Continued

Loc. no	Coordinates	Altitude	Habitat	Date
B-19	N 39.8134, E 26.0647	28 m.	Maquis	20.V.2019
B-20	N 39.8031, E 26.0750	21 m.	<i>P. brutia</i> forest + Maquis	20.V.2019
B-21	N 39.8108, E 26.0249	27 m.	<i>P. brutia</i> forest	20.V.2019
B-22	N 39.7594, E 26.0142	85 m.	Meadow	20.V.2019
B-23	N 39.8239, E 25.9916	11 m.	Maquis	21.V.2019
B-24	N 39.8284, E 26.0030	50 m.	<i>P. brutia</i> forest	21.V.2019
B-25	N 39.8258, E 26.0178	49 m.	<i>P. brutia</i> forest	21.V.2019
B-26	N 39.8160, E 26.0113	57 m.	<i>P. brutia</i> forest + Maquis	21.V.2019
B-27	N 39.8394, E 26.0016	26 m.	Meadow	21.V.2019
B-28	N 39.8264, E 25.9790	41 m.	<i>P. brutia</i> forest	25.IX.2019
B-29	N 39.8370, E 25.9861	23 m.	Sandhill	25.IX.2019
B-30	N 39.8357, E 25.9638	17 m.	Maquis + <i>Astragalus</i> sp.	26.IX.2019
B-31	N 39.8334, E 26.0017	44 m.	<i>P. brutia</i> forest	26.IX.2019
B-32	N 39.8205, E 26.0019	28 m.	<i>P. brutia</i> forest	26.IX.2019
B-33	N 39.7995, E 26.0795	33 m.	Maquis	26.IX.2019
B-34	N 39.8117, E 26.0537	61 m.	Olive orchard	27.IX.2019
B-35	N 39.8196, E 26.0259	65 m.	<i>P. brutia</i> forest	27.IX.2019
B-36	N 39.8030, E 26.0344	16 m.	<i>P. brutia</i> forest	27.IX.2019
B-37	N 39.8092, E 26.0751	30 m.	Urban area	28.IX.2019

### 3. Results

#### Family: FORMICIDAE

#### Subfamily: DOLICHODERINAE Forel

##### 1. *Bothriomyrmex communista* Santschi, 1919

Material: 40♀♀; (B-12); EMTU 19/0658d, 19/0659.

##### 2. *Tapinoma erraticum* (Latreille, 1798)

Material: 21♀♀; (B-12); EMTU 19/0672.

##### 3. *Tapinoma simrothi* Krausse, 1911

Material: 1♀; (B-13); EMTU 19/0692b • 3♀♀, 33♂♂, 4♀♀; (B-21); EMTU 19/0694 • 3♀♀; (B-37); EMTU 19/0988b.

##### 4. *Tapinoma* cf. *subboreale/festae*

Material: 10♀♀; (B-1); EMTU 18/7337a • 7♀♀; (B-4); EMTU 18/7351a • 42♀♀; (B-21); EMTU 19/0710.

Remarks: [Aras and Aktaş \(1994\)](#) recorded *Tapinoma nigerrimum* ([Nylander, 1856](#)) from Bozcaada. However, the species could not have been recorded in this study. *Tapinoma nigerrimum* distribution fact and its presence in Türkiye were clarified in [Sert and Karaman \(2024\)](#). See [Sert and Karaman \(2024\)](#) for more information.

### Subfamily: FORMICINAE Latreille

#### 5. *Camponotus aegaeus* [Emery, 1915](#)

Material: 33♀♀; (B-13); EMTU 19/0673b • 17♀♀; (B-15); EMTU 19/0638, 19/0641 • 8♀♀; (B-25); EMTU 19/0840b, 19/0849 • 1♀, 13♀♀; (B-28); EMTU 19/0861a • 17♀♀; (B-31); EMTU 19/0901, 19/0907 • 10♂♂, 37♀♀; (B-35); EMTU 19/0956 • 25♀♀; (B-36); EMTU 19/0968.

#### 6. \* *Camponotus aethiops* ([Latreille, 1798](#))

Material: 37♀♀; (B-5); EMTU 19/0530, 19/0535 • 4♀♀; (B-7); EMTU 19/0563 • 1♀, 8♀♀; (B-9); EMTU 19/0583 • 5♀♀; (B-10); EMTU 19/0500d, 19/0520 • 6♀♀; (B-11); EMTU 19/0593 • 9♀♀; (B-12); EMTU 19/0651a • 25♀♀; (B-13); EMTU 19/0688 • 2♀♀; (B-15); EMTU 19/0634b • 9♀♀; (B-16); EMTU 19/0618d, 19/0629a • 3♀♀; (B-18); EMTU 19/0771 • 1♀; (B-19); EMTU 19/0754c • 1♀; (B-21); EMTU 19/0702 • 6♀♀; (B-22); EMTU 19/0714a • 4♀♀; (B-31); EMTU 19/0898 • 22♀♀; (B-34); EMTU 19/0937, 19/0940a.

#### 7. *Camponotus baldaccii* [Emery, 1908](#)

Material: 1♀; (B-2); EMTU 18/7349b • 1♀; (B-3); EMTU 18/7350d • 13♀♀; (B-7); EMTU 19/0552 • 4♀♀; (B-8); EMTU 19/0569a • 1♀; (B-11); EMTU 19/0590b • 5♀♀; (B-12); EMTU 19/0656 • 8♀♀; (B-14); EMTU 19/0611 • 23♀♀; (B-15); EMTU 19/0640 • 15♀♀; (B-18); EMTU 19/0760 • 1♀; (B-19); EMTU 19/0754b • 6♀♀; (B-20); EMTU 19/0738 • 1♀, 12♀♀; (B-21); EMTU 19/0698, 19/0706 • 1♀; (B-22); EMTU 19/0722 • 38♀♀; (B-23); EMTU 19/0820 • 3♀♀; (B-24); EMTU 19/0801, 19/0804c • 10♀♀; (B-26); EMTU 19/0828 • 1♀, 5♀♀; (B-27); EMTU 19/0791c, 19/0796b, 19/0797 • 3♀♀, 12♂♂, 36♀♀; (B-29); EMTU 19/0879, 19/0880 • 6♀♀; (B-30); EMTU 19/0909 • 16♀♀; (B-31); EMTU 19/0903.

#### 8. *Camponotus gestroi* [Emery, 1878](#)

Material: 1♀; (B-1); EMTU 18/7352b • 3♀♀; (B-2); EMTU 18/7348b • 2♀♀; (B-5); EMTU 19/0527 • 4♀♀; (B-6); EMTU 19/0540b, 19/0546b, 19/0549b • 6♀♀; (B-8); EMTU 19/0571a, 19/0572c, 19/0573 • 1♀, 30♀♀; (B-10); EMTU 19/0505, 19/0511a, 19/0516a • 1♀; (B-11); EMTU 19/0603a • 1♀; (B-12); EMTU 19/0655 • 3♀♀; (B-14); EMTU 19/0608b • 1♀; (B-15); EMTU 19/0635a • 1♀; (B-16); EMTU 19/0618a • 4♀♀; (B-18); EMTU 19/0767a • 1♀; (B-19); EMTU 19/0754a • 1♀; (B-20); EMTU 19/0737a.

#### 9. *Camponotus kiesenwetteri* ([Roger, 1859](#))

Material: 30♀♀; (B-12); EMTU 19/0661 • 30♀♀; (B-15); EMTU 19/0636 • ♀♀; (B-17); EMTU 19/0775a, 19/0779, 19/0789, 19/0980a • 3♀♀; (B-18); EMTU 19/0765 • 1♀, 22♀♀; (B-23); EMTU 19/0822b, 19/0823, 19/0824 • 11♀♀; (B-24); EMTU 19/0806 • 20♀♀; EMTU 19/0844 • 34♀♀; (B-26); EMTU 19/0830b, 19/0833a, 19/0836a • 5♀♀, 4♂♂, 35♀♀; (B-28); EMTU 19/0861b, 19/0866 • 15♀♀; (B-29); EMTU 19/0883 • 2♀♀, 6♂♂, 30♀♀; (B-31); EMTU 19/0897 • 9♀♀; (B-32); EMTU 19/0924a • 3♀♀, 12♀♀; (B-35); EMTU 19/0952, 19/0953, 19/0957a • 32♀♀; (B-36); EMTU 19/0967.

#### 10. \* *Camponotus lateralis* ([Olivier, 1792](#))

Material: 4♀♀, 1♂, 43♀♀; (B-1); EMTU 18/7337b, 18/7345a • 2♀♀; (B-29); EMTU 19/0878b • 1♀; (B-34); EMTU 19/0940b • 15♀♀; (B-35); EMTU 19/0948.

#### 11. *Camponotus lateralis* morph 2 sensu [Seifert](#)

Material: 1♀; (B-1); EMTU 18/7344g • 1♀; (B-4); EMTU 18/7351b • 22♀♀; (B-7); EMTU 19/0566 • 4♀♀; (B-8); EMTU 19/0574b • 1♀, 44♀♀; (B-10); EMTU 19/0521 • 1♀, ♀♀; (B-13); EMTU 19/0680a, 19/0685, 19/0687a, 19/0689 • 2♀♀, 14♀♀; (B-14); EMTU 19/0609a • ♀♀; (B-15); EMTU 19/0642, 19/0645 • 6♀♀, ♀♀; (B-17); EMTU 19/0774, 19/0777 • 1♀; (B-19); EMTU 19/0755 • 30♀♀; (B-20); EMTU 19/0733a • 1m; (B-22); EMTU 19/0725 • 4♀♀, 31♀♀; (B-23); EMTU 19/0822a • 18♀♀; (B-24); EMTU 19/0811 • 1♀, 47♀♀; (B-

25); EMTU 19/0841, 19/0843 • 7♂♂, ♀♀; (B-28); EMTU 19/0857, 19/0862a, 19/0867, 19/0873e • 1♀, 3♂♂, 19♀♀; (B-30); EMTU 19/0914a • 4♀♀, 7♂♂, ♀♀; (B-35); EMTU 19/0949, 19/0951, 19/0958 • 2♀♀, ♀♀; (B-36); EMTU 19/0962, 19/0965, 19/0970, 19/0977.

**12. \* *Camponotus piceus* (Leach, 1825)**

Material: 5♀♀; (B-7); EMTU 19/0565 • 1♀; (B-8); EMTU 19/0571b • 5♀♀; (B-9); EMTU 19/0582 • 13♀♀; (B-12); EMTU 19/0658c • 2♀♀; (B-15); EMTU 19/0634c, 19/0635b • 2♀♀; (B-16); EMTU 19/0625 • 1♀; (B-20); EMTU 19/0730a • 14♀♀; (B-21); EMTU 19/0696a • 3♀♀; (B-22); EMTU 19/0716 • 1♀; (B-23); EMTU 19/0815b • 45♀♀; (B-24); EMTU 19/0810 • 3♀♀; (B-27); EMTU 19/0793 • 1♀; (B-34); EMTU 19/0934.

**13. \* *Camponotus samius* Forel, 1889**

Material: 3♀♀; (B-7); EMTU 19/0564a • 14♀♀; (B-9); EMTU 19/0587, 19/0589 • 14♀♀; (B-12); EMTU 19/0665 • 8♀♀; (B-13); EMTU 19/0674, 19/0675 • 12♀♀; (B-15); EMTU 19/0633 • 20♀♀; (B-17); EMTU 19/0781a, 19/0785 • 1♀; (B-18); EMTU 19/0772 • 1♀; (B-22); EMTU 19/0724 • 4♀♀; (B-24); EMTU 19/0804a • 7♀♀; (B-25); EMTU 19/0846b • 15♀♀; (B-26); EMTU 19/0837 • 7♀♀; (B-28); EMTU 19/0858 • 2♀♀; (B-31); EMTU 19/0894 • 3♀♀; (B-32); EMTU 19/0924b • 13♀♀; (B-35); EMTU 19/0950 • 14♀♀; (B-36); EMTU 19/0961.

**14. \* *Camponotus sanctus* Forel, 1904**

Material: 18♀♀; (B-30); EMTU 19/0919a.

**15. \* *Cataglyphis nodus* (Brullé, 1833)**

Material: 3♀♀; (B-2); EMTU 18/7347f • 5♀♀; (B-5); EMTU 19/0539 • 3♀♀; (B-7); EMTU 19/0564b • 1♀; (B-8); EMTU 19/0578b • 1♀; (B-10); EMTU 19/0503 • 1♀; (B-12); EMTU 19/0671b • 1♀; (B-14); EMTU 19/0615b • 4♀♀; (B-15); EMTU 19/0646 • 3♀♀; (B-16); EMTU 19/0624a • 7♀♀, ♀♀; (B-17); EMTU 19/0782, 19/0784 • 1♀; (B-19); EMTU 19/0752 • 5♀♀; (B-21); EMTU 19/0703 • 2♀♀; (B-22); EMTU 19/0723b • 7♀♀; (B-23); EMTU 19/0826 • 1♀; (B-24); EMTU 19/0813 • 2♀♀; (B-26); EMTU 19/0829 • 5♀♀; (B-27); EMTU 19/0796a • 11♀♀; (B-29); EMTU 19/0874, 19/0876 • 7♀♀; (B-30); EMTU 19/0915 • 2♀♀; (B-31); EMTU 19/0905 • 1♀; (B-32); EMTU 19/0927.

**16. *Colobopsis truncata* (Spinola, 1808)**

Material: 12♀♀; (B-14); EMTU 19/0610 • 2♂♂, 11♀♀; (B-34); EMTU 19/094.

**17. \* *Lasius alienus* (Foerster, 1850)**

Material: 5♀♀; (B-8); EMTU 19/0568b • 1♀; (B-21); EMTU 19/0711 • 2♀♀; (B-37); EMTU 19/0988a.

**18. *Lasius schulzi* Seifert, 1992**

Material: 3♀♀; (B-1); EMTU 18/7337c, 18/7344h.

Remarks: *Lasius brunneus* (Latreille, 1798) was recorded from Bozcaada by Aras and Aktaş (1994). In this study, since it is an arboreal species, suitable microhabitats were investigated in detail, but *L. brunneus* could not be recorded. However, *L. schulzi*, which is morphologically similar to *L. brunneus* and has not yet been described in 1994, was recorded in this study. Thus, the material of Aras and Aktaş (1994) may refer to *L. schulzi*.

**19. *Lasius turcicus* Santschi, 1921**

Material: ♀♀; (B-1); EMTU 18/7345b • 6♀♀; (B-8); EMTU 19/0574a • 32♀♀; (B-13); EMTU 19/0679, 19/0680b • 37♀♀; (B-15); EMTU 19/0643a, 19/0648 • 2♀♀; (B-18); EMTU 19/0766 • ♀♀; (B-28); EMTU 19/0854, 19/0865, 19/0873a • 14♀♀; (B-29); EMTU 19/0882, 19/0884 • 9♀♀; (B-32); EMTU 19/0928b • ♀♀; (B-35); EMTU 19/0946 • 17♀♀; (B-36); EMTU 19/0974, 19/0978.

**20. \* *Lepisiota frauenfeldi* (Mayr, 1855)**

Material: 2♀♀, 45♂♂; (B-1); EMTU 18/7339, 18/7344b • 2♂♂; (B-2); EMTU 18/7347c • 2♀♀, 28♂♂; (B-3); EMTU 18/7350a • 7♂♂; (B-5); EMTU 19/0522 • 11♂♂; (B-6); EMTU 19/0542b, 19/0547 • ♀♀; (B-7); EMTU 19/0557 • 2♂♂; (B-8); EMTU 19/0569b • 34♂♂; (B-10); EMTU 19/0500b, 19/0501, 19/0519d • 1♀, 25♂♂; (B-12); EMTU 19/0654, 19/0669 • 20♂♂; (B-13); EMTU 19/0681b, 19/0691 • 5♂♂; (B-14); EMTU 19/0614c • 8♂♂; (B-16); EMTU 19/0618b • 7♀♀, ♀♀; (B-17); EMTU 19/0784 • 13♂♂; (B-18); EMTU 19/0770 • 12♂♂; (B-19); EMTU 19/0757 • 10♂♂; (B-20); EMTU 19/0728a • 8♂♂; (B-21); EMTU 19/0699a • 9♂♂; (B-22); EMTU 19/0723a • 1♂; (B-23); EMTU 19/0817a • ♀♀; (B-24); EMTU 19/0808 • 1♂; (B-25); EMTU 19/0846a • 1♂; (B-27); EMTU 19/0791b • 46♂♂; (B-28); EMTU 19/0856b, 19/0871 • 9♂♂; (B-30); EMTU 19/0922 • 9♂♂; (B-32); EMTU 19/0926 • 6♂♂; (B-34); EMTU 19/0938 • 5♂♂; (B-36); EMTU 19/0971 • 9♂♂; (B-37); EMTU 19/0987.

**21. *Plagiolepis pallescens* Forel, 1889**

Material: 33♂♂; (B-2); EMTU 18/7347b • 12♂♂; (B-5); EMTU 19/0532 • 19♂♂; (B-8) EMTU 19/0570 • 2♂♂; (B-10); EMTU 19/0513b, 19/0518 • 20♂♂; (B-11); EMTU 19/0604b, 19/0605a • 1♂; (B-12); EMTU 19/0658a • 1♀; ♀♀; (B-13); EMTU 19/0673a • 5♂♂; (B-14); EMTU 19/0609b • 13♂♂; (B-16); EMTU 19/0619, 19/0629b • ♀♀; (B-17); EMTU 19/0790b • ♀♀; (B-18); EMTU 19/0762 • 19♂♂; (B-19); EMTU 19/0747, 19/0748 • 1♀, 49♂♂; (B-20); EMTU 19/0728b, 19/0729, 19/0733b • 28♂♂; (B-23); EMTU 19/0814 • 37♂♂; (B-24); EMTU 19/0802 • 36♂♂; (B-25); EMTU 19/0839 • 7♂♂; (B-26); EMTU 19/0827a • 32♂♂; (B-28); EMTU 19/0872 • 11♂♂; (B-30); EMTU 19/0918 • ♀♀; (B-31); EMTU 19/0899 • 1♂; (B-32); EMTU 19/0925b • 1♀, ♀♀; (B-35); EMTU 19/0957b, 19/0959 • ♀♀; (B-36); EMTU 19/0963.

**22. *Plagiolepis perperamus* Salata, Borowiec & Radchenko, 2018**

Material: 3♂♂; (B-1); EMTU 18/7338b • 42♂♂; (B-7); EMTU 19/0550b, 19/0553 • 36♂♂; (B-9); EMTU 19/0580 • ♀♀; (B-12); EMTU 19/0662a, 19/0662b, 19/0666c • 8♂♂; (B-15); EMTU 19/0630 • 16♂♂; (B-22); EMTU 19/0713 • ♀♀; (B-27); EMTU 19/0791d, 19/0792 • 2♂♂; (B-34); EMTU 19/0935 • 3♂♂; (B-37); EMTU 19/0982a.

**23. \* *Plagiolepis pygmaea* (Latreille, 1798)**

Material: 10♂♂; (B-12); EMTU 19/0650 • 4♂♂; (B-21); EMTU 19/0693.

**24. *Proformica* sp.\_Bozcaada**

Material: 1♂; (B-1); EMTU 18/7344a • 15♂♂; (B-2); EMTU 18/7347a • 1♂; (B-3); EMTU 18/7350e • 7♂♂; (B-21); EMTU 19/0707 • 11♂♂; (B-29); EMTU 19/0875 • 1♀; (B-30); EMTU 19/0913 • 1♂; (B-32); EMTU 19/0928c.

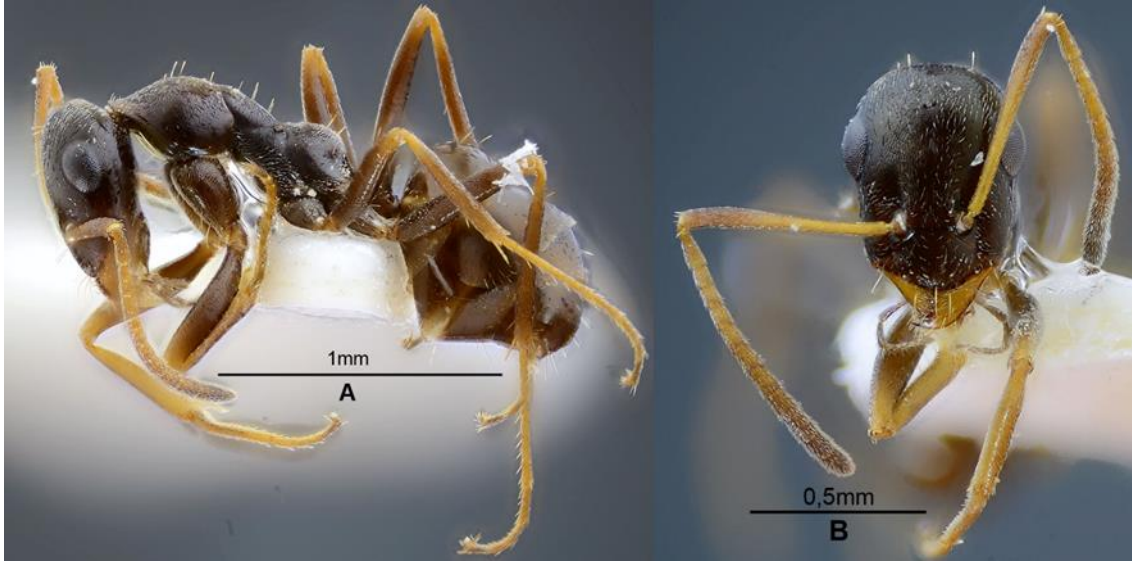
Remarks: Aras and Aktaç (1994) recorded *Proformica korbi* Emery, 1909 from Bozcaada. *Proformica korbi* is characterized by several long erect setae over the entire dorsum of the mesosoma in all worker castes (Borowiec et al., 2023). However, the major workers recorded in this study have one long, erect seta on pronotum and mesonotum, which is not consistent with the characteristics of the species. Additionally, first gaster tergite of *Proformica* Ruzsky, 1902 specimens in this study has sparse, decumbent pubescence, which differs with dense, decumbent pubescence in *P. korbi*. Therefore, the *Proformica* samples in this study are different from *P. korbi* and other known Turkish and Greek *Proformica* species. We therefore decided to present *Proformica* samples as *Proformica* sp.\_Bozcaada until the detailed studies carried out on this genus.

**Subfamily: MYRMICINAE Lepeletier de Saint-Fargeau****25. *Aphaenogaster balcanica* (Emery, 1898)**

Material: 43♂♂; (B-1); EMTU 18/7341a • 5♂♂; (B-2); EMTU 18/7347d • 2♂♂; (B-3); EMTU 18/7350b • 15♂♂; (B-5); EMTU 19/0524 • 18♂♂; (B-6); EMTU 19/0540a, 19/0543 • 1♂; (B-8); EMTU 19/0569c • 2♂♂; (B-10); EMTU 19/0500c • 1m; (B-11); EMTU 19/0603b • 3♂♂; (B-12); EMTU 19/0657 • 31♂; (B-13); EMTU 19/0678 • 2♂♂; (B-14); EMTU 19/0607 • 1♂; (B-15); EMTU 19/0649a • 3♂♂; (B-16); EMTU 19/0624b • 3♂♂; (B-19); EMTU 19/0744b • 1♂; (B-20); EMTU 19/0731b • 8♂♂; (B-21); EMTU 19/0700 • 2♂♂; (B-22); EMTU

19/0720b • 8♀♀; (B-23); EMTU 19/0817b • 2♀♀; (B-24); EMTU 19/0804b • 12♀♀; (B-25); EMTU 19/0845b, 19/0848 • 18♀♀; (B-26); EMTU 19/0833b • 8♀♀; (B-28); EMTU 19/0856a, 19/0862b • 3♀♀; (B-29); EMTU 19/0878a • 21♀♀; (B-30); EMTU 19/0916 • 1♂, 2♀♀; (B-31); EMTU 19/0891 • 1♀; (B-32); EMTU 19/0924c • 8♀♀; (B-34); EMTU 19/0939, 19/0955 • 1♀; (B-37); EMTU 19/0985b.

Remarks: *Aphaenogaster simonellii* Emery, 1894 could not have been recorded from Bozcaada. *Aphaenogaster simonellii* distribution fact and its presence in Türkiye were described in [Sert and Karaman \(2024\)](#). See [Sert and Karaman \(2024\)](#) for more information. All of the old *A. simonellii* records from Türkiye should refer to *A. balcanica* today.



**Figure 2.** *Proformica* sp.\_Bozcaada, minor worker. A- Habitus, B- Head



**Figure 3.** *Proformica* sp.\_Bozcaada, major worker. A- Habitus, B- Head

**26. *Aphaenogaster epirotes* (Emery, 1895)**

Material: 1♀; (B-8); EMTU 19/0575 • 2♀♀; (B-10); EMTU 19/0507a, 19/0511c • 1♀; (B-12); EMTU 19/0666b • 1♀; (B-15); EMTU 19/0644.

**27. *Aphaenogaster festae* Emery, 1915**

Material: 1♀, 48♀♀; (B-10); EMTU 19/0514 • 1♀, 34♀♀; (B-13); EMTU 19/0677, 19/0686 • 1♀; (B-17); EMTU 19/0778 • 35♀♀; (B-18); EMTU 19/0764 • 8♀♀; (B-20); EMTU 19/0731a • 1♀; (B-25); EMTU 19/0842 • 2♀♀; (B-28); EMTU 19/0868b, 19/0873c.

**28. *Aphaenogaster subterraneoides* Emery, 1881**

Material: 1♂; (B-10); EMTU 19/0516b • 1♂; (B-11); EMTU 19/0601.

**29. *Chalepoxenus muellerianus* (Finzi, 1922)**

Material: 1♀; (B-12); EMTU 19/0667d.

**30. *Crematogaster schmidti* (Mayr, 1853)**

Material: 17♀♀; (B-1); EMTU 18/7344j • 2♀♀; (B-4); EMTU 18/7351c • 15♀♀; (B-7); EMTU 19/0554 • 19♀♀; (B-8); EMTU 19/0568a, 19/0572b • 27♀♀; (B-9); EMTU 19/0586 • 33♀♀; (B-10); EMTU 19/0506, 19/0510 • 2♀♀; (B-12); EMTU 19/0651b, 19/0652 • 43♀♀; (B-13); EMTU 19/0676 • 13♀♀; (B-14); EMTU 19/0608a • 2♀♀; (B-15); EMTU 19/0634a, 19/0643b • 27♀♀; (B-16); EMTU 19/0626 • 26♀♀; (B-17); EMTU 19/0776, 19/0980b • 48♀♀; (B-18); EMTU 19/0767b, 19/0769 • 20♀♀; (B-19); EMTU 19/0744c, 19/0746 • 14♀♀; (B-20); EMTU 19/0730b • 1♂; (B-21); EMTU 19/0696b • 12♀♀; (B-22); EMTU 19/0718 • 33♀♀; (B-23); EMTU 19/0818 • 20♀♀; (B-25); EMTU 19/0840a • 12♀♀; (B-26); EMTU 19/0832 • ♀♀; (B-27); EMTU 19/0799, 19/0805 • 2♀♀, ♀♀; (B-28); EMTU 19/0855, 19/0873d • 2♀♀, 24♀♀; (B-29); EMTU 19/0881, 19/0888 • 1♀, 1♂, 25♀♀; (B-30); EMTU 19/0912, 19/0914b, 19/0919b • 45♀♀; (B-31); EMTU 19/0896 • 41♂; (B-33); EMTU 19/0931 • 4♀♀; (B-34); EMTU 19/0942, 19/0945 • 13♀♀; (B-35); EMTU 19/0947 • 15♀♀; (B-36); EMTU 19/0964, 19/0979a • 2♀♀, 31♂♂, ♀♀; (B-37); EMTU 19/0990.

Remarks: *Crematogaster ionia* Forel, 1911 could not have been recorded from Bozcaada. *Crematogaster schmidti* and *C. ionia* distribution facts, similarity and their present taxonomic situation in Türkiye were described in Sert and Karaman (2024). See Sert and Karaman (2024) for more information. Thus, the record of *C. schmidti* from Bozcaada and absence of *C. ionia* is a logical finding.

**31. \* *Crematogaster sordidula* (Nylander, 1849)**

Material: 20♀♀; (B-3); EMTU 18/7350c • 19♀♀; (B-6); EMTU 19/0544 • 3♀♀; (B-10); EMTU 19/0504b • 13♀♀; (B-15); EMTU 19/0639 • 28♀♀; (B-19); EMTU 19/0743a.

**32. *Crematogaster sordidula aeolia* Forel, 1911**

Material: 17♂♂, ♀♀; (B-10); EMTU 19/0519a • 10♀♀; (B-13); EMTU 19/0682 • 17♀♀; (B-17); EMTU 19/0781b • ♀♀; (B-18); EMTU 19/0763 • ♀♀; (B-23); EMTU 19/0821 • 40♀♀; (B-24); EMTU 19/0803 • 22♀♀; (B-25); EMTU 19/0845a • ♀♀; (B-26); EMTU 19/0838 • ♀♀; (B-28); EMTU 19/0860a • ♀♀; (B-31); EMTU 19/0904 • 8♀♀; (B-36); EMTU 19/0976.

**33. *Messor hellenius* Agosti & Collingwood, 1987**

Material: 1♂; (B-6); EMTU 19/0546a • 1♂; (B-7); EMTU 19/0550a • 7♀♀; (B-8); EMTU 19/0577, 19/0578a • 4♀♀; (B-10); EMTU 19/0507b, 19/0513a • 27♀♀; (B-11); EMTU 19/0599 • 17♀♀; (B-12); EMTU 19/0671a, 19/0692a • 4♀♀; (B-14); EMTU 19/0612a • 24♀♀; (B-14); EMTU 19/0614b, 19/0615a, 19/0617a • 7♀♀; (B-20); EMTU 19/0741 • ♀♀; (B-21); EMTU 19/0695b, 19/0701, 19/0704 • 14♀♀; (B-22); EMTU 19/0719.

Remarks: *Messor structor* (Latreille, 1798) could not have been recorded from Bozcaada. *Messor hellenius* which has recently been recorded from Türkiye and similar to *M. structor* and separated from *M. structor* with less longitudinal striation on the head, is recorded from Bozcaada. Thus, the *M. structor* record of Aras and Aktaç (1994) from Bozcaada could be *M. hellenius* which was not known from Türkiye in 1994.

**34. *Messor luridus* Santschi, 1927**

Material: 3♀♀; (B-1); EMTU 18/7344i, 18/7346b • 16♀♀; (B-11); EMTU 19/0590a, 19/0595, 19/0596a • 49♀♀; (B-12); EMTU 19/0658b, 19/0663 • 10♀♀; (B-19); EMTU 19/0750 • 30♀♀; (B-21); EMTU 19/0705 • 4♀♀; (B-22); EMTU 19/0717 • 32♀♀; (B-23); EMTU 19/0815a, 19/0819 • 22♀♀; (B-24); EMTU 19/0809 • 13♀♀; (B-27); EMTU 19/0791a • 1♂; (B-31); EMTU 19/0890b • 2♀♀; (B-32); EMTU 19/0928d • 32♀♀; (B-37); EMTU 19/0983, 19/0986, 19/0991.

**35. *Messor oertzeni* Forel, 1910**

Material: 1♂; (B-8); EMTU 19/0572a • 12♀♀; (B-11); EMTU 19/0602 • 8♀♀; (B-14); EMTU 19/0614a • 6♀♀; (B-21); EMTU 19/0709 • 9♀♀; (B-34); EMTU 19/0933.

**36. *Messor varrialei* Emery, 1921**

Material: ♀♀; (B-5); EMTU 19/0529.

Remarks: This species is similar to *M. sultanus* Santschi, 1917 morphologically. However, the geographic distribution of *M. sultanus* is not suitable to record this species from the western part of Türkiye. Thus, the *M. sultanus* record of Aras and Aktaş (1994) from Bozcaada should refer to *M. varrialei* which has a distribution range in the western part of Türkiye.

**37. *Messor wasmanni* Krausse, 1910**

Material: 17♀♀; (B-1); EMTU 18/7352a • 15♀♀; (B-2); EMTU 18/7347e • 1♀, 19♀♀; (B-5); EMTU 19/0526, 19/0534 • 48♀♀; (B-6); EMTU 19/0548 • 36♀♀; (B-7); EMTU 19/0551, 19/0559 • 23♀♀; (B-8); EMTU 19/0579 • 35♀♀; (B-10); EMTU 19/0500a, 19/0509 • 46♀♀; (B-11); EMTU 19/0597, 19/0600 • 23♀♀; (B-18); EMTU 19/0759, 19/0768 • 46♀♀; (B-19); EMTU 19/0742, 19/0756 • 23♀♀; (B-27); EMTU 19/0791f, 19/0798 • 28♀♀; (B-29); EMTU 19/0887 • 24♀♀; (B-31); EMTU 19/0892 • 8♀♀; (B-30); EMTU 19/0910 • 7♀♀; (B-33); EMTU 19/0929 • 20♀♀; (B-34); EMTU 19/0944 • 20♀♀; (B-37); EMTU 19/0984.

Remarks: This species is similar to *M. meridionalis* (André, 1883) morphologically. However, the geographic distribution of *M. meridionalis* was interpreted in Sert and Karaman (2024) and this species was excluded from Turkish ant list. Thus, the record of *M. wasmanni* from Bozcaada is normal and the old record of *M. meridionalis* from Bozcaada given by Aras and Aktaş (1994) should refer to this species.

**38. *Monomorium monomorium* Bolton, 1987**

Material: 8♀♀; (B-6); EMTU 19/0545a, 19/0549a • 42♀♀; (B-7); EMTU 19/0550e, 19/0556 • 8♀♀; (B-8); EMTU 19/0567 • 1♂; (B-9); EMTU 19/0584 • 37♀♀; (B-10); EMTU 19/0504a • 5♀♀; (B-11); EMTU 19/0596b, 19/0605b • 4♀♀; (B-15); EMTU 19/0649b • 2♀♀; (B-16); EMTU 19/0623, 19/0692e • 6♀♀; (B-17); EMTU 19/0775b • 1♂; (B-19); EMTU 19/0743b • 1♂; (B-25); EMTU 19/0850 • 3♀♀; (B-27); EMTU 19/0791e • 23♀♀; (B-28); EMTU 19/0859b.

**39. *Myrmoxenus cf. krausse***

Material: 1♀; (B-17); EMTU 19/0786b • 16♀♀; (B-36); EMTU 19/0975b.

**40. *Oxyopomyrmex polybotesi* Salata & Borowiec, 2015**

Material: 2♀♀; (B-13); EMTU 19/0692c • 9♀♀; (B-21); EMTU 19/0697b.

**41. \* *Pheidole cf. pallidula***

Material: 21♂, 35♀♀; (B-1); EMTU 18/7343 • 3♂♂, 13♀♀; (B-2); EMTU 18/7348a • 15♀♀; (B-5); EMTU 19/0537 • 1♀, 29♀♀; (B-7); EMTU 19/0550c, 19/0558 • 23♀♀; (B-8); EMTU 19/0568c, 19/0576 • 32♀♀; (B-10); EMTU 19/0502 • 3♀♀, 27♀♀; (B-11); EMTU 19/0591 • 2♀♀, 1♀♀; (B-12); EMTU 19/0660 • 1♀, 12♀♀; (B-13); EMTU 19/0683 • 3♀♀, 14♀♀; (B-14); EMTU 19/0616 • 20♀♀; (B-15); EMTU 19/0637, 19/0649c, 19/0981 • 10♀♀; (B-16); EMTU 19/0621 • 7♀♀, 38♀♀; (B-17); EMTU 19/0787, 19/0790a • 8♀♀, 1♀♀; (B-18); EMTU 19/0761 • 3♀♀, 12♀♀; (B-19); EMTU 19/0751 • 2♀♀, 21♀♀; (B-20); EMTU 19/0732 • 5♀♀; (B-21); EMTU 19/0697a • 2♀♀, 17♀♀; (B-22); EMTU 19/0720a, 19/0721 • 1♀, 8♀♀, 1♀♀; (B-23); EMTU 19/0816 • 1♀, 24♀♀; (B-24); EMTU 19/0807 • 27♀♀; (B-25); EMTU 19/0851 • 6s, 20♀♀; (B-26); EMTU 19/0827b, 19/0830a • 3♀♀, 27♀♀; (B-27); EMTU 19/0795 • 46♀♀; (B-28); EMTU 19/0859a, 19/0869 • 8♀♀, 1♀♀; (B-29); EMTU 19/0877, 19/0886a • 4♀♀, 24♀♀; (B-30); EMTU 19/0917 • 1♀, 24♀♀; (B-31); EMTU 19/0890a, 19/0902, 19/0906 • 1♀, 9♀♀; (B-32); EMTU 19/0924d, 19/0925a • 2♀♀, 8♀♀; (B-33); EMTU 19/0930 • 2♀♀, 9♀♀; (B-34); EMTU 19/0941 • 6♀♀, 14♀♀; (B-36); EMTU 19/0969, 19/0979b • 2♀♀, 29♀♀; (B-37); EMTU 19/0985a, 19/0989.

**42. *Solenopsis cf. fugax/lusitanica***

Material: 1♀; (B-13); EMTU 19/0690 • 2♂♂, 39♀♀; (B-28); EMTU 19/0868a.

**43. *Solenopsis orbula* Emery, 1875**

Material: 35♀♀; (B-10); EMTU 19/0515 • ♀♀; (B-15); EMTU 19/0632.

**44. *Temnothorax aeolius* (Forel, 1911)**

Material: 1♀; (B-1); EMTU 18/7344c • 1♀; (B-14); EMTU 19/0612b • 1♀; (B-15); EMTU 19/0634d • 1♀; (B-16); EMTU 19/0618c • 12♀♀; (B-20); EMTU 19/0734b, 19/0736 • 1♀; (B-22); EMTU 19/0714c.

**45. *Temnothorax antigoni* (Forel, 1911)**

Material: 1♀; (B-8); EMTU 19/0568d • 30♀♀; (B-10); EMTU 19/0511b, 19/0512 • 23♀♀; (B-17); EMTU 19/0786a • 1♀; (B-20); EMTU 19/0734a • 1♀, 24♀♀; (B-23); EMTU 19/0825a • 2♀♀, ♀♀; (B-26); EMTU 19/0834, 19/0835 • 1♀, 4♀♀; (B-28); EMTU 19/0873b • 2♀♀; (B-29); EMTU 19/0886b • 1♀; (B-35); EMTU 19/0960a.

**46. *Temnothorax flavicornis* (Emery, 1870)**

Material: 1♀; (B-7); EMTU 19/0550d • 3♀♀; (B-36); EMTU 19/0973b.

**47. *Temnothorax recedens* (Nylander, 1856)**

Material: 22♀♀; (B-36); EMTU 19/0975a.

**48. *Temnothorax semiruber* (André, 1881)**

Material: 13♀♀; (B-5); EMTU 19/0536 • 7♀♀; (B-7); EMTU 19/0560 • 20♀♀; (B-9); EMTU 19/0585 • 9♀♀; (B-11); EMTU 19/0604a • 6♀♀; (B-12); EMTU 19/0653, 19/0667c • 24♀♀; (B-16); EMTU 19/0622 • 1♀; (B-19); EMTU 19/0743c • 23♀♀; (B-20); EMTU 19/0727, 19/0735 • 2♀♀; (B-22); EMTU 19/0714b • 19♀♀; (B-31); EMTU 19/0895.

**49 *Temnothorax strymonensis* Csősz, Salata & Borowiec, 2018**

Material: 3♀♀; (B-29); EMTU 19/0886c.

**50. *Tetramorium bellerophoni* Salata & Borowiec, 2017**

Material: ♀♀; (B-11); EMTU 19/0598.

**51. *Tetramorium cf. caespitum***

Material: 20♀♀; (B-6); EMTU 19/0542a • 39♀♀; (B-21); EMTU 19/0695a, 19/0699b, 19/0708 • 14♀♀; (B-28); EMTU 19/0863 • ♀♀; (B-30); EMTU 19/0908, 19/0911, 19/0921.

**52. *Tetramorium diomedea* Emery, 1908**

Material: 1♀; (B-1); EMTU 18/7344e • 44♀♀; (B-2); EMTU 18/7349a • 21♀♀; (B-5) EMTU 19/0531 • 28♀♀; (B-19); EMTU 19/0749 • 23♀♀; (B-20); EMTU 19/0726 • 11♀♀; (B-24); EMTU 19/0800.

**53. *Tetramorium flavidulum* Emery, 1924**

Material: 36♀♀; (B-9); EMTU 19/0581 • ♀♀; (B-22); EMTU 19/0715.

Remarks: [Aras and Aktaç \(1994\)](#) recorded *T. chefketi* Forel, 1911 from Bozcaada, but this species could not be recorded in this study. However, *T. flavidulum*, which is from the same species group, was recorded from Bozcaada.

**54. *Tetramorium galaticum* Menozzi, 1936**

Material: 21♂, ♀♀; (B-1); EMTU 18/7340, 18/7342 • ♀♀; (B-5); EMTU 19/0523 • 8♀♀; (B-11); EMTU 19/0592 • ♀♀; (B-19); EMTU 19/0745 • ♀♀; (B-33); EMTU 19/0932.



Remarks: [Aras and Aktaç \(1994\)](#) recorded *T. semilaeve* André, 1882 and *T. lucidula* Emery, 1909 from Bozcaada. [Borowiec et al. \(2015\)](#) stated that the true *T. semilaeve* is distributed in the western part of the Mediterranean region and that the type series of the species includes more than one species. Therefore, it is normal that the species is not found in Bozcaada. *Tetramorium galaticum* was a subspecies of *T. lucidula* in 1994, and [Salata and Borowiec \(2017\)](#) elevated this taxon to species level in 2017. Therefore, according to the current literature, the *T. lucidula* record of [Aras and Aktaç \(1994\)](#) should be attributed to *T. galaticum*.

#### 55. *Tetramorium hippocratis* [Agosti & Collingwood, 1987](#)

Material: 1♀; (B-1); EMTU 18/7344f • 4♀♀; (B-2); EMTU 18/7347g • ♀♀; (B-5); EMTU 19/0533 • 6♀♀; (B-7); EMTU 19/0555 • 6♀♀; (B-8); EMTU 19/0572d • 15♂♂, ♀♀; (B-10); EMTU 19/0508, 19/0519b • 21♀♀; (B-12); EMTU 19/0664, 19/0668 • 1♀; (B-13); EMTU 19/0687b • 20♀♀; (B-14); EMTU 19/0613 • 1♀; (B-16); EMTU 19/0692d • 1♀; (B-31); EMTU 19/0893 • 2♀♀; (B-34); EMTU 19/0936 • 1♀; (B-36); EMTU 19/0973a • 6♀♀; (B-37); EMTU 19/0982b.

#### 56. *Tetramorium hungaricum* [Rösler, 1935](#)

Material: 1♀; (B-18); EMTU 19/0758b • ♀♀; (B-28); EMTU 19/0864 • 11♀♀; (B-30); EMTU 19/0920.

#### 57. *Tetramorium immigrans* [Santschi, 1927](#)

Material: ♀♀; (B-1); EMTU 18/7337d, 18/7338a, 18/7344d • 24♀♀; (B-37); EMTU 19/0992.

#### 58. *Trichomyrmex dentigera* ([Roger, 1862](#))

Material: 3♀♀; (B-6); EMTU 19/0545b.

#### 59. *Trichomyrmex perplexus* ([Radchenko, 1997](#))

Material: 17♂♂, 3♀♀; (B-6); EMTU 19/0541 • 1♀; (B-8); EMTU 19/0571c • 5♂♂, 5♀♀; (B-10); EMTU 19/0500e, 19/0519c • 8♀♀; (B-16); EMTU 19/0628a.

### Subfamily: PONERINAE Lepeletier de Saint-Fargeau

#### 60. *Ponera coarctata* ([Latreille, 1802](#))

Material: 1♀; (B-17); EMTU 19/0788.

## 4. Discussion

In this study, a total of 700 ant material obtained during the field studies conducted in 2018-2019 in Bozcaada were examined and 60 ant taxa belonging to 4 subfamilies and 22 genera were identified. From these results, the Ponerinae subfamily and 10 genera (*Bothriomyrmex* [Emery, 1869](#), *Colobopsis* [Mayr, 1861](#), *Chalepoxenus* [Menozzi, 1923](#), *Monomorium* [Mayr, 1855](#), *Myrmoxenus* [Ruzsky, 1902](#), *Oxyopomyrmex* [André, 1881](#), *Ponera* [Latreille, 1804](#), *Solenopsis* [Westwood, 1840](#), *Temnothorax* [Mayr, 1861](#) and *Trichomyrmex* [Mayr, 1865](#)) are new records for Bozcaada ant fauna. Although no new taxa could be identified for the Turkish ant fauna among the recorded taxa, 47 of the 60 taxa, excluding 13 species (*Camponotus aethiops*, *C. lateralis*, *C. piceus*, *C. sanctus*, *C. samius*, *Cataglyphis nodus*, *Crematogaster sordidula*, *Lasius alienus*, *Lepisiota frauenfeldi*, *Messor oertzeni*, *Pheidole* cf. *pallidula*, *Plagiolepis pygmaea*, *Tetramorium* cf. *caespitum*) previously recorded by [Aras and Aktaç \(1994\)](#) are new records for Bozcaada ant fauna.

13 of the 26 ant species identified by [Aras and Aktaç \(1994\)](#) could not be recorded in this study. The reasons for why 11 of these species could not be detected in this study were discussed under the relevant species of the Results section. The other two species are *Formica cunicularia* [Latreille, 1798](#) and *Formica gagates* [Latreille, 1798](#). [Aras and Aktaç \(1994\)](#) recorded one worker of *Formica cunicularia* from Tuzburnu and *Formica gagates* from Sulubahçe province of Bozcaada indicating that the nests of these species could not be sampled by [Aras and Aktaç \(1994\)](#). These two localities were thoroughly investigated in this study for at least two and a half hours to find these two *Formica* species, but no samples of these species could be found. *Formica gagates* has a whole body black color and is very similar to the major workers of the genus *Proformica*. Thus, this record might be a major worker *Proformica* which was recorded from seven different localities in this study. The other species that could not be recorded in this study, *Formica cunicularia*, is a very common species in open rural and urban areas of mainland of Türkiye. However, although the Tuzburnu and other 36

localities were investigated in detail, specimens of this species could not be recorded. This result suggests that the species may have been transported to the island from the mainland and failed to settle, or its presence on the island has disappeared due to ecological conditions and/or competition with other species. In addition, representatives of the *Formica* genus do not have a distribution also in Gökçeada and Samos Islands which have similar conditions with Bozcaada and very close to the mainland of Türkiye (Scupola & Borowiec, 2023; Sert & Karaman, 2024). This information provides evidence that the *Formica* record of Aras and Aktaç (1994) could be considered a suspicious record.

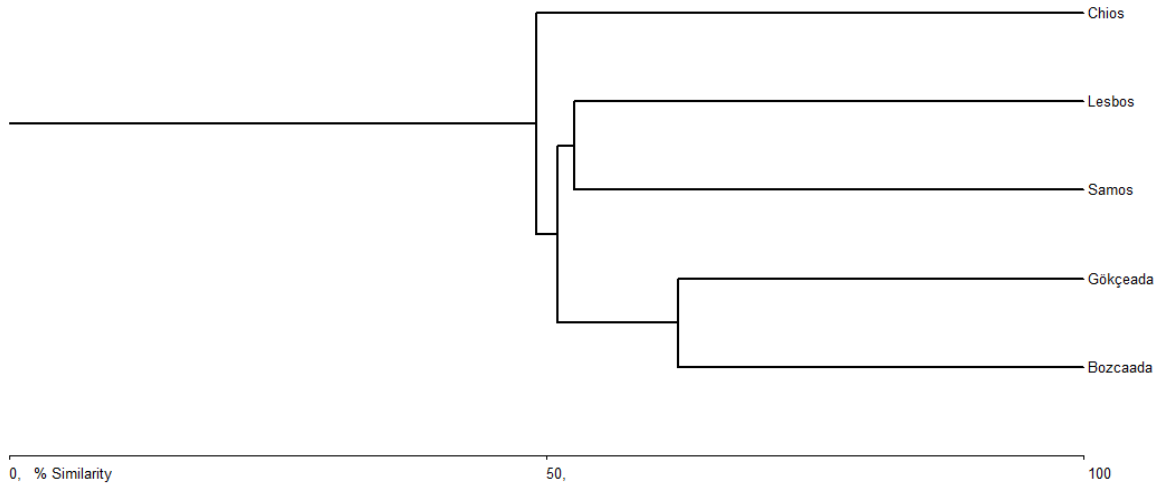
*Lepisiota frauenfeldi* was recorded from all 12 habitats surveyed and determined as the species with the highest ecological valence. *Aphaenogaster balcanica* and *Messor wasmannii* had the second highest ecological valence, each recorded from 10 habitats, after *L. frauenfeldi*. Among the 12 habitats studied, the red pine forest is the most speciose habitat with 51 taxa. Nine species that could not be found from the red pine forest are *Lasius alienus*, *L. schulzi*, *Messor oertzeni*, *M. varrialei*, *Tapinoma subboreale/festae*, *Temnothorax strymonensis*, *Tetramorium bellerophoni*, *T. galaticum*, and *T. immigrans*. Although red pine forest is not the dominant habitat in Bozcaada island, many species have been recorded from this habitat, since red pine forest hosts many different microhabitats for different ant species to occupy.

Recently, Scupola and Borowiec (2023) summarized the ant species numbers of Greek islands and showed that the myrmecofauna of 15 Greek islands are well studied. The number of known ant species from these islands and their surface areas are as follows: Crete (8336 km<sup>2</sup>) 99 species, Euboea (Evia, Eubea) (3684 km<sup>2</sup>) 70 species, Lesbos (1633 km<sup>2</sup>) 61 species, Rhodes (1401km<sup>2</sup>) 81 species, Chios (842 km<sup>2</sup>) 39 species, Kefalonia (Cephalonia) (781km<sup>2</sup>) 74 species, Corfu (593 km<sup>2</sup>) 68 species, Samos (477 km<sup>2</sup>) 71 species, Naxos (430 km<sup>2</sup>) 35 species, Zakynthos (406 km<sup>2</sup>) 48 species, Kos (387 km<sup>2</sup>) 49 species, Thassos (380 km<sup>2</sup>) 58 species, Andros (380 km<sup>2</sup>) 19 species, Karpathos (324 km<sup>2</sup>) 60 species, Lefkada (303 km<sup>2</sup>) 21 species. According to the above data, although the surface area of the islands other than Crete and Rhodes is much larger than the Turkish islands, the number of known ant species is similar to the Turkish islands. Of these islands, Lesbos, Chios and Samos are very close to the Anatolian part of Türkiye, among which Samos is only one km away from Turkish mainland and is closer than Bozcaada and Gökçeada. These Greek islands are 45, 23 and 13 times larger than Bozcaada and 5.65, 2.89 and 1.65 times larger than Gökçeada, respectively. When the Turkish islands are compared to these Greek islands in terms of surface area and number of known ant species, it can be clearly seen that the Turkish islands host much more ant species than the Greek islands, despite their smaller surface area. This difference may be due to the fact that while many localities have been investigated in Turkish islands, the Greek islands have not been sampled in much detail as the Turkish islands. For example, while 37 different localities were investigated over the 36 km<sup>2</sup> Bozcaada, and 73 different localities over the 289 km<sup>2</sup> Gökçeada, 25 different localities were investigated in the 476 km<sup>2</sup> Samos. As a result of these interesting data obtained, it can be clearly said that the detection of the ant fauna of each island should be investigated in detail, otherwise the true species richness may not be fully revealed. Furthermore, Borowiec et al. (2022) mentioned that the temperature reached to 40°C in June in Greek islands and to obtain more accurate results, these islands should be investigated in the spring months when the temperature values are lower and the ants are more active. This statement is also valid for Turkish Islands and to reach exact ant biodiversity in these islands, it is very important to study ant fauna in appropriate dates.

The similarities between the Turkish islands and the Greek islands, which are very close to the Turkish mainland, are examined in terms of known ant species by the Bray-Curtis similarity analysis. The analysis revealed that Bozcaada and Gökçeada are the most similar islands with a rate of 62% (Figure 4 and Table 2). Among the Greek islands included in the analysis, Bozcaada and Gökçeada are most similar to Samos, with rates of 48% and 51%, respectively. This is an expected result for Samos island which is very close to Turkish mainland than Bozcaada and Gökçeada islands and also is the well studied Greek island among the analysed islands. The least similarity of the Turkish islands was found to be with the island of Chios, with a rate of 36% and 37.8%, respectively. This result may be due to the ant fauna of Chios is not studied well and only 36 ant species are known from the island. It is thought that this low similarity outcome will change when the ant fauna of Chios island is well investigated and the number of species known from the island increases accordingly.

The data obtained from this study indicated that there is a need to investigate the ant fauna of the islands in detail in order to fully understand the ant fauna of Türkiye. Moreover, many probably new species are waiting to be detected and described.

Bray-Curtis Cluster Analysis (Single Link)



**Figure 4.** Dendrogram of Bray-Curtis similarity analysis for Turkish and Greek Islands

**Table 2.** Turkish and Greek Islands Bray-Curtis similarity analysis results

Step	Clusters	Distance	Similarity	Joined 1	Joined 2
1	4	37.7777786	62.2222214	1	2
2	3	47.3684196	52.6315804	3	4
3	2	48.965519	51.034481	1	3
4	1	50.9090919	49.0909081	1	5
<b>Similarity Matrix</b>					
	<b>Bozcaada</b>	<b>Gökçeada</b>	<b>Samos</b>	<b>Lesbos</b>	<b>Chios</b>
<b>Bozcaada</b>	*	62.2222	47.7612	47.1545	36
<b>Gökçeada</b>	*	*	51.0345	50.7463	37.8378
<b>Samos</b>	*	*	*	52.6316	49.0909
<b>Lesbos</b>	*	*	*	*	36.3636
<b>Chios</b>	*	*	*	*	*

**Acknowledgement**

We would like to thank Kadri KIRAN (Trakya University) for his help of preparation of the ant photographs. This paper was produced from part of MSc thesis of Nermin TOPTAŞ. This study was financially supported by Trakya University, Scientific Research Projects Coordination Unit (TUBAP) with the number 2019-179.

**Author contribution**

Author Contributions: Concept: N.T., C.K., Design: N.T., C.K., Execution: N.T., C.K., Material supplying: C.K., Data acquisition: N.T., C.K., Data analysis/interpretation: N.T., C.K., Writing: N.T., C.K., Critical review: C.K.

**Declaration of ethical code**

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

**Conflicts of interest**

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Aras, A., & Aktaç, N. (1992). Gökçeada karınca faunası hakkında ön araştırma. *11th National Congress of Biology*, Elazığ.
- Aras, A., & Aktaç, N. (1994). Bozcaada Karınca Faunası. *12th National Congress of Biology*, Edirne.
- Borowiec, L., Galkowski, C., & Salata, S. (2015). What is *Tetramorium semilaeve* André, 1883? (Hymenoptera, Formicidae). *ZooKeys*, 512, 39-62. <https://doi.org/10.3897/zookeys.512.10006>
- Borowiec, L., Lebas, C., & Salata, S. (2022). Notes on ants (Hymenoptera: Formicidae) from three northern Aegean islands—Lemnos, Samothraki and Thasos. *Annals of the Upper Silesian Museum in Bytom Entomology*, 31(10), 1-14. <http://doi.org/10.5281/zenodo.7346453>
- Borowiec, L., van Delft, J. P. L., van Delft J. J. C. W., & Salata, S. (2023). Five ant species (Hymenoptera: Formicidae) new to the Greek fauna with notes on ants from Greek Thrace. *Annals of the Upper Silesian Museum in Bytom Entomology Newsletter*, 32(08), 1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10101028>
- Donisthorpe, H. (1950). A first instalment of the ants of Turkey. *Annals and Magazine of Natural History*, (12)3, 1057-1067.
- Emery, C. (1870). Studi mirmecologici. *Bullettino della Società Entomologica Italiana*, 2, 193-201.
- Emery, C. (1905). Le forme paleartiche del *Camponotus maculatus* F. *Rendiconto delle Sessioni della R. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna*, (n.s.) 9, 27-44.
- Forel, A. (1906). Fourmis d'Asie mineure et de la Dobrudscha récoltées par M. le Dr. Oscar Vogt et Mme Cécile Vogt, Dr. méd. *Annales de la Société Entomologique de Belgique*, 50, 187-190.
- Gibb, H., Contos, P., Photakis, M., Okey, I., Dunn, R. R., Sanders, N. J., & Jones, M. M. (2024). Morphological Strategies in Ant Communities along Elevational Gradients in Three Mountain Ranges. *Diversity*, 16, 48. <https://doi.org/10.3390/d16010048>
- Karaman, C. (2012). *Camponotus ruseni* n. sp. (Hymenoptera: Formicidae) – A Putative Second Parasitic Species of the Genus *Camponotus* Mayr. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 85(4), 309-317. <https://doi.org/10.2317/0022-8567-85.4.309>
- Karaman, C., & Aktaç, N. (2013). Descriptions of Four New Species of *Camponotus* Mayr (Hymenoptera: Formicidae), with a Key for the Worker Caste of the *Camponotus* of Turkey. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 86(1), 36-56. <https://doi.org/10.2317/JKES120516.1>
- Karaman, C., Kiran, K., Aksoy, V., & Çamlıtepe, Y. (2015). First Record of the South European Rare Parasitic Ant Species *Camponotus universitatis* Forel (Hymenoptera, Formicidae) in Asia. *Journal of the Entomological Research Society*, 17(1), 45-49.
- Karaman, C., Kiran, K., Aksoy, V., & Çamlıtepe, Y. (2017). A new species of the genus *Camponotus* (Mayr) (Hymenoptera, Formicidae) from Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 41, 998-1004. <https://doi.org/10.3906/zoo-1704-20>
- Karaman, C., & Kiran, K. (2018). New Tramp Ant Species for Turkey: *Tetramorium lanuginosum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 19(1), 51-54. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.340008>
- Kiran, K., Aktaç, N., & Tezcan, S. (2008). Three new species of ants, genus *Aphaenogaster* (Hymenoptera: Formicidae) from Turkey. *Biologia* 63 (5): 689-695. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0123-y>
- Kiran, K., & Karaman, C. (2012). First annotated checklist of the ant fauna of Turkey (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 3548, 1-38. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3548.1.1>
- Kiran, K., Karaman, C., Lapeva-Gjonova, A., & Aksoy, V. (2017). Two new species of the "ultimate" parasitic ant genus *Teleutomyrmex* KUTTER, 1950 (Hymenoptera: Formicidae) from the Western Palaearctic. *Myrmecological News*, 25, 145-155. [https://doi.org/10.25849/myrmecol.news\\_025:145](https://doi.org/10.25849/myrmecol.news_025:145)

- Kiran, K., & Karaman, C. (2020). Additions to the Ant Fauna of Turkey (Hymenoptera, Formicidae). *Zoosystema*, 42(18), 285-329. <https://doi.org/10.5252/zoosystema2020v42a18>
- Kiran, K., & Karaman, C. (2021). Ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of Central Anatolian Region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 45(3), 161-196. <https://doi.org/10.3906/zoo-2008-6>
- Kiran, K., Karaman, C., & Heinze, J. (2021). First Record of the Inquiline Ant *Leptothorax kutteri* Buschinger, 1965 from Turkey. *Sociobiology*, 68(3), e7224. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i3.7224>
- Salata, S., & Borowiec, L. (2015a). Redescription of *Crematogaster cypria* Santschi, 1930, new status, with description of two new related species from Greece and Turkey (Hymenoptera, Formicidae). *Zookeys*, 550, 59-77. <https://doi.org/10.3897/zookeys.505.9566>
- Salata, S., & Borowiec, L. (2015b). A taxonomic revision of the genus *Oxyopomyrmex* André, 1881 (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 4025(1), 1-66. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4025.1.1>
- Salata, S., & Borowiec, L. (2015c). Redescription of *Temnothorax antigoni* (Forel, 1911) and description of its new social parasite *Temnothorax curtisetosus* sp. n. from Turkey (Hymenoptera, Formicidae). *Zookeys*, 523, 129-148. <https://doi.org/10.3897/zookeys.523.6103>
- Salata, S., & Borowiec, L. (2017). Species of *Tetramorium semilaeve* complex from Balkans and Western Turkey, with Description of Two New Species of (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Annales Zoologici (Warszawa)*, 67(2), 279-313. <https://doi.org/10.3161/00034541ANZ2017.67.2.008>
- Salata, S., Loss, A.C., Karaman, C., Kiran, K., & Borowiec, L. (2019). Review of the *Camponotus kiesewetteri* group (Hymenoptera, Formicidae) in the Aegean with the description of a new species. *Zookeys*, 899, 85-107. <https://doi.org/10.3897/zookeys.899.46933>
- Salata, S., Karaman, C., Kiran, K., & Borowiec, L. (2021). Review of the *Aphaenogaster splendida* species-group (Hymenoptera: Formicidae). *Annales Zoologici*, 71, 297-343. <https://doi.org/10.3161/00034541ANZ2021.71.2.008>
- Schkaff, B. (1924). Formiche di Costantinopoli. *Bollettino della Societa Entomologica Italiana*, 56, 90-96.
- Scupola, A., & Borowiec, L. (2023). Ants (Hymenoptera Formicidae) of Greek islands: where we are. In M. Masseti (Ed.), *Life on Islands 2. Zoological diversity of the Aegean Archipelago* (pp. 185-231).
- Seifert, B. (2016). Inconvenient hyperdiversity – the traditional concept of “*Pheidole pallidula*” includes four cryptic species (Hymenoptera: Formicidae). *Soil Organisms*, 88(1), 1-17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.270253>
- Seifert, B. (2019). A taxonomic revision of the members of the *Camponotus lateralis* species group (Hymenoptera: Formicidae) from Europe, Asia Minor and Caucasia. *Soil Organisms*, 91(1), 7-32. <https://doi.org/10.25674/SO-91-1-02>
- Seifert, B. (2020). A taxonomic revision of the Palaeartic members of the subgenus *Lasius* s. str. (Hymenoptera, Formicidae). *Soil Organisms*, 92(1), 15-86. <https://doi.org/10.25674/so92iss1pp15>
- Seifert, B. (2023). A revision of the Palaeartic species of the ant genus *Cardiocondyla* Emery 1869 (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 5274, 1-64. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5274.1.1>
- Sert, E., & Karaman, C. (2024). Myrmecofauna (Hymenoptera, Formicidae) of Gökçeada Island, Türkiye. *Sakarya University Journal of Science*, 28(2), 392-409.
- Wagner, H. C., Karaman, C., Aksoy, V., & Kiran, K. (2018). A mixed colony of *Tetramorium immigrans* Santschi, 1927 and the putative social parasite *Tetramorium aspina* sp.n. (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 28, 25-33. [https://doi.org/10.25849/myrmecol.news\\_028:025](https://doi.org/10.25849/myrmecol.news_028:025)

## Nerdüş Deresi'nin (Şırnak) su kalitesine asfaltit ocaklarının etkisinin değerlendirilmesi

*Evaluation of the impact of asphaltite mines on the water quality of Nerdüş Stream (Şırnak)*

Orkun KANTARCI\*<sup>1</sup>, Hacı Alim BARAN<sup>2</sup>, Sadiye KANTARCI<sup>3</sup>, M. Tahir NALBANTÇILAR<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 73000, Şırnak

<sup>2</sup>Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 72000, Batman

<sup>4</sup>Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 06000, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 14.03.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 06.05.2024

### Öz

Bu çalışmada, Şırnak il merkezinde işletilmekte olan asfaltit madenlerinin yakınından akan Nerdüş Deresi'nin su kalitesi ve suda madenlerden kaynaklı metal yüklerinin asidiklik etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, dereden mevsimsel değişime bağlı olarak kurak ve yağışlı dönemde olmak üzere alınan su örneklerinin fiziksel parametreleri yerinde ölçümlerle ve majör anyon-kasyon içerikleri ise laboratuvar analizleriyle belirlenmiştir. Dereden alınan örneklerin analizleri genellikle  $Ca^{+2}+Mg^{+2}>Na^{+}+K^{+}$  olup, karbonatlı ve sülfatlı sular tipinde ve  $HCO_3^{-}+CO_3^{-2}>Cl^{-}+SO_4^{-2}$  olan sulardan oldukları belirlenmiştir. Su örneklerinin majör anyon-kasyon analiz sonuçları WHO (2011) ve TS 266 (2005) standartlarına göre değerlendirildiğinde, elementlerin genel olarak sınır değerler içerisinde olduğu, ancak yağışlı dönemde potasyum ve kurak dönemde sülfat içerikleri bakımından içme amaçlı kullanıma uygun olmadıkları belirlenmiştir. TDS değerinin 300-900 mg/L sınır değerleri aralığında olup "kabul edilebilir ve adil" sınıfta yer aldığı, fakat bu değerlerin nispeten yüksek olmasının nedeninin, dere çevresinde yer alan asfaltit maden sahalarının jeolojik formasyonlarının suyun kimyasını etkilemesinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca; su örneklerinin C2-C3 (Orta Tuzlu-Yüksek Tuzlu Su) sınıfında yer aldığı, suyun nötr ve düşük metal konsantrasyon içeriğine sahip olmasından dolayı madenden kaynaklı bir asidite olmadığı belirlenmiştir. Nerdüş Deresi'nin suyunun orta derecede tuza ihtiyacı olan ve sodyuma karşı hassas olan bitkiler dışındaki bitkiler için kullanılabilirliği mümkün olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Açık ocak, Asfaltit, Madencilik, Nerdüş Deresi, Su kalitesi

### Abstract

In this study, the water quality of Nerdüş Stream, which flows near the asphaltite mines operated in Şırnak city center, and the acidity effect of metal loads in the water originating from the mines were investigated. For this purpose, the physical parameters of water samples taken from the stream during dry and rainy periods, depending on seasonal changes, were determined by on-site measurements and major anion-cation contents were determined by laboratory analyses. Analyses of the samples taken from the stream generally showed  $Ca^{+2}+Mg^{+2}>Na^{+}+K^{+}$ , and it was determined that they were carbonated and sulphate type waters and  $HCO_3^{-}+CO_3^{-2}>Cl^{-}+SO_4^{-2}$ . When the major anion-cation analysis results of water samples were evaluated according to WHO (2011) and TS 266 (2005) standards, it was determined that the elements were generally within the limit values, but they were not suitable for drinking purposes in terms of potassium content in the rainy period and sulfate content in the dry period. It has been evaluated that the TDS value is within the limit values of 300-900 mg/L and is in the "acceptable and fair" class, but the reason why this value is relatively high may be because the geological formations of asphaltite mines affect the chemistry of the water. Moreover, It was determined that the water samples were in the C2-C3 (Medium Saline – High Saline Water) class, and that there was no acidity caused by the mine since the water was neutral and had a low metal concentration content. It will be possible to use the water of Nerdüş Stream for plants other than those that need moderate salt and are sensitive to sodium.

**Keywords:** Open pit, Asphaltite, Mining, Nerdüş stream, Water quality

\*Orkun KANTARCI; orkunkantarci@sirnak.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Dünya nüfusundaki hızlı artış, üretim ve sanayi sektöründeki ekonomik büyümeye bağlı olarak su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, gelecek yıllarda su gereksiniminin karşılanmasında ciddi zorlukların ortaya çıkabileceği ve bölgesel su krizlerinin oluşacağı yönünde görüşler yaygınlaşmaktadır. Kullanılabilir su kaynaklarının azalmasının yanı sıra yüzey ve yeraltı sularının da kirlenmesi canlıların yaşamını olumsuz etkilemektedir (Kavaf & Nalbantçılar, 2007; Yıldız vd., 2008; Nalbantçılar & Pinarkara, 2015; Nalbantçılar & Pinarkara, 2016; Evsahibioğlu vd., 2010; Cetin vd., 2017).

Bir bölgenin hâkim jeolojik özellikleri, formasyonların bileşimleri, içerdiği minerallerin yapı ve dokusal özellikleri, maden zuhurları, havza oluşum şartları, paleoklim durumu ve benzeri birçok etmen, oradaki yüzey sularının özelliklerini ve kalitesini etkilemektedir (Gültekin & Dilek, 2005; Nalbantçılar & Guzel, 2006; Sipahi & Uslu, 2016; Tahmasebzadeh Bastam & Gültekin, 2017; Semiz vd., 2021; Baran vd., 2023). Şırnak ilinin Bitlis-Zağros yamanma kuşağında yer alması nedeniyle zengin jeolojik özelliklere sahip olduğu ve il genelinde çok sayıda zehir ve ocak bulunmaktadır. Maden sahaları doğadaki element kirliliklerinin en önemli kaynaklarından. Bu nedenle maden sahalarının etkilediği toprak, bitki, dere sedimanı ve sularda ağır metal/iz element birikimine yönelik çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Bosco vd., 2005; Önder & Dursun, 2005; Önder vd., 2007; Murakami vd., 2009; Yaylalı-Abanuz & Tüysüz, 2009; Ahdy & Khaled, 2009; Rodriguez-Barroso vd., 2009; Machender vd., 2011; Miao vd., 2011; Yaylalı-Abanuz vd., 2012; Howladar vd., 2014, Nalbantçılar & Pinarkara, 2015; Köktan vd., 2019; Bulltail & Walter, 2020; Sahoo & Khaoash, 2020; Jiang vd., 2023).

Şırnak il ekonomisi ve istihdamına önemli katkılar sunan asfaltit maden ocaklarının uzun yıllardır işletilmesi nedeniyle geniş alanlara yayılmış ve büyük hacimlere ulaşan pasa sahaları oluşmuştur. Birçok madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi asfaltit üretimi sırasında ve sonrasında da sahanın hidrolojik ve jeomorfolojik özellikleri etkilenmektedir (Chen vd., 2015). Genellikle madencilik faaliyetleri, işletilen madenin türüne ve yerleştiği ana kayacın jeolojik özelliklerine bağlı olarak toprak, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olmakta ve önlenmemesi durumunda bütün yaşam formlarının sağlığını olumsuz etkileyebilecek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir (Yıldız vd., 2008; Akaryalı vd. 2018; Alemdağ vd. 2020a, b; Gücer vd. 2020). Belirli oksidasyon koşulları altında; yüksek konsantrasyonlara sahip metal ve sülfür içeren kayaçlar ve pasalar; yağış, yüzey ve yeraltı suları ile etkileşimine bağlı olarak suya geçebilir. Bu sebeple, sulama suyu olarak kullanıldığında sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları değil aynı zamanda besin zinciri de etkilenmektedir (Kocaer & Başkaya, 2003; Şanlıyüksel Yücel & Yücel, 2017). Kalitesinin değişmiş olduğu bir suyun; tarım ve balık üretim çiftlikleri gibi faaliyetlerde kullanımı, toplu balık ölümleri ve benzeri sonuçlara ulaşan, canlılarda geri dönüşü olmayacak ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

Yüzey suları yağışlı dönemlerde kar ve yağmur sularının fazlalığı nedeniyle seyrelemeden dolayı daha az oranda iyon içerirken, kurak dönemde ise buharlaşmanın etkisiyle daha çok iyon içermekte olup, yüzey sularının kimyasal özelliği zamanla değişiklik göstermektedir (Fırat Ersoy & Hatipoğlu Temizel, 2022). Su kalitesinin değerlendirilmesinde, bu durumun da göz önünde bulundurulması önemlidir.

Bu çalışmada, Şırnak il merkezinde bulunan Nerdüş Deresi'nin mevsimsel değişime bağlı olarak kurak ve yağışlı dönem fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek suyun kalitesinin belirlenmesi, kullanım amaçlarına göre uygunluğunun tespiti ve bu özelliklerinden yola çıkılarak asfaltit madenlerinin jeolojik formasyonlarına bağlı olarak su içerisinde oluşabilecek metal yüklerinin asidiklik etkisi de araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2. Material and method

Araştırma alanında mevsimsel değişimlere bağlı olarak su örnekleri üzerindeki değişimleri izleyebilmek için yılda iki defa örnekleme yapılmıştır. Yağışların etkisiyle toprakta elementlerin hareketliliğinin değişebileceği ve su debisinin değişimine bağlı olarak da sudaki element konsantrasyonları farklılık göstereceğinden, maden sahalarının yayılımı dikkate alınarak Nerdüş Deresi ve çevresinden su numuneleri alınmıştır. Belirlenen 8 lokasyondan yılın kurak ve yağışlı dönemini temsil edecek zaman aralığında (Eylül-2021 ve Mayıs-2022) olmak üzere 2 kez örnekleme yapılarak toplamda 16 adet su numunesi alınmıştır. İnceleme alanındaki örnek





tespiti laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Su numunesi temini belirlenen lokasyonlarda dere sularından standart numune alma prosedürlerine göre yapılmıştır (APHA, 1992; SKKY, 2009; TS EN ISO 5667, 2007). Araziden alınan su örneklerinin anyon-kasyon içerikleri (Na, K, Mg, Ca, Cl, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub>) ve iz element içerikleri (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında belirlenmiştir.

Eylül-2021'de kurak ve Mayıs-2022'de yağışlı dönemde alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları ile, Nerdüş Deresi'nin sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; analiz sonuçlarından yararlanılarak Değiştirilebilir Sodyum Yüzdesi (ESP, %Na) (Wilcox, 1955; Todd, 1980, Amrhein, 1996), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) (Richards, 1954), Toplam Sertlik (Sawyer & McCarty, 1967), Permabilite İndeksi (PI) (Doneen, 1964) ve Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) (Catrol, 1962; Freeze & Cherry, 1979) değerleri hesaplanmıştır. Su kalitesinin değerlendirilmesinde her bir parametrenin hesaplanmasında kullanılan denklemler ve su kalitesi sınıflandırması Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı su kalitesi oranlarına/parametrelerine göre su kalitesi sınıflandırması (Omuto vd., 2020, Mansilha vd., 2021, Yılmaz vd., 2021, Arade, 2021, Er & Şener, 2023).

**Table 1.** Water quality classification according to different water quality ratios/parameters (Omuto et al., 2020, Mansilha et al., 2021, Yılmaz et al., 2021, Arade, 2021, Er & Şener, 2023).

Parametre		Aralık	Kategori
SAR	$= \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$	(meq/L) <10 10-18 18-26 >26	Mükemmel İyi Şüpheli Uygun Değil
EC		(µS/cm) <250 250-750 750-2250 >2250	C1: Düşük Tuzlu Su C2: Orta Tuzlu Su C3: Yüksek Tuzlu Su C4: Çok Yüksek Tuzlu Su
ESP	$= \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}} \times 100$	(meq/L) <20 20-40 40-80 >80	Düşük Sodyumlu Sular Orta Sodyumlu Sular Yüksek Sodyumlu Sular Çok Yüksek Sodyumlu S.
Toplam Sertlik	$= 2,497 * Ca^{+2} + 4,115 * Mg^{+2}$	(mg/L) <75 75-150 150-300 >300	Yumuşak Orta derecede sert Sert Çok Sert
PI	$= \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}}$	(meq/L) >75 25-75 <25	Çok iyi İyi Uygun Değil
TDS	$= 0,64 * EC$	(mg/L) <300 300-500 500-900 900-1200 >1200	Mükemmel İyi Adil Fakir Kabul edilemez

Analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği (SKKY, 2009), İçme Suyu Standartları TS 266 (2005), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2005) ve WHO (Dünya Sağlık Örgütü) (2011)'e göre değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Findings and discussion

#### 3.1. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri

##### 3.1. Physical and chemical properties of waters

Çalışma sahasında, olası su kalitesine asfaltit madenlerinin jeolojik formasyonlarından kaynaklanabilecek etkinin tespiti için seçilen 8 farklı lokasyondan kurak (Eylül-2021) ve yağışlı (Mayıs-2022) dönemi temsilen su örnekleri alınmış, aynı anda arazide fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Alınan su numunelerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla majör iyonları oluşturan kasyonlar (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>) (mg/L) ve anyonların (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) yanı sıra eser element (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) (mg/L) konsantrasyonları için elde edilen

analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Su numunelerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.



**Şekil 3.** Su örnekleme ve yerinde ölçüm

**Figure 3.** Water sampling and on-site measurement

**Tablo 2.** Kurak dönemde alınan su numunelerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

**Table 2.** Physical and chemical analysis results of dry period water samples

Numune Yeri	Numune Kodu	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Ca <sup>++</sup> mg/L	Mg <sup>++</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	T °C	EC µS/cm	pH
8	SS-21	79.4	10.8	96	27.1	518	86.4	74.4	22.93	1185	8.19
5	SS-22	2.14	0.61	93	25.2	230	111	1.89	18.50	588	8.29
3	SS-23	Kurumuş									
2	SS-24	70.1	9.24	99.1	29.6	429	92	69	22.47	1152	8.12
1	SS-25	21.3	2.77	96.5	26.4	264	111	22.5	18.50	741	7.96
7	SS-26	16.7	2.36	94.8	25.7	261	112	16.7	19.10	717	8.07
4	SS-27	3.4	0.98	171	50.1	212	422	2	19.73	1198	8.11
6	SS-29	2.01	0.6	92.2	25.2	228	117	1.67	18.93	603	8.26
Sınır Değerler	TS-266 (2005)	200	12	200	50	250		250		2500	6.5-9.5
	WHO (2011)	200		300		250	500	250			6.5-9.5

**Tablo 3.** Yağışlı dönemde alınan su numunelerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

**Table 3.** Physical and chemical analysis results of rainy season water samples

Numune Yeri	Numune Kodu	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Ca <sup>++</sup> mg/L	Mg <sup>++</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	T °C	EC µS/cm	pH
8	SS-31	69.6	41.2	7.08	23.80	74.7	352	51.4	23.07	751.7	8.48
5	SS-32	57.1	5.71	0.84	22.1	67.4	236	3.26	21.47	467.3	8.34
3	SS-33	66.4	13.7	1.47	20.3	86.4	256	7.18	19.90	545.0	8.09
2	SS-34	67.9	26.1	4.07	24.7	78.5	254	26.5	23.23	622.3	8.84
1	SS-35	66.2	12.1	1.47	21.8	81.8	561	7.58	19.67	534.7	8.41
7	SS-36	66.6	12.3	1.39	21.3	83.3	259	7.47	19.97	532.7	8.28
4	SS-37	127	3.56	0.87	46.2	330	225	2.48	20.27	933.7	8.14
6	SS-39	67.7	13.5	1.41	20.4	86.2	264	6.71	18.20	550.7	7.90
Sınır Değerler	TS-266 (2005)	200	12	200	50	250		250		2500	6.5-9.5
	WHO (2011)	200		300		250	500	250			6.5-9.5

İnceleme konusu suların yerinde ölçümü esnasında ilk ölçülen parametre sıcaklık değeridir. Sıcaklık sudaki canlıların yaşamını sürdürebilmeleri açısından önemli bir özellik olup, sıcaklıktaki değişim diğer parametreler

üzerinde de etkili olmaktadır. Kurak dönem (Eylül-2021) sularının sıcaklıkları 18,50 °C ile 22,93 °C arasında iken Yağışlı dönem (Mayıs-2022) sularının sıcaklıkları 19,67 °C ile 23,23 °C arasında değişmektedir. Sular için bir diğer parametre olan pH canlı sağlığı üzerinde direk etkili olan kritik öneme haiz bir parametredir. Kurak dönem su örneklerinin pH değerleri 7,96-8,29 arasında, Yağışlı dönem su örneklerinde 7,90-8,84 arasında değişmektedir. Bu durum, suların bazik karakterde olduğunu göstermektedir. İnceleme alanındaki suların Kurak ve Yağışlı dönem pH değerleri WHO (2011) tarafından sağlık açısından önerilen sınır değerler (6,5-9,5) arasında kaldığından sağlık açısından sorun teşkil etmemektedir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Elektriksel iletkenlik olarak tanımlanan EC, suda çözülmüş madde (iyon) miktarına bağlı olarak elektrik akımını iletme kabiliyetidir. Sahada yerinde yapılan ölçümler sonucunda Kurak dönem sularının EC değerleri 588–1198  $\mu\text{s/cm}$  şeklinde iken Yağışlı dönemde EC değeri 467-934  $\mu\text{s/cm}$  arasında değişmektedir. Nerdüş Deresi suyunun EC değerlerinin Kurak dönem analizlerinde daha yüksek olduğu; buna karşın Yağışlı dönem analizlerinde ise Kurak döneme göre daha düşük olduğu gözlenmektedir (Tablo 2 ve Tablo 3). Bunun nedeni, Kurak dönemde su yüzeyinde meydana gelen buharlaşmanın etkisiyle toplam iyon içeriklerinin yükselmesi, Yağışlı dönemde ise yağışa bağlı olarak derenin suyunun seyreltmesidir (Fırat Ersoy & Hatipoğlu Temizel, 2022). TS 266 (2005)'e göre değerlendirildiğinde sular EC ve pH değerleri açısından içmeye uygundur. WHO (2011) ve TS-266 (2005)'e göre değerlendirildiğinde; yüzey suyu örneklerinin içerikleri genellikle sınır değerler içerisinde olsa da Yağışlı dönem potasyum ve Kurak dönem sülfat içerikleri açısından değerlendirildiğinde içme suyuna uygun olmadıkları belirlenmiştir. Nerdüş Deresi'nin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin araştırılması kapsamında suların; majör anyon-katyon içeriklerinin yanı sıra ESP, SAR, Toplam Sertlik, TDS, PI ve su tipleri belirlenmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Nerdüş Deresi'nden alınan örneklerin su kalite parametreleri

**Table 4.** Water quality parameters of samples taken from Nerdüş Stream

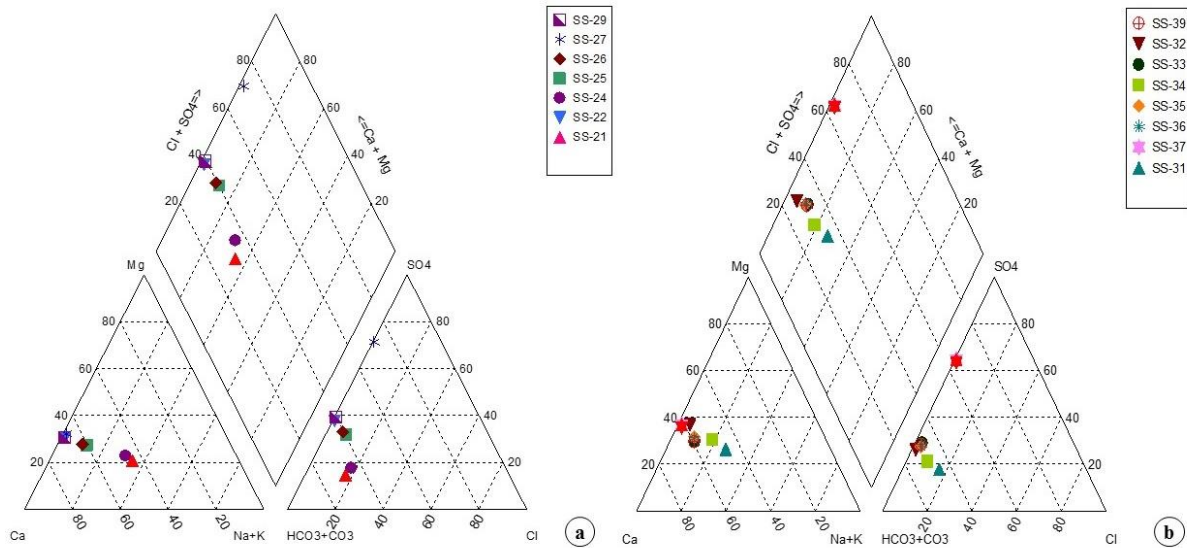
Dönem	Numune Kodu	ESP, %Na	SAR	Toplam Sertlik	TDS	PI	Su Tipi
Kurak	SS-21	32.13	1.843	351.23	758.61	44.33	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
	SS-22	1.36	0.051	335.92	376.32	21.17	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-24	28.59	1.587	369.26	737.28	41.00	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
	SS-25	11.60	0.496	349.60	474.03	28.74	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-26	9.52	0.393	342.47	458.67	27.48	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-27	1.15	0.059	633.15	766.44	21.69	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
	SS-29	1.29	0.048	333.92	385.92	21.76	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Yağışlı	SS-31	47.36	2.816	115.62	481.07	101.67	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
	SS-32	55.31	2.575	93.04	299.09	102.43	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-33	57.97	3.093	87.21	348.80	106.56	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-34	50.43	2.794	111.80	398.29	96.22	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-35	56.95	2.980	93.38	342.19	124.52	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-36	57.55	3.035	91.12	340.91	105.03	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	SS-37	58.39	3.984	192.29	597.55	79.45	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
	SS-39	58.44	3.149	87.47	352.43	107.03	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

Su analizinde TDS; suda çözülmüş mineral bileşenleri yani toplam çözülmüş katıları oluşturur. Doğal sudaki çözülmüş katıların konsantrasyonu genellikle <500 ppm iken, 500 ppm'den fazla olan su içme ve endüstriyel kullanım için istenmemektedir (Arade, 2021). Yüksek TDS konsantrasyonu insanlar üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir ve suyu tuzlu hale getirir. Çok yüksek veya çok düşük TDS konsantrasyonu, atık su arıtma tesislerinin ve ham su kullanan endüstriyel proseslerin etkinliğini azaltabilir. Sudaki TDS konsantrasyonunun 1000 mg/L'den fazla olması, dağıtım sisteminde, ısıtıcılarda, kazanlarda ve ev aletlerinde kireç birikmesine neden olabilir (Merouche vd., 2020). Bu duruma istinaden, alınan örneklerden Kurak dönem sularının TDS içeriği 385,92 ile 766,44 arasında değiştiği, Yağışlı dönem su örneklerinin ise 299,09-597,55 arasında olduğu görülmektedir. Kurak dönemde, inceleme alanındaki 21, 24 ve 27 numaralı örneklerin TDS içeriği WHO (2011) tarafından önerilen referans değer olan 500'ün üzerinde olduğu belirlenmiştir. Diğer örnekler bu sınır değerinin altında kalmaktadır. Yağışlı dönemde ise sadece 37 numaralı örneğin TDS değeri sınır değerinin üzerindedir (Tablo 4). TDS aralığı, "kabul edilebilir ve adil" bulunmuştur (Tablo 1). Asfaltit gibi hidrokarbon yapıya sahip kömür madenlerinin çevresel etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, TDS'nin tipik olarak kömürdeki mineral çözünmesi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişikliklere uğradığı belirtilmektedir (Jiang vd., 2023). TDS değerinin yüksek olması, kömür madenciliğinin yeraltısuyu kimyası üzerindeki etkilerin araştırıldığı diğer çalışmalarda da belirlenmiştir (Howladar vd., 2014; Sahoo & Khaash, 2020; Arade, 2021).

Kurak ve yağışlı dönem kıyaslandığında; mevsimsel değişime bağlı olarak kar sularının erimesi ve artan yağışlar nedeniyle TDS konsantrasyonlarında düşüş olmaktadır.

Sulama suyunun tuzluluğunun ve SAR oranının toprağın fiziksel özellikleri üzerinde etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Sodyumun toprağın fiziksel özellikleri üzerinde belirgin zararlı etkileri vardır ve ayrı olarak tanımlanır. Sulama suyundaki çözünür sodyum yüzdesi (ESP, %Na), sodyum tehlikesini değerlendirmek için de kullanılır. ESP değeri yüzde 60'ın üzerinde olan sulama suyu, toprak özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye yol açabilecek sodyum birikimine neden olabilir (Merouche vd., 2020). % Na değeri, genellikle sulama sularında %20 ile %80 arasında değişmekte ve bu değer sulamaya uygun olması açısından %60'tan az olması gerekmektedir (Kapdı & Aşık, 2021). İnceleme alanında 8 lokasyondan alınan su numuneleri % Na içeriği Kurak dönem için 1,15-32,13 arasında ve Yağışlı dönem için ise 47,36-58,44 arasındadır. Yağışlı dönemde sodyum içeriğinin artmasının nedeni, Kurak dönemde suyun buharlaşmasıyla toprakta artan Na içeriğinin Yağışlı dönemde çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Kurak dönemde, 21 ve 24 numaralı örneklerin %Na içeriği %20-%40 arasında olup "Orta Sodyumlu Sular" sınıfında iken diğer örneklerin %Na içerikleri <20 olduğundan "Düşük Sodyumlu Sular" sınıfındadır. Yağışlı dönemde ise tüm örnek noktaları %40-%80 arasında olup "Yüksek Sodyumlu Sular" sınıfındadır. Sonuç olarak %Na açısından değerlendirildiğinde, sulama suyu için verilen sınır değere çok yakındır. Literatürde, su-kömür etkileşiminin varlığında sudaki  $Ca^{++}$  ve  $Mg^{++}$ , kömürdeki  $Na^+$  ile iyon değişimi yapabildiği, bunun da sudaki  $Na^+$  konsantrasyonunun artmasına ve  $Ca^{++}$  ve  $Mg^{++}$  konsantrasyonunun azalmasına neden olduğu belirtilmektedir (Jiang vd., 2023). Bu durumu, Kurak ve Yağışlı dönem iyon konsantrasyonlarındaki değişimlerle görülmektedir (Tablo 2 ve Tablo 3). SAR değerleri kurak dönemde 0,048-1,843 arasında iken yağışlı dönemde 2,575-3,984 arasında değişmektedir. SAR değerine göre ise "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfında yer almaktadır. EC ile birlikte sulama suyu kalitesi açısından değerlendirildiğinde; Nerdüş Deresi C2-C3 "Orta Tuzlu-Yüksek Tuzlu Su" sınıfında yer almaktadır. Çok yüksek tuzluluk ve sodyum içeren bu tür suların çok düşük kalitede olduğu düşünülebilir (Tablo 1 ve Tablo 4).

Doneen (1964) tarafından tanımlanan PI, toprak yapısı ve sulama suyu kalitesinin toprak geçirgenliğini azaltabilecek birleşik etkilerini gösterir. Su örnekleri için hesaplanmış olan PI değerleri Kurak dönem için 21,75-44,33 arasında iken Yağışlı dönem için 79,45-124,52 arasındadır. İncelenen Kurak döneme ait su analizleri sonucu PI değerlerine göre "iyi" su sınıfında yer aldığı; Yağışlı dönemi PI değerlerinin ise >75 olduğu ve buna göre "çok iyi" su sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Tablo 1 ve Tablo 4).

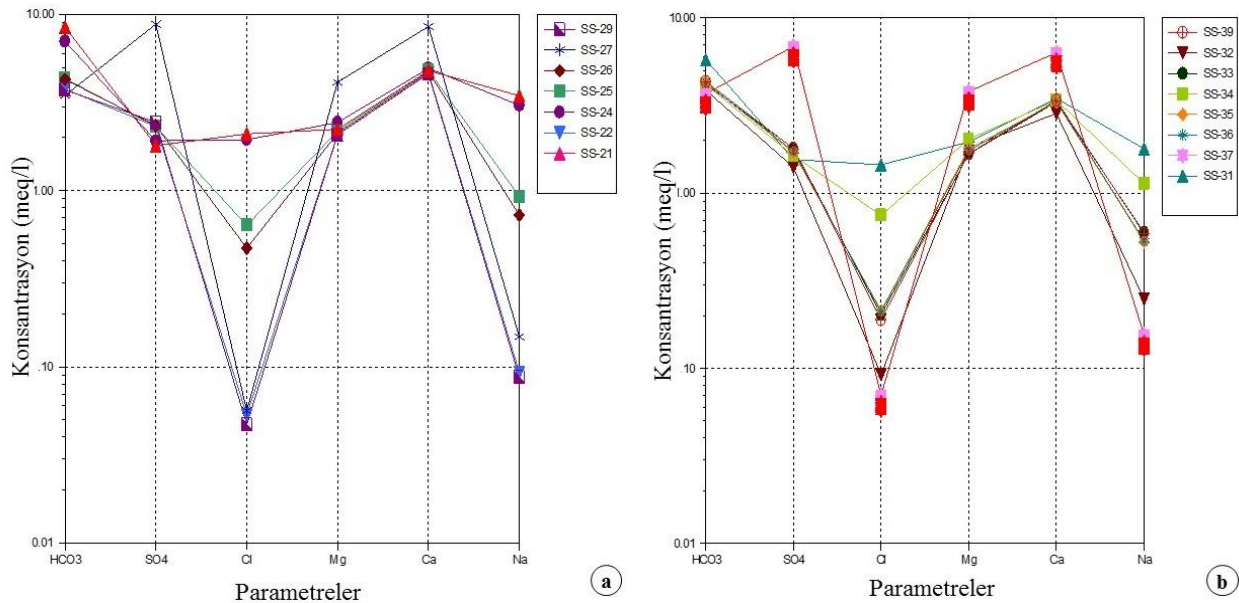


Şekil 4. Nerdüş Deresi örneklerine ait Piper diyagramı: a) Kurak dönem b) Yağışlı dönem  
Figure 4. Piper diagram of Nerdüş Stream samples: a) Dry period b) Rainy period

Suların kalitesinin belirlenmesi amacıyla Piper (1944), Schoeller (1938) ve ABD Tuzluluk (Richards, 1954) diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6). Kurak dönemde (Eylül-2021) alınan su numunelerinin, Piper diyagramı değerlendirilmesi sonucunda suların  $Ca+Mg > Na+K$  olup, karbonatlı ve sülfatlı sular olduğu ve  $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$  olan sulardan oldukları belirlenmiştir (Şekil 4a). Dolayısıyla

karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten fazladır ve böyle sular  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lı sular olup, karbonat sertliği %50'den fazla olan sularlardır. Yağışlı dönemde (Mayıs-2022) ise; 37 nolu örnek dışındaki suların  $\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$  olup, karbonatlı ve sülfatlı sular olduğu ve  $\text{HCO}_3+\text{CO}_3>\text{Cl}+\text{SO}_4$  olan suların oldukları belirlenmiştir. Dolayısıyla karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten fazladır ve böyle sular  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lı sular olup, karbonat sertliği %50'den fazla olan sularlardır. 37 nolu örneği ise  $\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$  olup,  $\text{Cl}+\text{SO}_4>\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ 'lı suların olduğu ve böyle sular  $\text{CaSO}_4$  ve  $\text{MgSO}_4$ 'lı sular özelliğindedir (Şekil 4b). Tablo 3 incelendiğinde; Kurak dönemde (Eylül-2021) su yüzeyinde oluşan buharlaşma nedeniyle alınan su örneklerinde Ca ve  $\text{SO}_4$  baskın iken; Yağışlı dönemde (Mayıs-2022) alınan su örnekleri yağışlar nedeniyle meydana gelen seyrelmenin etkisiyle su tipinin belirlenmesinde Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$  baskındır. Bu durum, sahada baskın olan kırıntılı-karbonatlı formasyonların etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2).

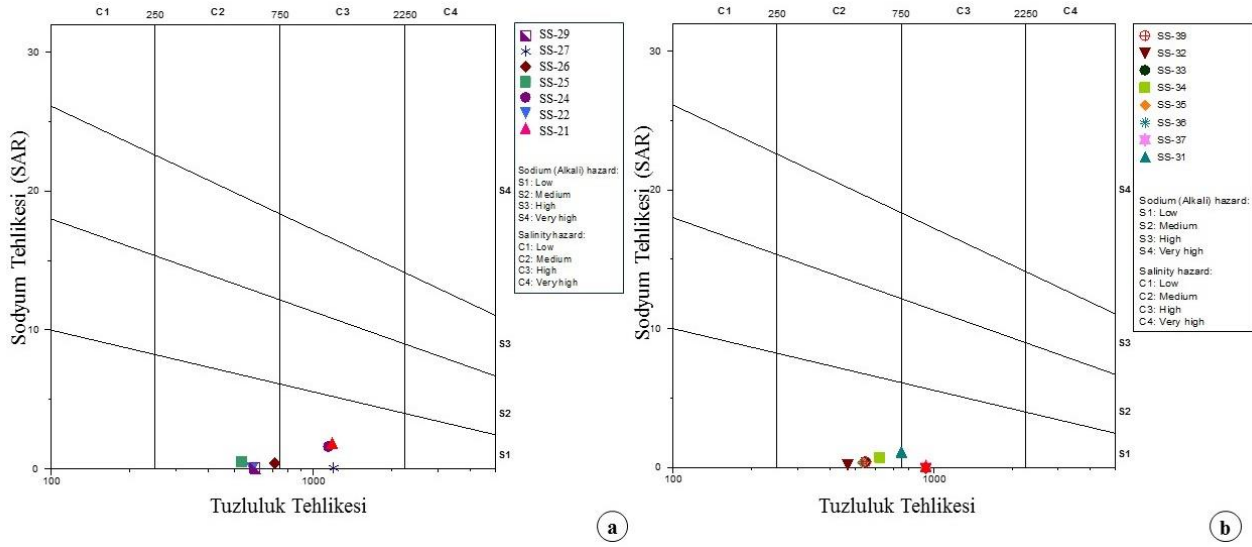
Schoeller diyagramı; yarı logaritmik bir diyagram olup, kırık çizgilerin birbirine paralel olduğu suların genellikle aynı formasyondan gelen sular olduğunu göstermektedir. Bu duruma göre; su örneklerinin kökensel değerlendirilmesi sonucunda örneklerin aynı kökenli oldukları gözlenmekle beraber birbirine benzerlikler sunan 3 grup olacak şekilde kümelendiği belirlenmiştir (Şekil 5a). Bunlardan birincisi, arazinin kuzeydoğu ucunda yer alan kol boyunca örnekleme yapılan ve sırasıyla birbirini takip eden 21/31 ve 24/34 numaralı örneklerdir. Şehir kanalizasyonunun karıştığı noktadan alınan 21/31 numaralı örnekler ile maden pasa sahası ve zuhur alanının hemen kuzeybatısında yer alan 24/34 numaralı örnekler inceleme sahasının element içeriği en yüksek olan örneklerdir. İkinci grup, kurak dönemde arazinin güneyinde yer alan kol boyunca örnekleme yapılan 22, 29 ve 27 (çok az farklılık sunmakta) numaralı örneklerdir. Bu örneklerden 27 numaralı örnek arazinin güneyinde yer alan farklı maden sahasına daha yakın olduğu için aynı dere koluna ait olmasına rağmen daha yüksek değerler içerir. Ancak bu örnekler inceleme alanındaki diğer örnek analizlerine en düşük element içeriğine sahiptirler. Yağışlı dönemde ise 33, 35, 36 ve 39 numaralı örneklerdir. Birinci dönemde bu grupta yer alan 22 ve 27 numaralı örnekler üçüncü grubu oluştururken Kurak dönemde üçüncü grupta yer alan 25 ve 26 numaralı örnekler ikinci gruba dahil olmuştur. İkinci grup örnekleri inceleme alanının yağışlı dönem için orta element içeriğine sahiptirler. Üçüncü grup, Kurak dönemde 26 ve 25 numaralı örneklerdir. Bu örnekler bütün tali kollar birleştikten sonra alınan örnekler olup, element içeriği bakımından ortalama değerlere sahiptir. Yağışlı dönemde ise; 32 ve 37 numaralı örneklerden oluşmaktadır. Bu örnekler dönemin en düşük element içeriğine sahiptirler. Gruplardaki örnek kümelmesi ve örneklerin element içeriklerindeki bu değişim Yağışlı dönem olması sebebiyle derelerdeki su miktarının artarak element içeriğinin seyrelmesi nedeniyle meydana gelmiştir. Birinci grupta yer alan örneklerde değişiklik olmamasının nedeni element içeriğini kontrol eden şehir kanalizasyonunun karışımı ve maden pasa sahasında bir değişiklik olmamasıdır (Şekil 5a ve Şekil 5b).



**Şekil 5.** Nerdüş Deresi örneklerine ait Schoeller diyagramı a) Kurak dönem b) Yağışlı dönem  
**Figure 5.** Schoeller diagram of Nerdüş Stream samples: a) Dry period b) Rainy period

ABD Tuzluluk diyagramına göre; kurak dönemde 22, 25, 26, 29 numaralı örnekler C2-S1 (orta tuzlulukta ve az sodyumlu su) alanında, 21, 24, 27 numaralı örneklerin ise C3-S1 (yüksek tuzluluk ve az sodyumlu su)

alanında olduğu belirlenmiştir (Şekil 6a). Yağışlı dönemde ise; 37 numaralı örnek C3-S1 (yüksek tuzluluk ve az sodyumlu su) alanında yer alırken diğer örneklerin hepsi C2-S1 (orta tuzlulukta ve az sodyumlu su) alanında olduğu belirlenmiştir (Şekil 6b).

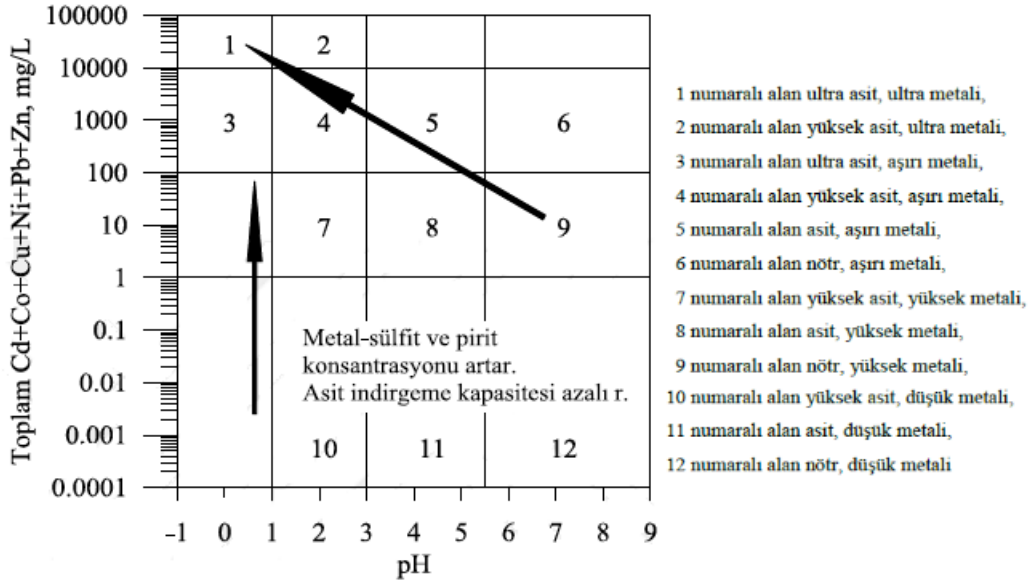


Şekil 6. Nerdüş Deresi'ne ait ABD Tuzluluk diyagramı a) Kurak dönem b) Yağışlı dönem  
Figure 6. USA Salinity diagram of Nerdüş Creek a) Dry period b) Rainy period

### 3.2. Suların metal yüklerinin asitlik derecesi

#### 3.2. Acidity level of metal charges of water

Ficklin vd. (1992) diyagramında, asitlik dereceleriyle metal yükleri arasındaki ilişkiyi belirtmektedir (Şekil 7). Ficklin diyagramında; x ekseninde pH'ı, y ekseninde de toplam Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn (mg/L) konsantrasyonlarını göstermektedir. Diyagramda; x ekseninde değerler azaldıkça ve bununla birlikte y ekseninde değerler arttıkça ortamın metal sülfid ve pirit konsantrasyonunda artış olduğunu iddia etmektedir (Erkan, 2019).

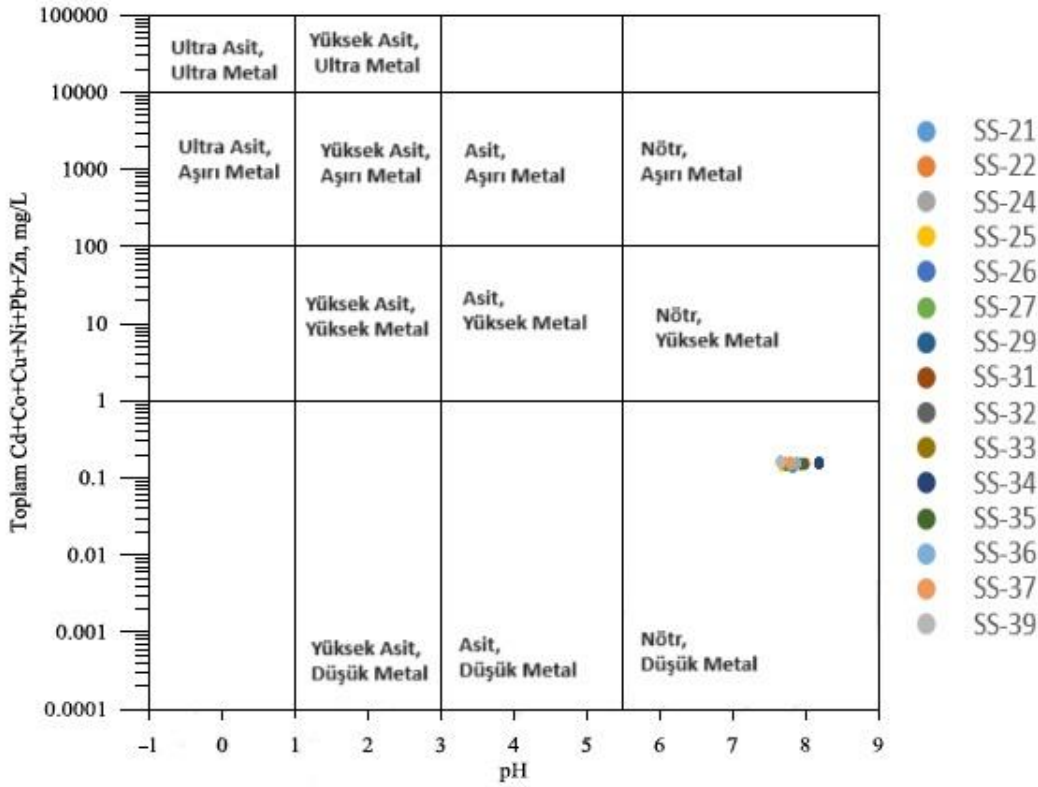


Şekil 7. Ficklin diyagramı (Ficklin vd., 1992).

Figure 7. Ficklin diagram (Ficklin et al., 1992).

Ficklin diyagramı kullanılarak, çalışma alanında mevsimsel değişime bağlı olarak Kurak ve Yağışlı dönemde maden sahasının çevresinden alınan su örneklerinin pH değerlerine bağlı olarak toplam metal içeriği belirlenmiştir. Bu örnekler, nötr ve düşük metal içeriğine sahiptir. Nerdüş Deresi boyunca pH dereceleri 7-9 aralığında yani baziktir. Örnek noktaları arasında nötr ve en düşük metal içeriğine sahip olmasının nedeni

asfaltit madeni yan kayaçlarının kil ve kalsiyum karbonattan oluşan tortul kayaç olan marnlardan oluşmasıdır (Şekil 8).



**Şekil 8.** Nerdüş Deresi sularının pH değişimine bağlı metal yükleri  
**Figure 8.** Metal charges of Nerdüş Stream due to pH change

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Bu çalışmada, Şırnak il merkezinde, birbirine yakın ve benzer jeolojik özelliklere sahip asfaltit madenlerinin yakınından akan Nerdüş Deresi'nden Kurak ve Yağışlı dönemlerde 8 lokasyonda fiziksel parametreler yerinde ölçülmüş, bu noktalardan majör anyon-kasyon ve iz element analizleri için örnekler alınmıştır. Çalışmada, dere sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek suyun kalitesi ve kullanım amaçlarına göre uygunluklarının yanı sıra maden yataklarının jeolojik formasyonundan kaynaklı su içerisinde oluşabilecek metal yüklerinin asidiklik etkisi de araştırılmıştır.

Nerdüş Deresi'nden alınan su örneklerinin; majör anyon-kasyon analiz sonuçları WHO (2011) standartları ve TS-266 (2005)'e göre değerlendirildiğinde, dere suyu örneklerinin içerikleri sınır değerler içerisinde olsa da; Yağışlı dönem potasyum (K) ve kurak dönem sülfat (SO<sub>4</sub>) içerikleri açısından değerlendirildiğinde içme suyuna uygun olmadıkları belirlenmiştir.

TDS değerleri, Kurak dönemde 8 lokasyondan 3'ünde standartlarda belirtilen sınır değer (500 mg/L) üzerinde iken diğerleri de sınır değere yakındır. Yağışlı dönemde ise, sadece bir lokasyonda (37 nolu) TDS değeri sınır değerinin üzerindedir. Genel olarak incelenen sular, 300-900 mg/L sınır değerleri aralığında olup "kabul edilebilir ve adil" bulunmuştur. Nerdüş Deresi ve çevresinde yer alan asfaltit madenlerinin jeolojik formasyonlarının etkisiyle TDS değerinin nispeten yüksek olmasının nedeni; literatürde kömür madenciliğinin yeraltı suyu kimyası üzerindeki etkilerin araştırıldığı çalışmalarda madencilik faaliyetleri ve yan kayaçların etkisiyle su-kayaç arasındaki iyon değişimine koşut olarak konsantrasyon artışına bağlı zenginleşmenin veya kirliliğin oluşmasıdır.

Örneklerin tuzluluk durumu %Na açısından değerlendirildiğinde, sulama suyu için verilen sınır değere çok yakındır. SAR değerine göre ise "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfında yer almaktadır. EC ile sulama suyu

kalitesi açısından değerlendirildiğinde; Nerdüş Deresi C2-C3 “Orta Tuzlu–Yüksek Tuzlu Su” sınıfında yer almaktadır. Çok yüksek tuzluluk ve sodyum içeren bu tür sularının çok düşük kalitede olduğu düşünülebilir. Ayrıca, İncelenen suların kurak dönemi analizleri sonucu PI değerlerine göre “iyi” su sınıfında yer aldığı; yağışlı dönemi PI değerlerinin ise  $>75$  olduğu ne buna göre “çok iyi” su sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, Nerdüş Deresi sularının sodyuma karşı hassas olan bitkiler dışındaki bitkilerde tarımsal faaliyetlerde kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği belirlenmiştir.

Piper diyagramına göre 37 nolu örnek dışındaki suların  $Ca+Mg>Na+K$  olup, karbonatlı ve sülfatlı sular olduğu ve  $HCO_3+CO_3>Cl+SO_4$  su tipinde oldukları belirlenmiştir. Dolayısıyla Karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten fazladır ve böyle sular  $CaCO_3$  ve  $MgCO_3$ ’lı sular olup, karbonat sertliği %50’den fazla olan sularlardır. 37 nolu örnek ise  $Ca+Mg>Na+K$  olup,  $Cl+SO_4>HCO_3+CO_3$ ’lı sulardır. Bu dizilimdeki sular  $CaSO_4$  ve  $MgSO_4$ ’lı su özelliğindedir.

Schoeller diyagramına göre su örneklerinin aynı kökenli oldukları belirlenmiş olup, birbirine benzerlikler sunan 3 grup olacak şekilde kümelendiği ve bu grupların birinci durum gruplarına benzedikleri belirlenmiştir ABD Tuzluluk diyagramına göre; 37 numaralı örnek C3-S1 (yüksek tuzluluk ve az sodyumlu su) alanında yer alırken diğer örneklerin hepsi C2-S1 (orta tuzlulukta ve az sodyumlu su) alanında olduğu belirlenmiştir.

Son olarak, suların metal yüklerinin asitlik derecesinin incelenmesi için alınan su örneklerinin pH değerlerine bağlı olarak toplam metal içeriği karşılaştırılıp örneklerin, nötr ve düşük metal içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, maden sahalarının jeolojisine bağlı olarak asidite oluşmadığını göstermektedir.

### **Teşekkür / Katkı belirtme**

#### *Acknowledgement*

Bu araştırma; Şırnak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü’nce, 2021.FNAP.06.04.01 numaralı “Şırnak İl Merkezindeki Maden Sahalarının Çevresel Etkilerinin Araştırılması” başlıklı BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Bu makalenin yazarları çalışmanın planlanması, gerekli hesaplama ve diğer işlemlerin yapılması, yorumlanması ve makalenin hazırlanması aşamalarına birlikte katkı sağlamışlardır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Ahdy, H. H., & Khaled, A. (2009). Heavy metal contamination in sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea. *Austrian Journal of Basic Applied Science*, 3(4) 3330-3336.
- Akaryalı E., Gücer M.A., & Alemdağ S. (2018). Atık barajı rezervuarı ve cevher stok alanlarında asit maden drenajı (amd) oluşumunun değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 192-209.
- Alemdağ S., Akayalı E., & Gücer M.A. (2020a). Flotasyon tesis atıklarının asit üretme potansiyeli ve kirliliğin önlenmesi, Gümüşhane, KD Türkiye, *Yerbilimleri*, 41(1), 56-85.



- Alemdağ S., Akaryalı E., & Gücer M.A. (2020b). Prediction of mine drainage generation potential and the prevention method in the Gümüşköy (Kütahya) mineralization area, NW-Turkey. *Journal of Mountain Science*, 17(10), 2387-2404.
- Amrhein, C. (1996). Australian sodic soils: distribution, properties, and management. *Soil Science*, 161, pp412.
- APHA. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington.
- Arade, S. M. (2021). Variation in total dissolved solids (TDS) of groundwater of Arni Town, District-Yavatmal (Ms) India during period of June 2020-May 2021. *International e-Conference on New Horizons And Multidisciplinary Applications In Science And Technology*, 9, 6, 70-75.
- Baran, H.A., Nalbantçılar, M.T., & Koktan N. (2023). Pollution and health risk assessment of heavy metals in waters around mine sites of Elazığ (Eastern Turkey). *Journal of Mountain Science*, 20(5), 1293-1306.
- Bayrak, Ö., & Aktan, M. (2018). Enerjide kömürün yeri ve Şırnak asfaltit sahaları. Baz, İ., Alp, D., & Bilgin, Ö. (Eds.), *Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli*. 269-301.
- Bosco, M. I., Varrica, D., & Dongarra, G. (2005). Case study: Inorganic pollutants associated with particulate matter from an area near a petrochemical plant. *Environmental Research*, 99, 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.09.011>
- Bulltail, G., & Walter, T. (2020), Impacts of coal resource development on surface water quality in a multi-jurisdictional watershed in the Western United States. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 169, 79-91. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2020.03333.x>
- Catrol, D. (1962). Rain water as a chemical agent of geological process: a view. *Water Supply*, 1533: 18-20. <https://doi.org/10.3133/wsp1535G>
- Chen, J., Li, K., Chang, K., Sofia, G., & Tarolli, P. (2015). Open-pit mining geomorphic feature characterization. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.001>
- Cetin, I., Nalbantçılar, M. T., Tosun, K., & Nazik, A. (2017). How trace element levels of public drinking water affect body composition in Turkey. *Biological Trace Element Research*, 175(2), 263-270. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0779-z>
- Doneen, L. D. (1964). *Notes on water quality in agriculture*. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis: Oakland, CA, USA.
- Er, A., & Şener, Ş. (2023). Alanya (Antalya) alt havzası yeraltısularının hidro-kimyası ve kullanım özelliklerinin incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(4), 1607 – 1623, <https://doi.org/10.21923/jesd.1397513>
- Erkan, K. (2019). *Harköy (Giresun-Tirebolu) Cu-Pb-Zn maden yatağının çevresel etkileri*. [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Fırat Ersoy, A., & Hatipoğlu Temizel, E. (2022). Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) içme ve sulama suyu amaçlı kullanım uygunluğunun incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*. 8(2): 238-249, <https://doi.org/10.21324/dacd.1005286>
- Evsahıbioğlu, A. N., Çakmak, B., & Aküzüm, A. (2010). Su yönetimi, su kullanım stratejileri ve sınıraşan sular. *TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi 11-15 Ocak 2010*. Cilt:1, s.119-134, Ankara.
- Ficklin, W. H., Plumlee, G. S., Smith, K. S., & McHugh, J. B. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. *Seventh International Symposium on Water-Rock Interaction*, July, Park City, Utah, 381-384.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, New Jersey, 604 p.

- Gücer M.A., Alemdağ S., & Akaryalı E. (2020). Assessment of acid mine drainage formation using geochemical and static tests in Mutki (Bitlis, SE Turkey) mineralization area. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(7), 1189-1210.
- Gültekin F., & Dilek R. (2005). Gümüşhane yöresi mineralli su kaynaklarının iz element ve radyoaktivite içerikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29, 36-43.
- Howladar, M. F., Deb, P. K., Muzemder, S. H., & Ahmed, M. (2014). Evaluation of water resources around Barapukuria coal mine industrial area, Dinajpur, Bangladesh. *Applied Water Science*, 4, 203-222. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0207-5>
- İTASHY. (2005). *İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik*. Resmî Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmî Gazete Sayısı: 25730.
- Jiang, B., Zhao, Z., Liu, D., Cao, Z., Tang, J., Wu, M., Zhang, H., Li, P., & Liang, D. (2023). Study on the interaction mechanism between residual coal and mine water in goaf of coal mine underground reservoir. *Sustainability*, 15, 15106. <https://doi.org/10.3390/su152015106>
- Kapdı, E. B., & Aşık, B. B. (2021). Sulama göleti suyunun yüzeysel su kalitesi ve sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmesi; Uşak İli Güllübağ Göleti örneği. *Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 2(1), 52-69.
- Kavaf, N., & Nalbantçılar, M.T. (2007). Assessment of Contamination Characteristics in Waters of the Kütahya Plain Turkey. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 35(6), 585-593.
- Kocaer, F. O., & Başkaya H. S. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8, 1.
- Köktan, N., Baran, H. A., & Nalbantçılar, M. T. (2019). Elazığ'daki maden sahalarının sulara etkileri, *Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 28 Ocak – 01 Şubat 2019, Ankara.
- Machender, G., Dhakate R., Pransanna, L., & Govil, P. K. (2011). Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 63, 945-953. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0763-4>
- Mansilha, C., Melo, A., Flores, D., Ribeiro, J., Rocha, J. R., & Martins, V. (2021). Irrigation with coal mining effluents: sustainability and water quality considerations (São Pedro da Cova, North Portugal) Catarina. *Water*, 13, 2157. <https://doi.org/10.3390/w13162157>
- Miao, L., Ma, Y., Xu, R., & Yan, W. (2011). Environmental biogeochemical characteristics of rare earth elements in soil and soil grown plants of the Hetai goldfield, Guangdong Province, China. *Environmental Earth Sciences*, 63, 501-511. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0718-9>
- Merouche, A., Selvam, S., Imessaoudene, Y., & Maten, C. N. (2020). Assessment of dam water quality for irrigation in the northeast of catchment Cheliff-Zahrez, Central Algeria, Environment. *Development and Sustainability*, 22:5709–5730. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00447-9>
- Murakami, M., Fujita, M., Furumai, H., Kasuga, I., ve Kurisu, F. (2009). Sorption behavior of heavy metal species by soakaway sediment receiving urban road runoff from residential and heavily trafficked areas. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 707-712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.052>
- MTA (2002). MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları/Cizre
- Nalbantçılar, M. T., & Guzel, A. (2006). Trace element pollution of drinking water supply of Konya Turkey. *Journal Geological Society of India* (68), 1087-1092.
- Nalbantçılar, M. T., & Pinarkara, D. (2015). Impact of industry on ground water contamination a case study in Konya city Turkey. *Global NEST Journal*, 17(4), 796-815. <https://doi.org/10.30955/gnj.001635>
- Nalbantçılar, M. T., & Pinarkara, S. Y. (2016). Public health risk assessment of groundwater contamination in Batman Turkey. *Journal of Water and Health*, 14(4), 650-661. DOI: 10.2166/wh.2016.290
- Omuto, C. T., Vargas, R. R., El Mobarak, A. M, Mohamed, N., Viatkin, K., & Yigini, Y. (2020). *Mapping of salt-affected soils: Technical manual*. Rome, Food and Agriculture Organization. <https://doi.org/10.4060/ca9215en>

- Önder, S., & Dursun, Ş. (2005). Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40, 1122-1133. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.006>
- Önder, S., Dursun, S., Gezgin, S., & Demirbaş, A. (2007). Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey). *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(1), 145-154.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical Union Transactions*, 25(6), 914-928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural Handbook 60; United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
- Rodríguez-Barroso, M. R., Benhamou, Y., El Moumni, B., El Hatimi I., & Garica-Morales, J.L. (2009). Evaluation of metal contamination from north of Morocco: geochemical and statistical approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159, 169-181. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0620-z>
- Sawyer, G. N., & McMcarty, D. L. (1967). *Chemistry of sanitary engineers* (2nd ed.), McGraw Hill, New York.
- Sahoo, S., & Khaoash, S., (2020). Impact assessment of coal mining on groundwater chemistry and its quality from Brajrajnagar coal mining area using indexing models. *Journal of Geochemical Exploration*, 215, 106559. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106559>
- Schoeller, H. (1938). Notions sur la corrosion interne des canalisations d'eau. *Annales des Ponts et Chaussées*, 138 (2): 199– 282.
- Semiz Ü., Gücer MA., & Alemdağ S. (2021). Şiran (Gümüşhane) ilçe merkezi su kaynaklarının kalitesi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 59-74.
- Sipahi F., & Uslu S. (2016). Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 600. [doi.org/10.1007/s12517-016-2620-6](https://doi.org/10.1007/s12517-016-2620-6).
- SKKY. (2009). *Su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metodları tebliği*, Resmî Gazete Tarihi: 10.10.2009 Resmî Gazete Sayısı: 27372
- Şanlıyüksel Yücel, D., & Yücel, M. A. (2017). Terk edilmiş kömür ocaklarında oluşan maden göllerinin hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve insansız hava aracı ile üç boyutlu modellenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 780-791. <https://dx.doi.org/10.5505/pajes.2016.37431>
- Tahmasebzadeh Bastam, E., & Gültekin, F. (2017). Değirmendere (Trabzon) havzası kaynak sularında su-kayaç etkileşimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 41, 59-77. DOI 10.24232/jmd.314585
- Todd, D. K. (1960). Salt-water intrusion of coastal aquifers in the United States. *International Association Scientific Hydrology*, Gentbrugge Belgium, 52: 452-461.
- Todd, D. K. (1980). *Groundwater hydrology* (2nd ed.). John Wiley and Sons.
- TS EN ISO 5667. (2007). *Su kalitesi-numune alma-bölüm 3: su numunelerinin muhafaza, taşıma ve depolanması için kılavuz*. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TSE 266. (2005). *Türk içme suyu standardı*. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- URL-1 (2024). *Yerbilimleri Harita Görüntüleyici* (mta.gov.tr), Erişim: 23.04.2024
- Yıldız, A., Karaca, M., Biceroglu, S., Nalbantçılar, M. T., Coskun, U., Arik, F., Aliyev, F., Yiginer, O., & Turkoglu C. (2008). Effect of chronic arsenic exposure from drinking waters on the qt interval and transmural dispersion of repolarization. *Journal of International Medical Research*, 36(3), 471-478. <https://doi.org/10.1177/147323000803600311>
- Yaylalı-Abanuz, G., & Tüysüz, N. (2009). Heavy metal contamination of soils and tea plants in the eastern Black Sea region, NE Turkey, *Environmental Earth Science*, 59, 131-144. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0011-y>

- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, N., & Akaryalı, E. (2012). Soil geochemical prospection for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey), *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.08.004>
- Yılmaz, C. H., Ayto, H., & Sünbül, M. R. (2021). Evaluation of quality of some well waters used in agricultural irrigation in terms of plant nutrition. *Soil Water Journal*, 10 (2), 94-103. <https://doi.org/10.21657/topraksu.927731>
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN: 978-924-1548-15-1.
- Wilcox, L. V. (1955). *Classification and use of irrigation waters*. USDA Circular No: 969.

## Investigation of aroma components obtained by HS-SPME (Headspace-solid phase microextraction) method of wild strawberry (*Fragaria vesca* L.) and strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits

*Dağ çileği (Fragaria vesca L.) ve çilek (Fragaria x ananassa Duch.) meyvelerinin HS-SPME (Tepe boşluğu katı faz mikro ekstraksiyonu) yöntemi ile elde edilen aroma bileşenlerin araştırılması*

Mehmet ÖZ\*<sup>1</sup>, Cemalettin BALTACI<sup>2</sup>, Muhammed Said FİDAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Gümüşhane Vocational School, Department of Forestry, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Food Engineering, 29100, Gümüşhane

<sup>3</sup>Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, 16310, Bursa

• Received: 28.02.2024

• Accepted: 11.06.2024

### Abstract

Wild strawberries (*Fragaria vesca*) are in the category of non-wood forest products due to their unique fragrance, aroma, and natural ability to grow. In this study, aroma components of wild strawberry (*Fragaria vesca*) and strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruits were determined by Headspace-Solid Phase Micro-Extraction technique combined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-SPME/GC-MS). In addition, it aimed to compare the results of both fruits with each other by chemical classification of the aroma components determined from wild strawberry and strawberry fruits. As a result of the HS-SPME/GC-MS analysis; 50 and 76 aroma components were determined in wild strawberry and strawberry fruits, respectively. The structure of aroma components was defined as 97.63% of wild strawberries and 98.26% of strawberries. The main components in the aroma compounds are 2-undecanone (10.38%),  $\gamma$ -decalactone (8.81%), and eugenol (7.14%) in wild strawberry fruit; nerolidol (29.44%),  $\gamma$ -decalactone (26.36%) and bisabolol oxide II (4.23%) were found in strawberry fruits. In addition, chemical classes of identified aroma compounds were determined as ester, terpene or terpenoid, fatty acids, aldehyde, and ketone classes in *Fragaria vesca* and *Fragaria x ananassa* fruits. When the results are examined, it is seen that strawberry fruits are found to be higher than wild strawberry fruits in terms of percentage of aroma components, number of aroma components, and percentage of dominant components.

**Keywords:** Fruit, HS-SPME/GC-MS, Aroma components, Wild strawberry

### Öz

*Dağ çileği (Fragaria vesca) kendine özgü hoş koku ve aroması, doğal olarak yetiştiğinden dolayı odun dışı orman ürünleri sınıfında yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında dağ çileği (Fragaria vesca) ve çilek (Fragaria x ananassa) meyvelerinin aroma bileşenleri Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi ile kombine edilmiş Tepe Boşluğu-Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (HS-SPME/GC-MS) tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca dağ çileği ve çilek meyvelerinden tespit edilen aroma bileşenlerinin kimyasal sınıflandırmaları yapılarak her iki meyvenin sonuçları birbirleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan HS-SPME/GC-MS analizi sonucunda; dağ çileği ve çilek meyvelerinde sırasıyla 50 adet ve 76 adet aroma bileşen tespit edilmiştir. Dağ çileği aroma bileşenlerin %97.63'ünün, çilek aroma bileşenlerinin ise %98.26'sının yapısı tanımlanmıştır. Aroma bileşikler içerisinde bulunan ana bileşenlerin dağ çileği meyvesinde 2-undecanone (%10,38),  $\gamma$ -decalactone (%8,81) ve eugenol (%7,14); çilek meyvelerinde ise nerolidol (%29,44),  $\gamma$ -decalactone (%26,36) ve bisabolol oxide II (%4,23) olduğu saptanmıştır. Ayrıca, tanımlanan aroma bileşiklerinin kimyasal sınıfları olarak *Fragaria vesca* ve *Fragaria x ananassa* meyvelerinde ester, terpen veya terpenoid, yağ asitleri, aldehit ve keton sınıfları olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde aroma bileşenlerin yüzdesi, aroma bileşen sayısı ve ana bileşen yüzdeleri bakımından çilek meyvelerinin, dağ çileği meyvelerine göre daha fazla bulunduğu görülmektedir.*

**Anahtar kelimeler:** Meyve, HS-SPME/GC-MS, Aroma bileşenler, Dağ çileği

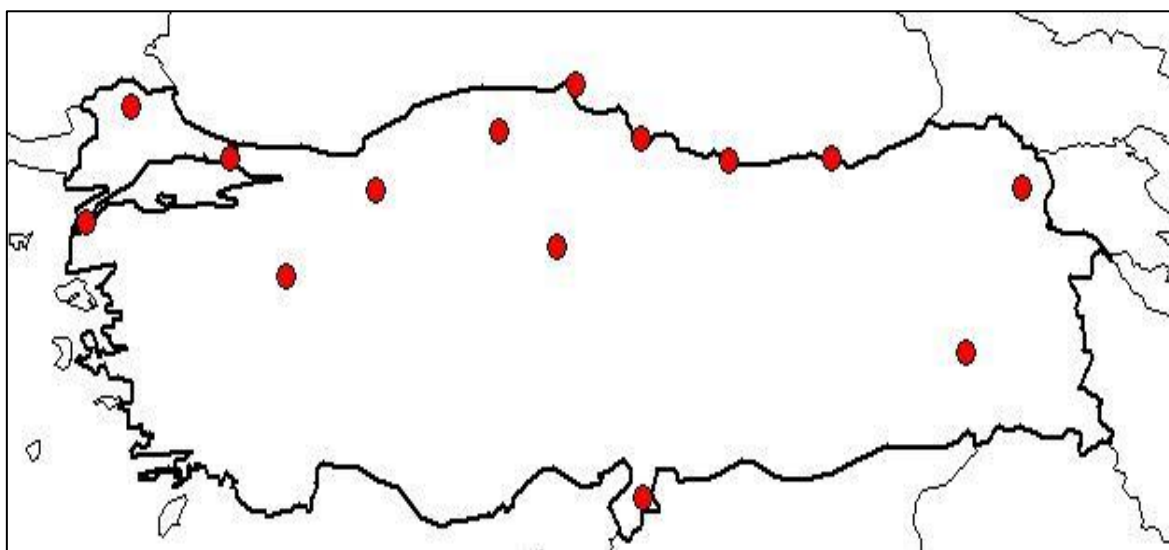
\*Mehmet ÖZ; mehmetoz@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Plants constitute the basic raw material sources of industries such as food, medicine, cosmetics and pharmacy. Medicinal plants are used to treat human and animal diseases with therapeutic activity due to their rich bioactive substance content. Aromatic plants are defined as plants with a pleasant smell and taste. Medicinal and aromatic plants have been used in traditional and modern medicine to treat diseases and as medicines since ancient times, thanks to the important compounds they contain (Boztaş et al., 2021; Avan, 2021; Öz, 2022a). Aromatic extracts and essential oils (essences, essential oils) are used as starting materials for the production of nature-identical and semi-synthetic useful aroma chemicals or as a source of aroma chemicals (Sarkaya & Fakir, 2017).

Strawberry belongs to the *Fragaria* genus of the Rosaceae family of the Rosales order. *Fragaria vesca* L. (Mountain, Forest strawberry), and *Fragaria x ananassa* Duch. (cultivated strawberry) is among the species of strawberry. Cultivated strawberry (*F. x ananassa* Duch.) was produced in the mid-18th century as a result of natural hybridization of *F. chiloensis* L., and *F. virginiana* Duch. These strawberries can be grown very successfully in different ecologies in places with temperate climates and are one of the most important members of the berry group that many people consume with pleasure (Akin, 2014).

*Fragaria* species are represented in Turkey by three different species: *F. x ananassa* Duchesne., *F. vesca* L., and *F. viridis* Duchesne. *F. vesca* L. species is known as Mountain strawberry, Forest strawberry, and Wild strawberry in our country (Yıldırım Birinci, 2012). It is a perennial herbaceous plant with a creeping stem that can grow up to 30-40 cm tall. Basal leaves rosette, trifoliate; leaflets 1-6 cm, ovate, obovate or rhomboid shaped, saw-toothed, grey-hairy below, and sparsely hairy above. Its flowers are 2-7 in number and the petals are white, 4-5 mm, opposite ovate or round. The fruit is red, hairless (naked), and 1 cm in diameter. It grows in humid places, especially in forests, at an altitude of 200-2450 m (Davis, 1985). Wild strawberries have a more pleasant smell and taste than cultivated strawberries. It prefers to grow in a sheltered location, such as under a forest, and since its fruits are very small, it is difficult and troublesome to collect them (Yıldırım Birinci, 2012). Wild strawberry (*F. vesca* L.) plant is used by the people of the Ordu (Korgan) region against diabetes, to strengthen body resistance, against cardiovascular diseases, as a blood purifier, against skin, nerve, kidney, mouth, and gum diseases, against rheumatism, blood pressure, and cholesterol (Sarkaya & Karaevli, 2019). It has been stated that in Rize province, *Fragaria vesca* L. fruits are used for diabetes and the fruits are consumed by making jam and syrup (Saraç et al., 2013). Mountain (forest) strawberry spreads naturally in Trabzon, Ordu, Samsun, Sinop, Bolu, Bitlis, Kastamonu, Kars, Yozgat, Hatay, Kütahya, İstanbul, Çanakkale, and Kırklareli (Tübives, 2023). Figure 1 shows the distribution of *F. vesca* L. in our country.



**Figure 1.** Distribution of *Fragaria vesca* L. in our country (Tübives, 2023)

Aromatic extracts and essential oils are used in large quantities in the production of food, perfume, cleaning materials, cosmetics, and medicines, and in the production of nature-identical and semi-synthetic useful aroma chemicals. SPME and GC/MS technique, which is a cheap and highly sensitive method. They combine sample

preparation, extraction, and concentration stages in a single solvent-free step. Moreover, they are obtained successful results in determining aroma compounds, especially for fruits with complex aromas (such as; strawberry, banana, mango, raspberry, and blackberry) (Kafkas et al., 2002; Sarıkaya, 2020).

The scope of this study, the aroma components of *F. vesca* (wild strawberry), and *F. x ananassa* (strawberry) were aimed to determine the results of both HS-SPME/GC-MS technical of fruits and by chemical classification of the detected aroma components.

## 2. Material and method

### 2.1. Material

*Fragaria vesca* (wild strawberry) fruits were collected in July 2022 from Gümüşhane province, Torul district, Zigana Mountain (40°39'03"N, 39°24'36"E, Altitude: 2050 m). Plant material was identified by Prof. Dr. Salih Terzioğlu and registered in the Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry Herbarium with the herbarium number KATO 19453. *Fragaria x ananassa* (strawberry) fruits were purchased from a greengrocer in Gümüşhane province.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Determination of aroma components by HS-SPME/GC-MS analysis

Aroma (volatile, odor) components of *F. vesca* (wild strawberry), and *F. x ananassa* (strawberry) fruits combined with Gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) with Headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) technique Kang et al. (2019) method. For extraction, 5 grams of fruit samples were taken, mixed in a homogenizer, transferred to headspace vials, and 2 grams of salt (NaCl) was added. The vials were kept at 70 °C for 45 minutes, and aroma compounds were collected in the headspace with 75 µm thin Carboxene/Polydimethylsiloxane (CAR/PDMS) coated fused silica fiber. Aroma compounds collected in the headspace were injected into GC/MS (Agilent 7890A GC-5975MSD) and the separation of aroma substances was carried out using an HP-5 MS apolar capillary column (30 m x 250 µm x 0.5 µm). The injector temperature was 220 °C, the detector temperature was 250 °C, and the column temperature was increased by 2 °C per minute to 220 °C, and then by 3 °C per minute to 245 °C, after waiting for 3 minutes at 50 °C. The temperature was adjusted to remain constant for 20 minutes. Helium was used as the carrier gas and the flow rate of helium was set at 1 mL/min and the detector and injector temperatures were set at 250 °C in 1:10 split mode. As a result of the analysis, RI (Retention Indices) values were calculated with the help of a series of C<sub>6</sub>-C<sub>27</sub> saturated n-alkane standards (Sigma-Aldrich Chemical Co. USA), and Wiley, Nist libraries and using Adams (2007) data were used to identify the compounds. HS-SPME method and GC-MS analysis are shown in Figure 2.



**Figure 2.** Headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) method and GC-MS analysis

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Results of aroma components with HS-SPME/GC-MS analysis

The aroma components of the obtained wild strawberry, and strawberry fruit samples were determined by the HS-SPME/GC-MS analysis technique. The aroma components showed high coupling rates (at least 80%) and their chemical structures were identified by comparing their retention times. 50 out of 52 different components have been identified in wild strawberries, and 76 out of 79 different components in strawberries have been identified. In the aroma component analysis, 97.61% of the compounds in wild strawberries and 98.85% of strawberry fruits were determined (unidentified compounds rates were excluded). HS-SPME/GC-MS analysis results of aroma compounds determined in *F. vesca* and *F. x ananassa* fruits are given in Table 1.

**Table 1.** HS-SPME/GC-MS analysis results of aroma compounds determined in *F. vesca* and *F. x ananassa* fruits

No	<i>F. vesca</i> % area	<i>F. x ananassa</i> % area	Compound class	Compounds	Kovats index	Literature kovats index
1	1.13		Ketone	2-Pentanone	655	653
2	0.50		Ketone	3-Methyl-2-butanone	660	658
3		0.20	Ester	Methyl butanoate	698	698
4		0.20	Ester	Ethyl butanoate	798	798
5		0.02	Aldehyde	Hexanal	822	820
6		<b>3.61</b>	<b>Aldehyde</b>	<b>(E)-2-Hexenal</b>	855	855
7		0.11	Alcohol	(E)-2-Hexen-1-ol	868	868
8		0.23	Alcohol	1-Hexanol	870	870
9	1.99		Ketone	2-Heptanone	891	891
10		2.55	Ester	Methyl hexanoate	927	927
11		0.48	Aldehyde	Benzaldehyde	964	964
12	0.91		Phenol	Phenol	985	984
13		2.86	Fatty acid	Hexanoic acid	997	997
14		0.78	Ester	Hexyl ethanoate	1016	1016
15		0.59	Ester	(E)-2-Hexenyl acetate	1018	1017
16	0.92	0.12	Monoterpene	Limonene	1033	1033
17		0.09	Monoterpene	(E)- $\beta$ -Ocimene	1052	1052
18		0.08	Aldehyde	(E)-2-Octenal	1062	1062
19		0.31	Other	Mesifurane	1065	1065
20	2.87	0.20	Alcohol	1-Octanol	1072	1072
21		0.24	Monoterpenoid	(Z)-Linalool oxide	1078	1078
22	2.20		Ketone	2-Nonanone	1092	1092
23		0.31	Monoterpene	$\alpha$ -Terpinolene	1093	1093
24	0.72		Alcohol	2-Nonanol	1100	1100
25		<b>3.02</b>	<b>Monoterpenoid</b>	<b>Linalool</b>	1103	1103
26	1.01	0.14	Aldehyde	Nonanal	1107	1107
27	0.27	0.20	Ester	Methyl caprylate	1126	1126
28		0.04	Monoterpene	Allo-Ocimene	1132	1132
29		0.05	Aldehyde	(E)-2-Nonenal	1163	1163
30		0.29	Ester	Benzyl acetate	1169	1169
31	1.68	0.61	Fatty acid	Octanoic acid	1174	1174
32	1.25		Monoterpenoid	Hexahydrothymol (Menthol)	1178	1178
33		0.11	Monoterpenoid	Carvomenthenal	1184	1191



Table 1. Continued

34	0.82		Other	Ethanol, 1-(2-butoxyethoxy)-	1189	1187
35		0.16	Ester	Hexyl butanoate	1193	1193
36	1.02	1.63	Monoterpenoid	$\alpha$ -Terpineol	1198	1198
37		0.15	Ester	Methyl salicylate	1202	1201
38	1.09		Monoterpenoid	Myrtenol	1202	1202
39	0.72	0.08	Aldehyde	Decanal	1208	1208
40	0.64	0.57	Ester	Caprylyl acetate	1211	1211
41	2.56		Hydrocarbon	( <i>E</i> )-2-Dodecene	1212	1205
42		0.28	Monoterpenoid	1-p-Menthen-9-al, isomer 1	1224	1221
43		0.25	Monoterpenoid	1-p-Menthen-9-al, isomer 2	1226	1223
44		0.17	Monoterpenoid	( <i>Z</i> )-Geraniol	1233	1233
45	1.81		Other	Benzothiazole	1234	1234
46	2.55		Ester	Dimethyl 2-methylhexanedioate	1245	1245
47	1.23	0.51	Monoterpenoid	( <i>E</i> )-Geraniol	1253	1253
48		0.05	Ester	Phenethyl acetate	1262	1261
49	<b>5.21</b>	0.11	<b>Aldehyde</b>	<b>Undecanal</b>	1271	1274
50	1.68	0.05	Alcohol	1-Decanol	1279	1279
51	0.61		Aldehyde	10-Undecenal	1287	1288
52	<b>10.13</b>		<b>Ketone</b>	<b>2-Undecanone</b>	1292	1292
53	1.30		Alcohol	2-Undecanol	1298	1303
54		0.08	Ester	Octyl propionate	1302	1301
55	0.74	0.20	Other	Dibutylformamide	1309	1319
56	0.25	0.06	Aldehyde	( <i>E,E</i> )-2,4-Decadienal	1320	1320
57		0.11	Ester	Methyl caprylate	1324	1324
58		0.13	Terpene-related	Phenol, 4-(1-methylpropyl)-	1326	1317
59	0.59		Terpene-related	Myrtenyl acetate	1329	1328
60	<b>5.30</b>		<b>Ester</b>	<b>Methyl anthranilate</b>	1349	1347
61	<b>7.14</b>		<b>Phenol</b>	<b>Eugenol</b>	1361	1361
62		0.15	Phenol	Chavibetol	1366	1362
63		0.09	Ester	Hexyl hexanoate	1385	1385
64		1.52	Ester	Octyl butanoate	1389	1394
65		0.05	Monoterpenoid	( <i>E</i> )- $\beta$ -Damascenone	1394	1394
66	0.77		Hydrocarbon	Tetradecane	1394	1400
67	1.48		Aldehyde	Vanillin	1403	1403
68		0.29	Ester	Decyl acetate	1408	1408
69	0.70		Alcohol	1-Dodecanol	1425	1430
70		1.36	Ester	Octyl isovalerate	1434	1434
71	0.63		Hydrocarbon	2-Methyl-tetradecane	1446	1454
72		0.07	Ester	Cinnamyl acetate	1451	1455
73	0.60		Hydrocarbon	4-Methyl-tetradecane	1451	1457
74		0.14	Monoterpenoid	( <i>E</i> )-Geranylacetone	1456	1456
75		1.53	Sesquiterpene	( <i>E</i> )- $\beta$ -Famesene	1460	1460
76	2.15		Terpene-related	2,6-Di-tert-butylbenzoquinone	1472	1472
77	<b>8.81</b>	<b>26.36</b>	<b>Ester</b>	<b><math>\gamma</math>-Decalactone</b>	1489	1490

**Table 1. Continued**

78	3.85	0.58	Hydrocarbon	1-Pentadecene	1492	1492
79	1.53	0.25	Hydrocarbon	Pentadecane	1500	1500
80		0.21	Ester	$\delta$ -Decalactone	1508	1509
81		0.45	Sesquiterpene	$\alpha$ -Farnesene	1512	1512
82	2.05		Sesquiterpenoid	Butylated Hydroxytoluene	1516	1516
83		1.76	Terpene-related	2,5-Di-tert-butylphenol	1517	1514
84		0.13	Ester	Methyl dodecanoate	1525	1525
85		0.20	Sesquiterpene	$\alpha$ -Bisabolene	1552	1544
86		<b>29.44</b>	<b>Sesquiterpenoid</b>	<b>Nerolidol</b>	1579	1577
87	2.88	2.20	Ester	Octyl hexanoate	1587	1575
88		0.40	Ester	Decyl butyrate	1591	1590
89	1.26		Hydrocarbon	1-Hexadecene	1593	1593
90	1.47	0.68	Hydrocarbon	Hexadecane	1599	1600
91		0.25	Sesquiterpenoid	Caryophyllene oxide	1624	1625
92		0.33	Sesquiterpenoid	Viridiflorol	1631	1636
93		<b>4.23</b>	<b>Sesquiterpenoid</b>	<b>Bisabolol oxide II</b>	1679	1676
94	0.67		Hydrocarbon	1-Heptadecene	1695	1694
95		1.50	Ester	$\gamma$ -Dodecalactone	1696	1695
96		0.65	Sesquiterpenoid	$\alpha$ -Bisabolol	1703	1704
97	0.98	0.60	Ester	Ethylhexyl benzoate	1719	1735
98		0.31	Ester	$\delta$ -Dodecalactone	1724	1725
99		0.13	Ester	Methyl myristate	1728	1728
100	3.07	0.42	Ester	Hexyl decanoate	1787	1784
101	2.85	0.14	Ester	Methyl pentadecanoate	1821	1820
102	0.42		Ester	Diisobutyl phthalate	1873	1873
103		0.28	Ester	Methyl hexadecanoate	1940	1939
104	0.60		Fatty acid	Hexadecanoic acid	1963	1963
105		0.12	Ester	Methyl linoleate	2120	2107

The main components of wild strawberry aroma were determined as 2-undecanone (ketone) with 10.13%,  $\gamma$ -decalactone (ester) with 8.81%, eugenol (terpene-related) with 7.14%, methyl anthranilate (ester) with 5.30% and undecanal (aldehyde) with 5.21%. The main components of strawberry aroma were detected nerolidol (sesquiterpenoid) with 29.44%,  $\gamma$ -decalactone (ester) with 26.36%, bisabolol oxide II (sesquiterpenoid) with 4.23%, (*E*)-2-hexenal (aldehyde) with 3.64% and linalool with 3.02% (monoterpenoid). It is seen that the main components differ in both fruits, and 21 compounds are common in both fruits (Table 1).

In HS-SPME/GC-MS analysis three different *F. vesca* genotypes were identified as eugenol,  $\gamma$ -octalactone and  $\delta$ -decalactone, and mesifurane as characteristic aroma (Zheng et al., 2023). Li et al. (2017) identified 97 volatile compounds in *F. x ananassa*. They were demonstrated as the highest concentrations of the characteristic aroma compounds such as  $\gamma$ -decalactone, ethyl butanoate (butanoic acid, ethyl ester), methyl hexanoate (hexanoic acid, methyl ester),  $\gamma$ -dodecalactone and ethyl caproate (hexanoic acid, ethyl ester). Kafkas et al. (2002) in the analysis of aroma substances determined in the apolar column by SPME-GC/MS in fresh and frozen fruits of Ottoman strawberries are the main components as methyl hexanoate, ethyl hexanoate (hexanoic acid, ethyl ester), ethyl octanoate (octanoic acid, ethyl ester), hexyl hexanoate (hexanoic acid, hexyl ester). As a result of the analysis of the aroma components of white strawberry (*Fragaria chiloensis*), 50 compounds were detected by HS-SPME. The identified components were classified as esters, alcohols, aldehydes and ketones, acids, norisoprenoids and terpenes, as well as lactones and furanones (Prat et al., 2014).

The chemical classification, number of compounds, and percentage amounts of main components determined in *F. vesca* and *F. x ananassa* fruits are shown in Table 2.

**Table 2.** The percentage amount of main components, number of compounds, and chemical classification of aroma compounds determined in *F. vesca* and *F. x ananassa* fruits

Constituents Composition	Compound Number	Main Compound	Ratio %	Compound Number	Main Compound	Ratio %
	Wild strawberry ( <i>Fragaria vesca</i> )			Strawberry ( <i>Fragaria x ananassa</i> )		
Aldehydes	6	Undecanal	9.28	9	Hexanal	4.63
Alcohols	5	1-Octanol	7.27	4	1-Hexanol	0.59
Esters	10	$\gamma$ -Decalactone	27.77	31	$\gamma$ -Decalactone	42.06
Hydrocarbons	9	1-Pentadecene	13.34	3	Hexadecane	1.51
Ketones	5	2-Undecanone	15.95			
Monoterpenes	1	Limonene	0.92	4	$\alpha$ -Terpinolene	0.56
Monoterpenoids	4	Hexahydrothymol	4.59	10	Linalool	6.40
Sesquiterpenes				3	( <i>E</i> )- $\beta$ -Famesene	2.18
Sesquiterpenoids	1	Butylated Hydroxytoluene	2.05	5	Nerolidol	34.90
Terpene-related Compounds	3	Eugenol	9.88	3	2,5-Di-tert-butylphenol	2.04
Fatty Acids	2	Octanoic acid	2.28	2	Hexanoic acid	3.47
Phenols	1	Phenol	0.91			
Others	3	Benzothiazole	3.37	2	Mesifurane	0.51
Unidentified Compounds	2		2.39	3		1.15
<b>Total</b>	<b>52</b>		<b>100</b>	<b>79</b>		<b>100</b>

When examined in Table 2, according to the chemical classification results of aroma compounds obtained from *F. vesca* fruits, it can be seen that 50 compounds whose structures were defined were divided into 12 groups (excluding unidentified compounds), while 76 compounds (excluding unidentified compounds) in *F. x ananassa* fruits were distributed into 11 groups.

When the chemical component classes determined in aroma compounds were evaluated, it was determined that the most abundant compound class in *F. vesca* fruits in terms of percentage was esters with 27.77%, and the main component was  $\gamma$ -decalactone. In other compound classes, respectively, it was found that ketones were 15.95%, the main component was 2-undecanone, hydrocarbons were 13.34% and the main component was 1-pentadecene, terpene-related compounds were 9.88%, the main component was eugenol and aldehydes were 9.28% and the main component was undecanal. In terms of the number of compounds determined in these classes, it was determined that the most abundant compound classes were esters 10, hydrocarbons 9, aldehydes 6, alcohols, and ketones 5 each. It can be seen that there are 9 compounds in total and 17.44% of terpene or terpenoid class compounds (Table 2).

When the chemical component classes determined in the aroma compounds of *F. x ananassa* fruits were examined, it was found that the most abundant compound class in terms of percentage was esters with 42.06% and the main component was  $\gamma$ -decalactone. In other compound classes, it was determined that sesquiterpenoids were 34.90%, and their main component was nerolidol, monoterpenoids were 6.40% and their main component was linalool, and aldehydes were 4.63% and their main component was hexanal. In terms of the number of compounds determined in these classes, the most abundant compound classes were determined to be esters 31, monoterpenoids 10, aldehydes 9, and sesquiterpenoids 5, respectively. It is understood that there are 25 compounds in total, comprising 46.08% of terpene or terpenoid class compounds (Table 2). When the chemical classes of aroma compounds detected from wild strawberry and strawberry fruits are compared, it is seen that the major chemical class in both fruits in terms of percentage amount and number of compounds was esters. While similar groups exist in other chemical classes, there are differences in the percentage amount and number of compounds of these groups.

Song et al. (2017) reported that, as a result of their research with wild strawberry HS-SPME/GC-MS analysis, 78 aroma compounds were determined, including 25 esters, 25 alcohols, 9 terpenes, 5 phenols, 5 ketones, 4 aldehydes, 4 fatty acids, and 1 styrene.

Bianchi et al. (2014), in their study using the HS-SPME technique with strawberries of different genotypes, stated that nerolidol is dominant in the terpenoid class in *F. x ananassa* fruits, and the monoterpene class is mostly in wild species. Ester and terpene concentrations are significant among the analyzed genotypes. Methyl and ethyl esters are the compounds that most significantly contribute to strawberry (*F. x ananassa*) aroma (Cozzolino et al., 2022). As a result of SPME/GC-MS aroma analysis of commercial varieties of *Fragaria ananassa* (strawberry), it was reported that esters, which generally give a fruity fragrance, were observed to be the active ingredient in all strawberries (Görgüç et al., 2019).

It appears that the compounds and chemical classes obtained in our study are generally compatible with the data found in the literature. It can be said that some differences between the percentage amounts and chemical classification of the detected components are due to the differences in the investigated species, growing places, climatic conditions, collection times, storage conditions, and analysis parameters (Öz, 2022b).

#### 4. Conclusions

This research was conducted on the fruit aroma (volatile, odor) components of wild strawberry (*Fragaria vesca*) and strawberry (*Fragaria x ananassa*) by HS-SPME technique combined with GC-MS. As a result of the aroma analysis obtained by HS-SPME/GC-MS within the scope of the study, the structures of 50 compounds in wild strawberry fruits and 76 compounds in strawberry fruits were identified. The main components of wild strawberries were detected to be 2-undecanone,  $\gamma$ -decalactone, and eugenol. The major constituents of strawberry were determined to be nerolidol,  $\gamma$ -decalactone, and bisabolol oxide II. Esters were the major chemical class in terms of percentage amount and number of compounds in both fruits. Differences in percentage amounts and number of compounds were found in other chemical classes. The data obtained at the end of the study is expected to be useful in fields such as food, perfumery, medicine, and cosmetics and will contribute to further studies.

#### Acknowledgement

This study was presented as an oral presentation at the “5th International Symposium on Non-Wood Forest Products Symposium”.

#### Author contribution

MO: Supervision, manuscript design, helped in plant collection, preparation of the manuscript, and editing. CB: Supervision, experimental process, and laboratory analyses. MSF: Supervision, the preparation of the manuscript, interpretation of the results, and revised the draft.

#### Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval, and/or legal-special permission.

#### Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### References

- Adams, R. P. (2007). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*, (4th ed.). Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL, USA.
- Akın, İ. (2014). *Physical and chemical changes during modified atmosphere storage of some strawberry (*Fragaria vesca* L.) cultivars* [Master's Thesis, Uludağ University, Graduate School of Natural and Applied Sciences].

- Avan, M. (2021). Researches on the characterization and diseases of important medicinal and aromatic plants occurring in Turkey and the World. *International Journal of Eastern Anatolia Science Engineering and Design*, 3(1), 129-156. <https://doi.org/10.47898/ijeased.864877>
- Boztaş, G., Avcı, A. B., Arabacı, O., & Bayram, E. (2021). Economic status of medicinal and aromatic plants in Turkey and in the World. *Theoretical and Applied Forestry*, 1(1), 27-33. <https://doi.org/10.53463/tafor.2021vol1iss1pp27-33>
- Bianchi, G., Lovazzano, A., Lanubile, A., & Marocco, A. (2014). Aroma quality of fruits of wild and cultivated strawberry (*Fragaria* spp.) in relation to the flavour-related gene expression. *Journal of Horticultural Research*, 22(1), 77-84. <https://doi.org/10.2478/johr-2014-0009>
- Cozzolino, R., Amato, G., Siano, F., Picariello, G., Stocchero, M., Morra, L., Mignoli, E., Sicignano, M., Petriccione, M., & Malorni, L. (2022). New biodegradable mulching films for strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.): Effects on the volatile profiles of the fruit. *Agronomy*, 12(10), Article ID 2514, 1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102514>
- Davis, P. H. (1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands: Vol. 4. (Fragaria vesca L.)*, Edinburgh: University Press.
- Görgüç, A., Yıldırım, A., Takma, D. K., Erten, E. S., & Yılmaz, F. M. (2019). Physical, chemical, bioactive and aroma properties of commercial strawberry cultivars grown in Aydın province. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(2), 131-141. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.466720>
- Kafkas, E., Kürkçüoğlu, M., Demirci, B., Başer, K. H. C., & Paydaş, S. (2002). Determination of aroma compounds in fresh and frozen Ottoman strawberry fruits. XIV. *Symposium on Plant Originated Crude Drugs* (pp. 182-187), Eskişehir,
- Kang, S., Yan, H., Zhu, Y., Liu, X., Lv, H. P., Zhang, Y., Dai W. D., Guo, L., Tan, J. F., Peng, Q. H., & Lin, Z. (2019). Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas. *Food Research International*, 121, 73-83. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102514>
- Li, L., Xiao, W., Ji, M., Yang, C., Li, L., Gao, D., & Fu, X. (2017). Effects of molybdenum on nutrition, quality, and flavour compounds of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit. *Journal of integrative agriculture*, 16(7), 1502-1512. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61518-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61518-6)
- Öz, M. (2022a). Chemical content and antimicrobial activity of *Cyclotrichium origanifolium* (Labill.) Manden. & Scheng. plant essential oil obtained from Adana region. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*. 24(3), 465-475. <https://doi.org/10.24011/barofd.1138343>
- Öz, M. (2022b). The ratio and chemical composition of essential oil obtained from Caucasian linden (*Tilia rubra* DC. subsp. *caucasica* V.Engler) flowers collected from Gümüşhane Province. *International Congress on Food Researches* (pp. 410-419), Sivas.
- Prat, L., Espinoza, M. I., Agosin, E., & Silva, H. (2014). Identification of volatile compounds associated with the aroma of White strawberries (*Fragaria chiloensis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(4), 752-759. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6412>
- Saraç, D. U., Özkan, Z. C., & Akbulut, S. (2013). Ethnobotanic features of Rize/Turkey province. *Biological Diversity and Conservation*, 6(3), 57-66.
- Sarıkaya, A. (2020). Determination to volatile components of *Phlomis pungens* Willd. var. *pungens*. *Tree and Forest*, 1(2), 20-24.
- Sarıkaya, A. G., & Fakir, H. (2017). Volatile components of leaves and flowers of *Phlomis leucophracta* P. H. Davis & Hub.-Mor. and *Phlomis lycia* D. Don grown in Goynuk Province (Antalya). *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 19(2), 69-73. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/barofd/issue/30631/337404>
- Sarıkaya, A. G., & Karaevli, A. (2019). Ethnobotanical properties of plant taxa that naturally distributed in Korgan (Ordu) province. *Turkish Journal of Forestry*, 20(3), 173-179. <https://doi.org/10.18182/tjf.560636>

- Song, Y., Zhang, Y. J., Liu, N., Ye, D. Q., Gong, X., Qin, Y., & Liu, Y. L. (2017). Volatile compounds in Wild strawberry and their odorants of Wild strawberry wines: Effects of different stages of fermentation. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 399-415. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1297951>
- Tübives, (2023, September 19). *Turkish Plants Data Service (Tübives)*. *Fragaria vesca* L. <http://www.tubives.com>.
- Yıldırım Birinci, A. (2012). *In vitro regeneration, evaluation of biological activities and determination of phenolic compounds in Wild strawberry (Fragaria vesca L.)* [Doctoral Thesis, Abant İzzet Baysal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences].
- Zheng, S., Cai, J., Huang, P., Wang, Y., Yang, Z., & Yu, Y. (2023). Determination of volatile profiles of Woodland strawberry (*Fragaria vesca*) during fruit maturation by HS-SPME GC-MS. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103, 7455–7468. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12827>

## V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin fiziksel özelliklerinin ve süperiletkenlik mekanizmasının teorik olarak incelenmesi

*Theoretical Investigation of the physical properties and superconductivity mechanism of V<sub>3</sub>Ge compound*

Süleyman Berkutay DURSUN\*<sup>1</sup> , Sadık BAĞCI<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 19.02.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 11.06.2024

### Öz

Bu çalışmada Yoğunluk Fonksiyonel Teorisini ele alan Quantum Espresso paket programı kullanılarak A15 tipi V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin yapısal, elektronik, elastik ve fonon özellikleri araştırılmış ve süperiletkenlik mekanizması teorik olarak incelenmiştir. Örgü sabiti hesaplamalarını müteakip hacim modülü ve hacim modülünün basınca göre birinci türevi farklı örgü sabitlerine karşılık gelen enerji değerleri ve Murnaghan durum denklemleri yardımıyla elde edilmiştir. Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı ve Yapay Potansiyel Metodu kullanılarak elektronik özelliklere ilişkin hesaplamalar yapılmış ve neticesinde V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin elektronik bant yapısı grafikleri spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve spin-orbit etkileşimi hariç tutularak ayrı ayrı hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra V<sub>3</sub>Ge kristali için hesaplanan elektron durum yoğunluğu grafiklerinden, V<sub>3</sub>Ge kristalinin süperiletkenlik mekanizmasının araştırılmasında önemli bir yer tutan Fermi enerjisi civarındaki durum yoğunluğu  $N(E_F)$ , tam-rölativistik ultrasoft yapay potansiyeller kullanılarak hesaplanmıştır. Süperiletken materyallerin elastik özelliklerinin araştırılması, süperiletkenlik özelliklerinin teorik olarak anlaşılabilmesi için de oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin elastik özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Elastik sabitlerin değerleri, Gerilme-Gerinim (Stress-Strain) metodu kullanılarak elde edilmiştir. V<sub>3</sub>Ge'nin süperiletkenlik özelliklerinin incelenebilmesi için fonon özelliklerinin de incelenmesi gerekir. Fonon hesaplamaları neticesinde ortalama fonon frekansı ve elektron-fonon etkileşim parametresi elde edilmiştir. Bu parametre değerleri ve Migdal-Eliashberg yaklaşımı kullanılarak V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin süperiletkenliğe geçiş kritik sıcaklığı ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** A15 tipi, Elektronik özellikler, Fonon özellikler, Süperiletkenlik, Yapısal özellikler, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi

### Abstract

In this study, the superconductivity mechanism was theoretically examined by investigating the structural, electronic, elastic and phonon properties of the A15 type V<sub>3</sub>Ge compound using the Quantum Espresso package program, which deals with Density Functional Theory. Following the lattice constant calculations the bulk modulus and the first derivative of the bulk modulus with respect to pressure were with the help of energy values corresponding and different lattice constants and Murnaghan equations of state. Calculations regarding the electronic properties were made using the Generalized Gradient Approach and Pseudopotential Method and as a result, the electronic band structure graphs of the V<sub>3</sub>Ge compound were prepared separately by including the spin-orbit interaction in the calculation and excluding the spin-orbit interaction. In addition, from the electronic density of states graph calculated for the V<sub>3</sub>Ge crystal, the density of states at the Fermi level,  $N(E_F)$ , which has an important place in the investigation of the superconductivity mechanism of the V<sub>3</sub>Ge crystal was calculated using full-relativistic ultrasoft pseudopotentials. Investigation of the elastic properties of superconducting materials is also very important for the theoretical understanding of superconductivity properties. Therefore, in this study, the elastic properties of the V<sub>3</sub>Ge compound are discussed in detail. Elastic constant values have been obtained by using the Stress-Strain method. In order to investigate the superconductivity properties of V<sub>3</sub>Ge, phonon properties should be analysed. As a result of the phonon calculations, the average phonon frequency and electron-phonon interaction parameter were obtained. These parameter values were used to reveal the critical temperature of the V<sub>3</sub>Ge compound for transition to superconductivity using the Migdal-Eliashberg approach.

**Keywords:** A15 type, Electronic properties, Phonon properties, Superconductivity, Structural properties, Density Functional Theory

\*Süleyman Berkutay DURSUN; berkutaydursun@hotmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Süperiletkenlik özellikleri araştırılan gruplardan biri de A15 tipi malzemelerdir. İlk olarak 1931 yılında bir tungsten allotropunda gözlenen ve bu nedenle  $\beta$ -W veya  $\text{Cr}_3\text{Si}$  olarak da bilinen A15 fazı, metallerin biraraya gelmesi ile oluşur.  $\text{A}_3\text{B}$  kimyasal formuyla bilinen bu yapıda A geçiş metalini B ise uygun olan diğer elementi simgeler. Yüksek manyetik alan ve yüksek sıcaklıklarda süperiletken özellik gösterebilen A15 tipi bileşikler, günümüzde teknoloji alanında birçok uygulamada kullanılmaya devam ederken bilimsel çalışmalarda da hala süregelen önemli bir araştırma alanıdır. Yakın geçmişte çok daha yüksek sıcaklıklarda süperiletken özellik gösteren malzemeler keşfedilmesine rağmen, A15 tipi süperiletkenler 10T'dan daha yüksek manyetik alan gerektiren uygulamalarda kullanılan ana malzemeler olmuşlardır. A15 tipi malzemelerden biri olan ve 17.1 K kritik sıcaklığa sahip  $\text{V}_3\text{Si}$ 'nin keşfi 1953 yılında gerçekleşmiştir (Hardy & Hulm, 1953). Bu bileşik aynı zamanda bu çalışmada üzerinde çalışılmış olduğumuz  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin izomorfudur. Bu çalışmada üzerinde çalıştığımız A15 tipi süperiletkenlerden biri olan  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiği de literatürde geniş bir perspektifte çalışılmış (Mattheiss, 1975, Dew-Hughes, 1975, Somekh & Evetts, 1977, Nettel & Thomas, 1977, Arbman & Jarlborg, 1978, Menon & Philip, 1978, Achar & Barsch, 1979, Philip, 1980, Papaconstantopoulos & Soukoulis, 1981, Kodess & Butman, 1982, Radousky vd., 1982, Dierker vd., 1983, Solleder vd., 1984, Skripov & Stepanov, 1984, Klein & Lu, 2001, Delaire vd., 2008; Delaire, 2010, Chihi vd., 2012, Surikov vd., 2021, Ahmed vd., 2022) ve çalışmalar halihazırda büyük bir ilgi ile devam etmektedir.

Bu makalede öncelikle  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin yapısal özellikleri hesaplanmıştır. Yapısal özelliklerinden faydalanılarak  $\text{V}_3\text{Ge}$ 'nin elastik ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bir sonraki adım olarak  $\text{V}_3\text{Ge}$  kristalinin elektronik özellikleri araştırılmış, elektronik bant yapısı ve elektronik durum yoğunluğu elde edilmiştir. Elektronik özelliklerini müteakip bu malzemenin fonon dispersiyon grafiği ve fonon durum yoğunluğu hesaplamaları ilk kez bu çalışma kapsamında ele alınarak, titreşim özellikleri ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin yapısal, elektronik, elastik, mekanik ve fonon özelliklerinin elde edilmesinden sonra kristal için elektron-fonon etkileşimi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmanın ilerleyen kısımlarında  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiği için elde edilen tüm bu özelliklerden yararlanılarak süperiletkenlik parametreleri hesaplamaları yapılmıştır. Bununla birlikte özellikle süperiletkenlik mekanizmasının belirlenmesinde çok büyük bir öneme sahip olan elektron-fonon etkileşimi teorik olarak ilk kez bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu çalışmada teorik olarak yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak detaylı bir biçimde tartışılmıştır.

## 2. Hesaplama metodu

### 2. Calculation method

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmaların sayısal hesaplamalarını elde etmek için Yoğunluk Fonksiyonel Teorisini temel alan Quantum-Espresso paket programı kullanılmıştır (Giannozzi vd., 2009; Giannozzi vd., 2017). İlk olarak  $(8 \times 8 \times 8)$  ve  $(12 \times 12 \times 12)$  k-noktası ağırları kullanılarak birbirlerinden farklı örgü sabiti değerleri için  $\text{V}_3\text{Ge}$  kristal yapısı oluşturulmuş ve seçilen her bir farklı örgü sabitine karşılık gelen enerji değerleri belirlenmiştir. Sonrasında, XCRSYDEN programı (Kokalj, 1999) sayesinde V ve Ge atomları arasındaki bağ uzunlukları hesaplanmıştır. Yapılan tüm bu hesaplamalar spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ayrıca tekrarlanmıştır. Hacim modülü ve hacim modülünün basınca göre birinci türevi, farklı örgü sabitine karşılık gelen enerji değerleri ve Murnaghan durum denklemleri (Murnaghan, 1944) kullanılarak elde edilmiştir. Kohn-Sham denklem çözümleri, Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı ve Yapay (Pseudo) Potansiyel metodları (Perdew & Burke, 1996) kullanılarak elde edilmiştir. Bu sayede  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin elektronik özelliklerine ilişkin verilere ulaşabileceğimiz elektronik bant yapısı grafiği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca hesaplanan elektronik durum yoğunluğu grafiğinden Fermi enerjisi civarındaki durum yoğunluğu, spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak tam-rölativistik ultrasoft yapay potansiyeller kullanılarak belirlenmiştir.  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin fonon hesaplamalarında, başarısını literatürde bulunan birçok çalışmada etkin olarak kanıtlamış olan Lineer Tepki Metodu (Allen & Dynes, 1975; Giannozzi vd., 2009) kullanılmıştır.  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğine ait fonon dispersiyon grafiğini elde etmek için  $4 \times 4 \times 4$   $\mathbf{q}$ -noktası ağında 10 adet dinamik matris kullanılmıştır. Momentum uzayında elde edilen bu matrisler normal uzaya Fourier dönüşümleri kullanılarak taşınmıştır. Daha sonra hareket denklemi hesaplaması yapılarak birinci Brillouin bölgesinde simetri yönlerinde fonon eğrileri elde edilmiştir.  $\text{V}_3\text{Ge}$  bileşiğinin süperiletkenlik mekanizmasının incelenebilmesi kapsamında BCS Teorisinin temel aldığı elektron-fonon etkileşim parametresinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için Lineer Tepki Metodu ve Migdal-Eliashberg (Allen & Dynes, 1975; Giannozzi vd., 2009) teoremleri kullanılmıştır. Yapılan



hesaplamalarda  $32 \times 32 \times 32$  değerinde **k**-noktası ağı kullanılmıştır. Elde edilen ortalama fonon frekansı ve elektron-fonon etkileşim parametresi değerleri Migdal-Eliashberg yaklaşımı kullanılarak  $V_3Ge$  bileşiğinin süperiletkenliğe geçiş kritik sıcaklık değeri belirlenmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3. Results

#### 3.1. $V_3Ge$ kristalinin yapısal ve elektronik özellikleri

##### 3.1. Structural and electronic properties of $V_3Ge$ crystal

Uzay grubu  $Pm\bar{3}n$  (No:223) olan bu kristal yapı basit kübik örgüye sahiptir.  $V_3Ge$  bileşiğinin bir birim hücrede 8 adet (6 V ve 2 Ge) atom bulunmaktadır. V atomları 6c Wyckoff pozisyonları olan  $(1/4, 0, 1/2)$ ,  $(1/2, 1/4, 0)$ ,  $(0, 1/2, 1/4)$ ,  $(3/4, 0, 1/2)$ ,  $(1/2, 3/4, 0)$  ve  $(0, 1/2, 3/4)$  koordinatlarında bulunurken, Ge atomları ise 2a Wyckoff pozisyonları olan  $(0,0,0)$  ve  $(1/2, 1/2, 1/2)$  konumlarında yer alırlar. Hesaplamalar neticesinde ortaya çıkan  $V_3Ge$ 'nin kristal yapısı Şekil 1 ile gösterilmektedir. V ve Ge atomları arasında hesaplanan bağlar birbirlerine eşit uzunlukta olup  $2,6695 \text{ \AA}$  olarak bulunmuştur. Kübik yapıda olmasından kaynaklı V atomları arasında bağlar eşit ve  $2,3877 \text{ \AA}$  olarak ölçülmüştür. V atomları arasındaki bağ uzunlukları literatürde daha önce yer alan bir çalışmada (James & Straumanis, 1961) %99 oranında saflık içeren bir vanadyum kristali için  $2,6189 \text{ \AA}$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki fark,  $V_3Ge$  bileşiği içerisinde V-V atomlarının arasındaki bağ uzunluğunun kısalmış, bir başka deyişle V-V bağının  $V_3Ge$  bileşiğinde daha güçlü kurulmuş olduğunun göstergesidir.  $V_3Ge$  bileşiğinin örgü sabiti değerini teorik yöntemlerle hesaplamak adına farklı örgü sabiti değerleri için bu kristal yapı oluşumu sağlanmıştır. Seçilen her bir farklı örgü sabiti değerine karşılık oluşturulan kristalin toplam enerji değeri hesaplanmış ve bu sayede farklı örgü sabiti değerlerine karşılık gelen enerji değeri hesaplamaları yapılabilmektedir. Hesaplanan farklı örgü sabiti değerlerine karşılık gelen enerji değerleri ve aşağıda 1 ve 2 olarak verilen Murnaghan durum denklemleri (Murnaghan, 1944) yardımıyla ortaya çıkan enerji-örgü sabiti grafiği Şekil 2 ile gösterilmiştir. Örgü sabiti değeri, spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan  $(8 \times 8 \times 8)$  k-noktası ağı kullanıldığında  $4,771 \text{ \AA}$ ,  $(12 \times 12 \times 12)$  k-noktası ağı kullanıldığında ise  $4,772 \text{ \AA}$  olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda  $V_3Ge$  için spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak, degauss değeri 0.05 ve k-noktası ağı  $(8 \times 8 \times 8)$  seçilerek elde edilen örgü sabiti değeri ise  $4,775 \text{ \AA}$  olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte karşılaştırma yapmak ve ileride yapacağımız hesaplamalarda kullanmak için degauss 0.02 ve k-noktası ağı  $(8 \times 8 \times 8)$  alınarak da hesaplama yapılmış ve diğer sonuçlarla neredeyse aynı değerler elde edilmiştir. Sonuç olarak, farklı degauss ve k-noktası ağları için tekrar tekrar yapılan örgü sabiti hesaplamalarında optimum değere, degauss=0.05 ve k-noktası ağı olarak ise  $(8 \times 8 \times 8)$  kullanılarak varılabileceği gözlenmiştir. Bu ideal hesaplama kriterleri kullanılarak,  $V_3Ge$  bileşiğini A15 yapıda kararlı kılan örgü sabiti (a), Bulk modülü ( $B_0$ ) ve Bulk modülünün basınca göre birinci türevi ( $B_0'$ ) elde edilmiştir.

$$P = \frac{B_0}{B_0'} \left[ \left( \frac{\Omega_0}{\Omega} \right)^{B_0'} - 1 \right] \quad (1)$$

$$E = \frac{\Omega_0 B_0}{B_0'} \left[ \frac{1}{B_0' - 1} \left( \frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{B_0' - 1} + \frac{\Omega}{\Omega_0} \right] - \frac{\Omega_0 B_0}{B_0' - 1} + E(\Omega_0) \quad (2)$$

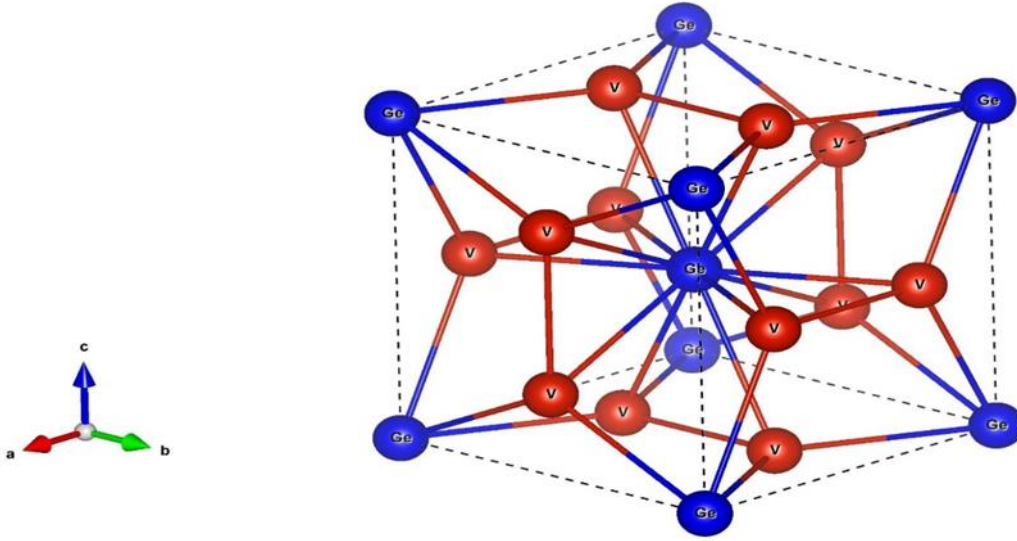
Bulk modülü değerinin hesaplanması kristallerin teknoloji alanında verimli şekilde kullanılabilmesi açısından dayanıklılığının bir ölçüsü olması nedeniyle oldukça önemlidir. Elde edilen bu yapısal parametreler (a,  $B_0$  ve  $B_0'$ ) Tablo 1'de sunulmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen değerlerin daha önceki deneysel (Somekh & Evetts, 1977) ve teorik (Mattheiss, 1975; Menon & Philip, 1978, Chihi vd., 2012) sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.**  $V_3Ge$  kristali için hesaplanan yapısal parametreler ve bu parametrelerin daha önceki deneysel ve teorik verilerle kıyaslanması (Tüm uzunluklar Å birimindedir).

**Table 1.** Calculated structural parameters for  $V_3Ge$  crystal and comparison of these parameters with previous experimental and theoretical data (All lengths are in Å units).

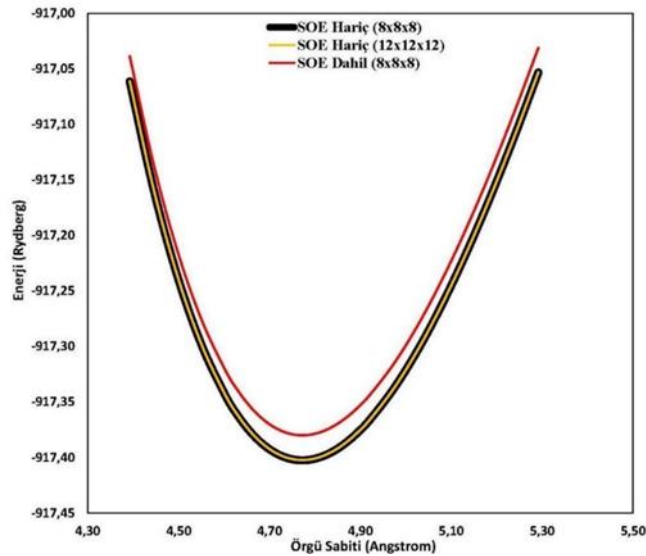
	Degauss	K-Point	a(Å)	$B_0$ (GPa)	$B_0'$
Bu Çalışma (SOE'li*)	0.05	8x8x8	4.775	176.8	4.02
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	8x8x8	4.771	178.5	4.33
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	12x12x12	4.772	178.5	4.32
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.02	8x8x8	4.772	178.8	4.30
Teorik (Mattheiss, 1975)			4.769		
Deneysel (Somekh & Evetts, 1977)			4.778		
Teorik (Menon & Philip, 1978)					4.49
Teorik (Chihl vd., 2012)			4.767	175.8	

Bu Çalışma (SOE'li\*), Hesaplamalara spin-orbit etkileşimi dahil edilmiştir.  
Bu Çalışma (SOE'siz\*\*), Hesaplamalarda spin-orbit etkileşimi hariç tutulmuştur.



**Şekil 1.**  $V_3Ge$  bileşiğinin kristal yapısı

**Figure 1.** Crystal structure of  $V_3Ge$  compound



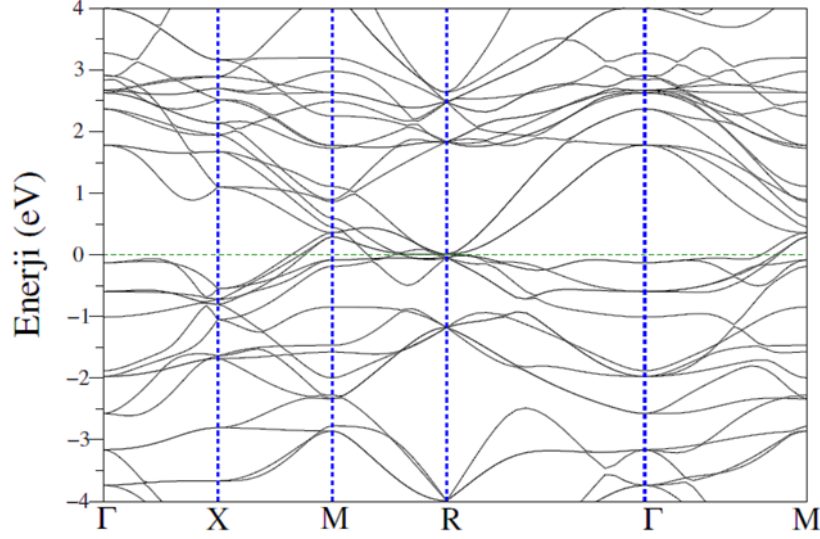
**Şekil 2.**  $V_3Ge$  için enerji-örgü sabiti grafiği

**Figure 2.** Energy-lattice constant plot for  $V_3Ge$

### 3.2. V<sub>3</sub>Ge kristalinin elektronik özellikleri

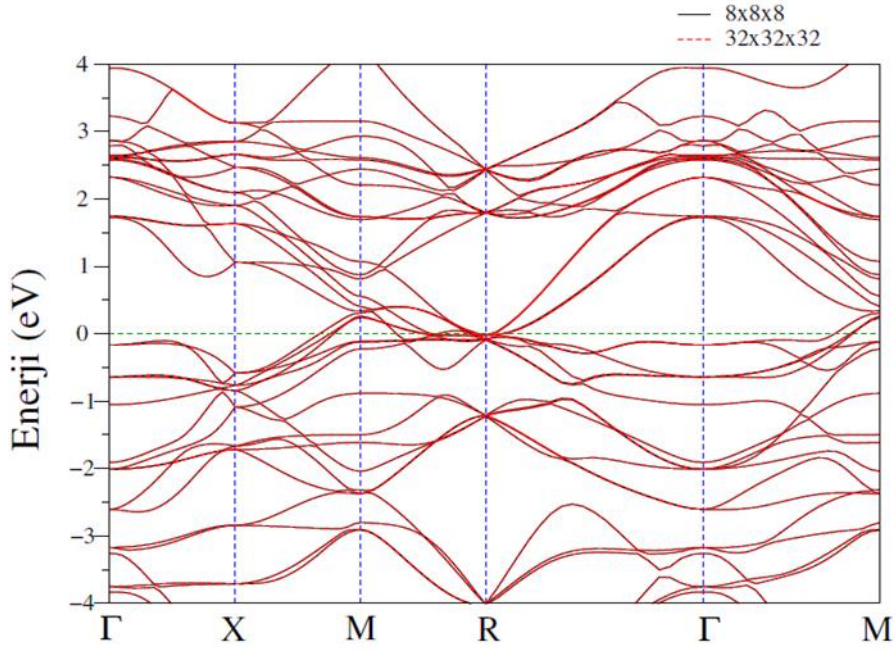
#### 3.2. Electronic properties of V<sub>3</sub>Ge crystal

Elektronik yapı hesaplamaları neticesinde basit kübik örgü yüksek simetri yönleri boyunca elde edilen V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin elektronik bant yapısı grafikleri spin-orbit etkileşimi hariç ve dahil olmak üzere sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmektedir. Bant yapısı incelendiğinde açıkça görüldüğü üzere elektronik enerji bantları Fermi enerji seviyesini bazı simetri yönlerinde kesmektedir. Bu gözlem V<sub>3</sub>Ge bileşiğinin mekanik bir yapıya sahip olduğunun göstergesidir.



**Şekil 3.** V<sub>3</sub>Ge kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen elektronik bant yapısı grafiği. (Yeşil kesikli yatay çizgi Fermi seviyesini belirtir.)

**Figure 3.** Electronic band structure graph of the V<sub>3</sub>Ge crystal obtained without including the spin-orbit interaction. (Green dashed horizontal line indicates the Fermi level.)

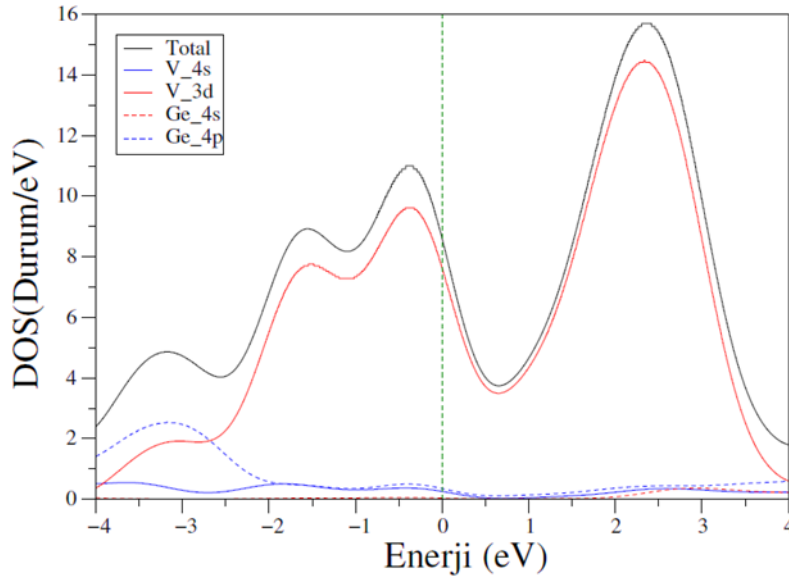


**Şekil 4.** V<sub>3</sub>Ge kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak elde edilen elektronik bant yapısı grafiği. Fermi seviyesi 0 eV olarak alınmıştır.

**Figure 4.** Electronic band structure graph of the V<sub>3</sub>Ge crystal obtained by including the spin-orbit interaction. The Fermi level is taken as 0 eV.

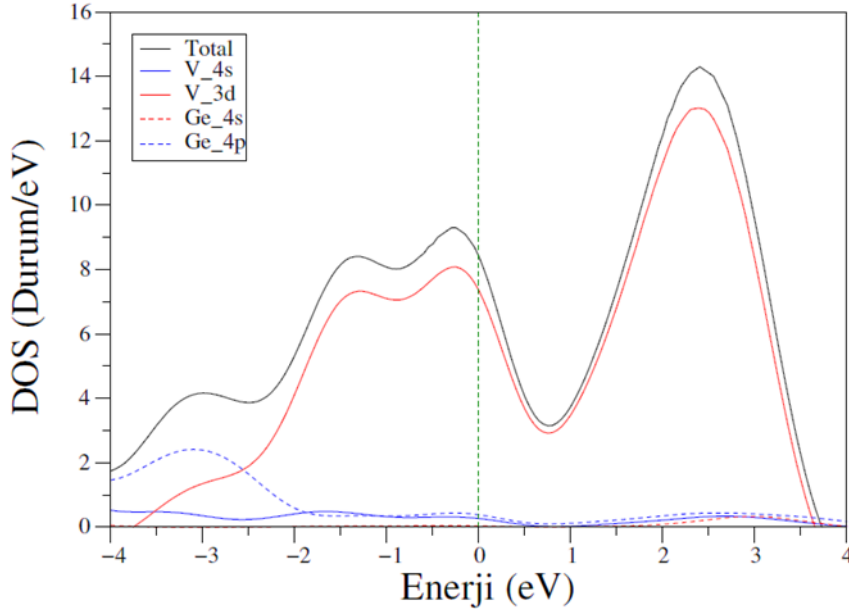
Şekil 3 ve Şekil 4 birlikte incelendiğinde, spin-orbit etkileşiminin  $V_3Ge$ 'nin elektronik bant yapısı üzerine neredeyse hiç etki etmediği görülmektedir. Bunun nedeni spin-orbit etkisinin daha çok ağır atomlarda kendini göstermesidir. Ayrıca Şekil 4'de  $8 \times 8 \times 8$  ve  $32 \times 32 \times 32$  k-noktası ağı kullanılarak, k-noktası ağının farklı kullanılmasının  $V_3Ge$ 'nin elektronik bant yapısına etkisi de araştırılmıştır ve iki seçim arasında neredeyse hiç fark olmadığı görülmüştür. Böylece,  $V_3Ge$  için yapılan elektronik bant yapısı hesaplamalarında  $8 \times 8 \times 8$  k-noktası ağı kullanılmasının yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elektronik bant yapısı grafikleri neticesinde ortaya çıkan enerji bantlarının analizini daha ayrıntılı yapmak adına elektron durum yoğunluğu grafikleri spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan ve spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6 ile gösterilmiştir. Elektronik durum yoğunluğu grafikleri; elde edilen enerji bantlarının,  $V_3Ge$  kristalini oluşturan atomların hangi orbitallerinden kaynaklandığına dair fikir sahibi olmamıza yardımcı olacaktır. Elektronik durum yoğunlukları grafiklerinde yer alan 0 eV değerindeki dikey kesikli çizgi Fermi seviyesini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde -4 eV ile -2.5 eV enerji aralığında kalan bölgede oluşan pike en büyük katkı Ge atomunun 4p orbitalinden gelmektedir. Bu pikin oluşumuna diğer katkılar ise V atomunun 3d orbitali ve az miktarda da olsa V atomunun 4s orbitali tarafından sağlanmaktadır. -2.2 eV ile yaklaşık -0.3 eV değerleri arasında ikili bir pik yapısı gözlenmiştir. -0.5 eV değerinde oluşan pik Fermi enerjisi seviyesi altında bulunan ve en yüksek durum yoğunluğuna sahip piktir. Yaklaşık -1.5 eV ve -0.5 eV değerindeki piklerin oluşumlarında en büyük katkı V atomunun 3d orbitalinden gelmektedir. Bu piklerin oluşumuna diğer katkılar ise az da olsa sırasıyla Ge atomu 4p ve V atomu 4s orbitallerinden gelmektedir. Fermi enerjisi seviyesi altındaki piklerin oluşumunda çok etkin rol oynayan V atomu 3d orbitalleri, fermi enerjisi seviyesi üzerinde oluşan piklere de oldukça yüksek katkı sağlamışlardır. Şekil 5 ve Şekil 6 bütünsel olarak ele alındığında; tüm piklerin oluşumunda en etkin rolü üstlenen V atomu 3d orbitali, toplam durum yoğunluğuna bu orbitale kıyasla daha az miktarda katkı sağlayan Ge atomu 4p orbitali ve V atomu 4s orbitali dışında diğer atom orbitallerinin katkı seviyelerinin oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın ana unsurlarından olan  $V_3Ge$  bileşiğinin süperiletkenlik mekanizmasının araştırılmasında BCS teorisine göre Fermi seviyesi civarındaki elektron durum yoğunluğu  $N(E_F)$  oldukça önemli bir yer tutar. Çünkü bahse konu teori Cooper çiftlerinin oluşumuna Fermi enerjisi seviyesi civarındaki elektronların neden olduğunu belirtir. Fermi enerjisi civarında elde edilen elektronik durum yoğunluğu değeri ( $N(E_F)$ ) spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan yaklaşık olarak 8.268 Durum/eV, spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ise 8.275 Durum/eV olarak hesaplanmıştır. Bu durum yoğunluğunun oluşumuna en büyük katkı görüldüğü gibi yaklaşık %87 ile V atomu 3d orbitallerinden gelmektedir.



**Şekil 5.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen elektronik durum yoğunluğu grafiği. Fermi seviyesi 0 eV olarak alınmıştır.

**Figure 5.** Electronic density of states graph of the  $V_3Ge$  crystal obtained without including the spin-orbit interaction. The Fermi level is taken as 0 eV.



**Şekil 6.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak elde edilen elektronik durum yoğunluğu grafiği. Fermi seviyesi 0 eV olarak alınmıştır.

**Figure 6.** Electronic density of states graph of the  $V_3Ge$  crystal obtained by including the spin-orbit interaction. The Fermi level is taken as 0 eV.

### 3.3. $V_3Ge$ kristalinin elastik ve mekanik özellikleri

#### 3.3. Elastic and mechanical properties of $V_3Ge$ crystal

Süperiletken malzemelerin elastik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi gerek bu malzemelerin kullanım alanlarının belirlenmesinde gerekse süperiletkenlik mekanizmasının teorik olarak araştırılmasında oldukça etkin bir rol oynar. Kristalin elastik özellikleri ile fonon spektrumu arasındaki ilişki göz önüne alındığında, kristalin süperiletkenlik mekanizmasının kristalin elastik özellikleri ile de alakalı olabileceğine kanaat getirilebilir. Nitekim BCS teorisine göre elektron-fonon etkileşimi süperiletkenlik mekanizmasının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Elastik sabitler (basit kübik örgü için  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$ ) kullanılarak bileşiklerin kullanım alanlarının belirlenmesinde faydalı veriler sunan parametreler (sertlik, mekanik kararlılık vb.) elde edilmektedir. Bu çalışmada bu sabitlerin hesaplanması, spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan ayrı ayrı gerinim-gerilme (stress-strain) metodu kullanılarak yapılmıştır.  $V_3Ge$  kristali için hesaplanan elastik sabitler ile literatürde daha önce yer alan teorik bir çalışmadan elde edilmiş sonuçlar (Chihai vd., 2012) Tablo 2 ile gösterilmiştir.

**Tablo 2.**  $V_3Ge$  kristali için hesaplanan elastik sabitler (GPa), bulk modülü  $B_H$  (GPa), kayma modülü  $G_H$  (GPa), young modülü  $E_H$  (GPa),  $G_H/B_H$  oranı ve poisson oranı ( $\sigma$ ).

**Table 2.** The elastic constants (in GPa), bulk modulus  $B_H$  (in GPa), shear modulus  $G_H$  (in GPa), young modulus  $E_H$  (in GPa),  $G_H/B_H$  ratio and Poisson's ratio ( $\sigma$ ).

	Degauss	K-Point	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{44}$	$B_H$	$G_H$	$E_H$	$G_H/B_H$	$\sigma$
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.02	6x6x6	269.786	141.011	63.312	183.936	63.740	171.419	0.347	0.345
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	6x6x6	313.095	119.900	72.933	184.299	81.627	213.377	0.443	0.307
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	12x12x12	313.671	120.086	72.836	184.614	81.629	213.428	0.442	0.307
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	16x16x16	313.707	120.100	72.829	184.636	81.628	213.428	0.442	0.307
Bu Çalışma (SOE'li*)	0.05	12x12x12	313.144	119.751	72.540	184.216	81.398	212.843	0.442	0.307
Teorik (Chihai vd., 2012)			220.51	153.55	21.23	175.87	26.13	94.45	0.148	0.410

Bu Çalışma (SOE'li\*), Hesaplamalara spin-orbit etkileşimi dahil edilmiştir.

Bu Çalışma (SOE'siz\*\*), Hesaplamalarda spin-orbit etkileşimi hariç tutulmuştur.

Kübik yapıda bulunan kristal bir malzemenin Born kriterlerini (Born & Huang, 1996) sağlaması halinde mekanik olarak kararlı olduğu sonucuna varılabilir. Bu kriterler;

$$C_{11}>0; C_{11}-C_{12}>0; C_{44}>0; C_{11}+2C_{12} > 0 \quad (3)$$

şeklinde dir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde bu koşulların elde etmiş olduğumuz veriler ile sağlandığı açıkça görülmekte ve  $V_3Ge$  kristalinin mekanik olarak kararlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Tablo 2'de açıkça görülmektedir ki  $V_3Ge$  kristali için degauss=0.05 ve k-noktası ağının ise (12x12x12) seçilmesi halinde optimum elastik sabiti değerlerine ulaşılabilir. Elastik sabitlerin elde edilmesinin ardından müteakip  $B_H$  ve  $G_H$  parametreleri Voigt-Reuss-Hill (VRH) metodu (Voigt, 1928; Reuss, 1929) ile hesaplanabilir.  $B_H$  değeri Voigt ve Reuss tarafından aynı şekilde belirlenebilirken,  $G_H$  değerinin iki farklı hesaplama yöntemi mevcuttur. Voigt ve Reuss tarafından belirlenen  $B_H$  ve  $G_H$  denklemleri (Voigt, 1928; Reuss, 1929; Hill, 1952):

$$B_V = B_R = \frac{1}{3}(C_{11} + 2C_{12}) \quad (4)$$

$$G_V = \frac{1}{5}(C_{11} - C_{12} + 3C_{44}) \quad (5)$$

$$G_R = \frac{5(C_{11}-C_{12})C_{44}}{4C_{44}+3(C_{11}-C_{12})} \quad (6)$$

değerlerinin ortalamaları kullanılarak;

$$B_H = (B_V + B_R) / 2 \quad (7)$$

$$G_H = (G_V + G_R) / 2 \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır ve elde edilen değerler hacim modülü ( $B_H$ ) ile kayma modülü ( $G_H$ ) olarak nitelendirilirler. Tablo 2 ile belirtilen değerlere bakıldığında, daha önce Murnaghan denklemi ile elde edilen hacim modülü ( $B_0$ ) değerinin (bakınız Tablo 1), elastik sabitler yardımı ile hesaplanan  $B_H$  değeri ile uyumlu olduğu gözlenebilir. Bu uyum yapılan hesaplamaların doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Yapılan hesaplamalar ve elde edilen en doğru sonuçlar için en uygun degauss değeri 0.05 ve k-noktası ağı ise (12x12x12) olarak belirlenmiştir. Bu değerler ile spin-orbit etkisi de hesaba katılarak yapılan elastik sabiti hesaplamalarından elde edilen sonuçların da diğer sonuçlarla neredeyse aynı olduğu ve spin-orbit etkisinin elastik özellikler üzerinde de neredeyse hiçbir değişiklik oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Elastik modüllerin elde edilmesini müteakip Young modülü (E) ve Poisson oranı ( $\sigma$ ) hesaplamaları yapılmalıdır. Bir madde üzerinde boyuna deformasyona boyuna gerilmenin oranı olarak belirtilen Young modülü değeri optimum sonuca ulaşılan 0.05 degauss değeri ve (12x12x12) k-noktası ağı için spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak 212.843 GPa ve spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan 213.428 GPa olarak hesaplanmıştır. Poisson etkisini ölçmekte kullanılan poisson oranı, tek eksen üzerinden uygulanan bir basınç altında bir malzemenin yanal geriliminin aksel gerinime oranının negatifine eşittir. Bu oran malzemelerin davranışını tahmin etmek ve bu malzemeler kullanılarak yapılacak olan tasarımlar açısından oldukça önemlidir. Bu oranın -0.5 ve +1 arasındaki değerleri malzemenin kararlı yapıda olduğu değer aralığıdır. Tablo 2'de  $V_3Ge$  için hesaplanmış olan Poisson oranı değerleri göz önünde bulundurulduğunda kayma gerilimi durumunda bu materyalin kararlı yapıda olduğu söylenebilir.

Yine Tablo 2'de sunulmuş olan bir diğer parametre olan  $G_H/B_H$  ise malzemenin sünek/kırılğan yapıda olup olmadığı hakkında bilgi verir. Malzemenin sünek/kırılğan doğası Poisson,  $G_H/B_H$  ve Cauchy basıncından ( $C_{12}-C_{44}$ ) tahmin edilebilmektedir. Poisson oranı 0.26'dan büyük,  $G_H/B_H$  oranı 0.5'ten küçük ve Cauchy basıncı ( $C_{12}-C_{44}$ ) pozitif ise malzemenin sünek özellik gösteren bir malzeme olduğu söylenebilir (Tahsin vd., 2023). Bu değerlerin aksine bir durumda malzemenin kırılğan yapıya sahip bir malzeme olması beklenir. Cauchy basıncının negatif değer alması malzemenin kovalent karakterli ve kırılğan, pozitif bir değer alması ise metalik karakterli ve sünek bir yapıda olduğunu gösterir. Dolayısıyla yukarıda anlatılan tüm kriterler ve Tablo 2'de sunulan sonuçlar kullanılarak  $V_3Ge$  bileşiğinin metalik yapıda ve sünek bir malzeme olduğu bulunmuştur.

Öz ısı, erime sıcaklığı ve elastik sabitler ile ilgili temel bir fiziksel özellik olan debye sıcaklığı; katılarda, düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerini ayırmak için kullanılır. Bu sıcaklık değerinin altındaki fononlar için dalga boyları büyük, üzerindeki fononlar için ise dalga boyları küçüktür. Debye sıcaklığı;

$$\theta_D = \frac{h}{k} \left[ \frac{3n}{4\pi} \left( \frac{N_A \rho}{M} \right) \right]^{\frac{1}{3}} V_M \quad (9)$$

denklemleri kullanılarak bulunabilir. Burada belirtilen ortalama ses hızı değeri ( $V_M$ );

$$V_M = \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{2}{V_T^3} + \frac{1}{V_L^3} \right) \right]^{-\frac{1}{4}} \quad (10)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemde  $V_T$  enine ve  $V_L$  ise boyuna dalga hızlarını simgeler ve bu hızlar aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (11)$$

$$V_L = \sqrt{\frac{4B+3G}{3\rho}} \quad (12)$$

$V_3\text{Ge}$  kristali için spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen dalga hızları ( $V_L$ ,  $V_T$ ,  $V_M$ ) ve debye sıcaklık ( $\theta_D$ ) değerleri Tablo 3 ile verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi 2021 ve 2022 yıllarında  $V_3\text{Ge}$  bileşiği için yapılan deneysel çalışmalarda Debye sıcaklıkları sırasıyla 390 K ve 430 K olarak ölçülmüştür (Surikov vd., 2021; Ahmed vd., 2022). Bu deneysel sonuçlar arasındaki fark ele alındığında bizim hesapladığımız  $\theta_D$  değerlerinin de kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.

**Tablo 3.**  $V_3\text{Ge}$  kristali için hesaplanan elastik dalga hızları ( $V_L$ ,  $V_T$ ,  $V_M$ ) ve debye sıcaklık ( $\theta_D$ ) değerleri.

**Table 3.** The elastic wave velocities constants ( $V_L$ ,  $V_T$ ,  $V_M$ ) and debye temperature values calculated for  $V_3\text{Ge}$  crystal.

	Degauss	K-Point	$V_L$ (m/s)	$V_M$ (m/s)	$V_T$ (m/s)	$\theta_D$ (K)
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.02	6x6x6	6253.318	5171.66	3044.407	426.54
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	6x6x6	6525.288	5174.00	3443.367	480.23
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	12x12x12	6528.827	5178.44	3443.402	480.25
Bu Çalışma (SOE'siz**)	0.05	16x16x16	6529.046	5178.74	3443.375	480.25
Bu Çalışma (SOE'li*)	0.05	12x12x12	6524.872	5175.94	3440.592	479.68
Deneysel (Ahmed vd., 2022)						430

Bu Çalışma (SOE'li\*), Hesaplamalara spin-orbit etkileşimi dahil edilmiştir.

Bu Çalışma (SOE'siz\*\*), Hesaplamalarda spin-orbit etkileşimi hariç tutulmuştur.

Sonuç olarak elde edilen tüm bu verilere tekrar bakılacak olursa,  $V_3\text{Ge}$  bileşiğinin sünek ve metalik bir karakterde olduğu söylenebilir. Bu özelliği ile  $V_3\text{Ge}$  kolay şekil alabileceği için endüstriyel alanda oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olabilecek uygun bir malzemedir.

### 3.4. $V_3\text{Ge}$ kristalinin fonon özellikleri

#### 3.4. Phonon properties of $V_3\text{Ge}$ crystal

$V_3\text{Ge}$  bileşiğinin  $\Gamma$  noktasındaki optik fonon modları  $O_h$  nokta grup simetrisine göre;

$$\Gamma(O_h) = T_{1g} + T_{2g} + 2T_{1u} + 2T_{2u} + E_g + A_{2g} \quad (13)$$

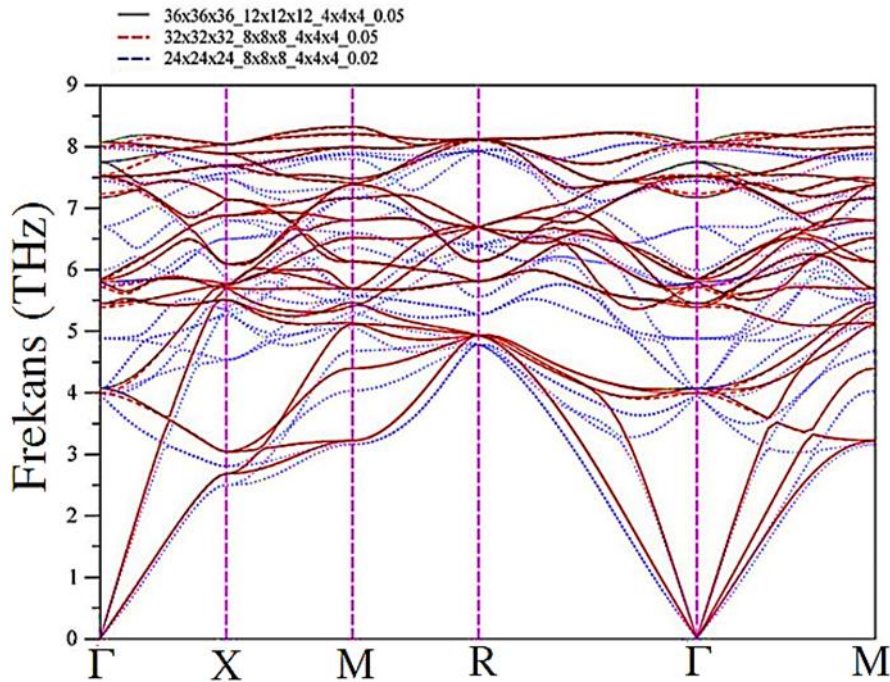
olarak ifade edilebilir. Burada A tek katlı, E çift katlı ve T üç katlı fonon modlarına karşılık gelmektedirler.  $T_{1u}$  fonon modu infrared aktif,  $E_g$  ve  $T_{2g}$  fonon modları raman aktif ve diğer modlar ise pasif modlar olarak sınıflandırılmışlardır.  $V_3Ge$  bileşiği için  $\Gamma$  noktasında hesaplanan optik modların frekansları ( $\nu$ ), aktif ve pasif fonon modları ve bu modların oluşumlarına katkı sunan atom titreşimlerinin özkarakterleri Tablo 4 ile sunulmuştur.

**Tablo 4.**  $V_3Ge$  bileşiği için  $\Gamma$  noktasında sırasıyla spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve hariç tutularak (parantez içindeki veriler) elde edilen optik modların frekansları ( $\nu$ ), aktif ve pasif fonon modları ve bu modların oluşumlarına katkı sunan atom titreşimlerinin özkarakterleri.

**Table 4.** Frequencies of optical modes ( $\nu$ ), active and passive phonon modes and eigencharacters of the atomic vibrations that contribute to the formation of the modes obtained by including and excluding (data in the parenthesis) the spin-orbit interaction at the  $\Gamma$  point for  $V_3Ge$  compound.

Fonon modu	$\nu$ (THz)	Aktif/Pasif	Özkarakter
$T_{1g}$	5.434 (5.386)	Pasif	V
$T_{2g}$	5.789 (5.718)	Raman Aktif	V
$T_{1u}$	5.822 (5.831)	Infrared Aktif	V + Ge
$T_{2u}$	4.038 (3.990)	Pasif	V + Ge
$T_{1u}$	7.492 (7.507)	Infrared Aktif	V + Ge
$E_g$	7.769 (7.528)	Raman Aktif	V
$T_{2u}$	8.017 (7.999)	Pasif	V + Ge
$A_{2g}$	7.306 (7.228)	Pasif	V

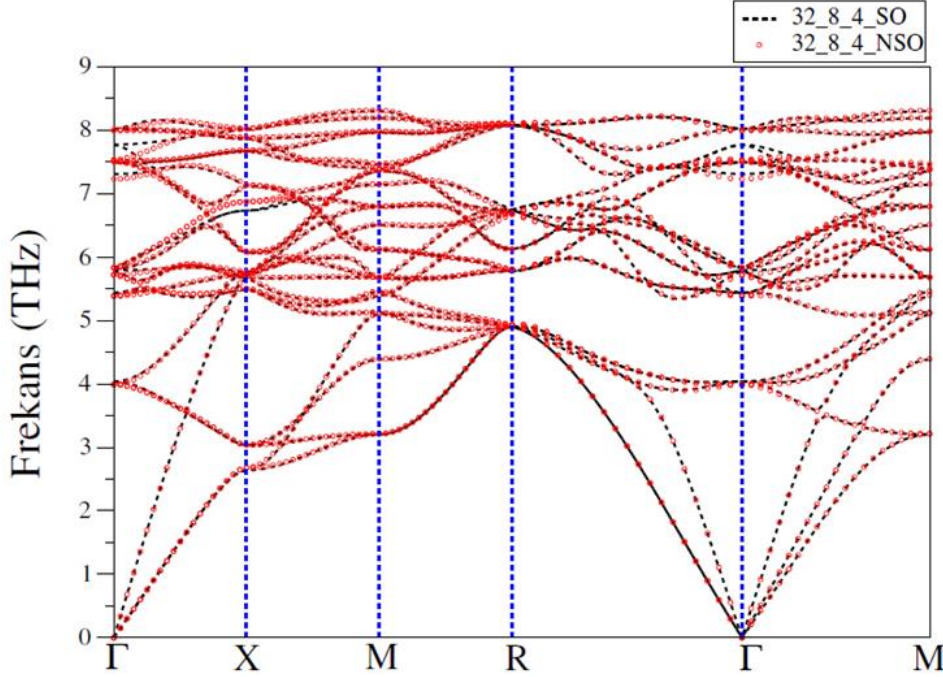
Tablo 4'te sunulan veriler ışığında  $\Gamma$  noktasındaki optik modlarının oluşumunda en etkin rolü V atomlarının oynadığı görülmektedir. Gerek spin-orbit etkileşimi dahil edilerek gerekse spin-orbit etkileşimi hariç tutularak elde edilen hesaplamalarda  $T_{1g}$ ,  $T_{2g}$ ,  $E_g$  ve  $A_{2g}$  modlarının oluşumlarında yalnızca V atomları titreşimlerinin etkin olduğu,  $T_{1u}$  ve  $T_{2u}$  fonon modları oluşumlarında ise V ve Ge atomlarının birlikte katkı sağladıkları görülmüştür.  $V_3Ge$  bileşiğinin ilkel birim hücresinde 8 adet atom bulunmaktadır. Bu yüzden fonon spektrumunda 24 tane fonon modu vardır. Bu modların 3'ü akustik ve 21'i ise optik moddur. A15 tipi kristalleşen ve basit kübik kristal yapıda bulunan  $V_3Ge$  bileşiği için yüksek simetri yönleri boyunca spin-orbit etkileşimi hesaba katılmaksızın elde edilen fonon dağılımı grafiği Şekil 7 ile gösterilmiştir.



**Şekil 7.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen fonon dağılımı grafiği.  
**Figure 7.** Phonon dispersion graph of the  $V_3Ge$  crystal obtained without the spin-orbit interaction.



Farklı degauss değerleri ve farklı k-noktası ağırları seçilerek yapılan hesaplamalarda degauss değeri 0.02 ve k-noktası ağırları (24x24x24\_8x8x8) seçildiğinde elde edilen sonuçların istenilen düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir.  $V_3Ge$  bileşiğinin fonon dağılım grafiği için optimum değere, degauss 0.05 ve k-noktası ağırları olarak ise (32x32x32\_8x8x8) kullanılarak varılabileceği gözlenmiştir. Bu ideal degauss ve k-noktası ağı değerleri kullanılarak, spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve spin-orbit etkisi göz önünde bulundurulmadan elde edilen fonon dağılım grafikleri Şekil 8 ile tek bir çatı altında ortaya konmuştur.

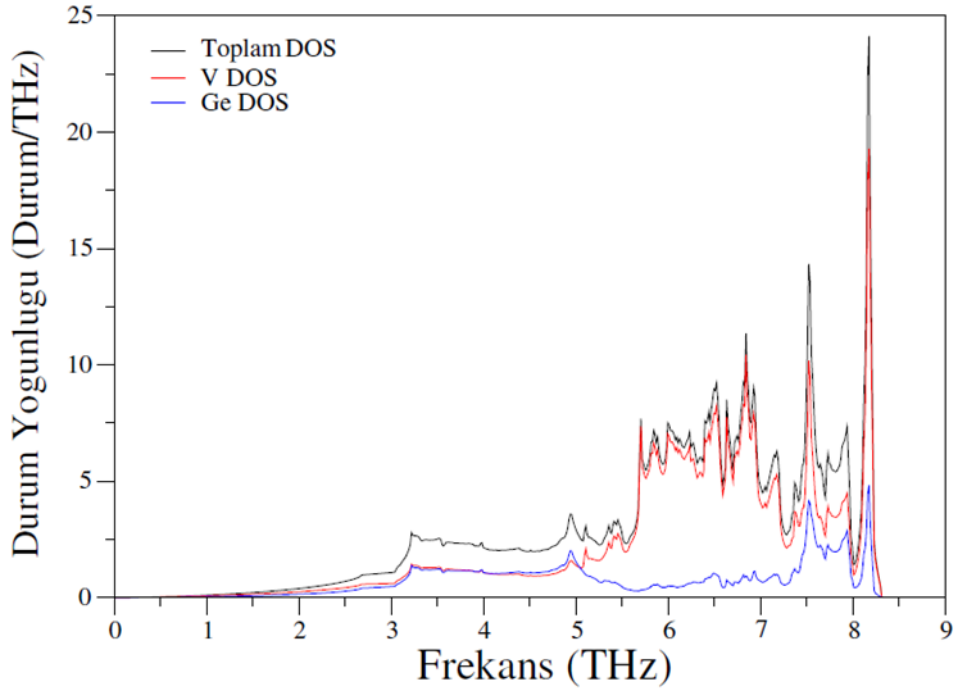


**Şekil 8.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak (kesikli çizgiler) ve spin-orbit etkisi göz önünde bulundurulmadan (kırmızı yuvarlaklar) elde edilen fonon dağılımı grafiği.

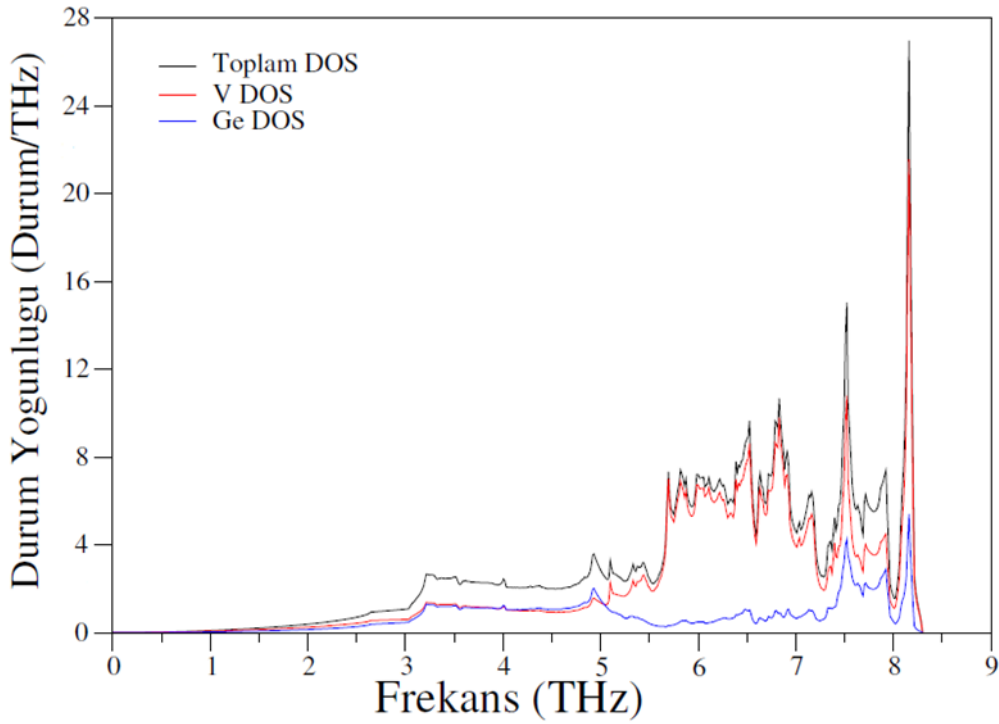
**Figure 8.** Phonon distribution graph of the  $V_3Ge$  crystal, including the spin-orbit interaction (dashed lines) and without considering the spin-orbit effect (red circles).

Fonon spektrumunun kimi bölgelerinde simetri kaynaklı fonon modlarının çakışması neticesinde 24 adet fonon modunda azalmalar meydana gelmiştir.  $V_3Ge$  bileşiği içerisinde V atomları sayısal olarak fazla olmalarından dolayı spektrumun oluşumunda çok etkin bir rol oynamışlardır. Bu yüzden V ve Ge atomları arasındaki büyük kütle farkına karşın fonon spektrumunda boşluk bölgesi yoktur. Şekil 8’de göze çarpan bir diğer husus ise  $V_3Ge$  bileşiğinin yalnızca pozitif frekanslara sahip olmasıdır. Bu gözlem  $V_3Ge$  kristalinin dinamik açıdan kararlı olduğunu kanıtlamaktadır.  $V_3Ge$  kristalinin fonon özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde incelenebilmesi için Şekil 7 ve Şekil 8 ile belirtilen fonon dağılımı grafiklerinin yanı sıra bu grafikler ile birlikte ele alınması gereken ve Şekil 9 ile Şekil 10’da gösterimi sunulan sırasıyla spin-orbit etkisi hesaba katılmadan ve spin-orbit etkisi hesaba katılarak elde edilen fonon durum yoğunluğu grafikleri de oldukça önem arz etmektedir.

Şekil 9 ve Şekil 10’da toplam fonon durum yoğunlukları ile birlikte V ve Ge atomlarının katkılarını da içeren kısmi fonon durum yoğunlukları da ele alınmıştır. Bu grafikler, fonon modlarının hangi atomların titreşimlerinden kaynaklandığı konusunda yol gösterici niteliktedir.  $V_3Ge$  kristaline ait fonon durum yoğunluğu grafikleri incelendiğinde 0 ile 5 THz arasındaki fonon modlarının oluşumunda V ve Ge atomlarının birlikte katkı sağladıkları, 5 THz ile 7.4 THz arasındaki modların oluşumunda ise büyük oranda V atomlarının katkı verdikleri sonucuna varılmıştır. 7.4 THz ile 8 THz aralığında V atomlarından gelen katkının baskın olması ile birlikte Ge atomlarından da katkı geldiği, 8 THz üzerindeki optik fononların oluşumunda ise V atomlarının titreşimlerinin çok baskın olduğu görülmektedir. Genel kanı en yüksek frekans değerine sahip optik fonon modların oluşumunda kütlesi düşük olan atomların etkin rol oynaması yönündedir.  $V_3Ge$  kristalinde atomlar arası kütle farkının büyük olmasına rağmen V atomlarının arasındaki bağın çok güçlü olması nedeniyle bu genel kanı gerçekleşmemiştir.



**Şekil 9.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen fonon durum yoğunluğu grafiği.  
**Figure 9.** Phonon density of states graph of the  $V_3Ge$  crystal obtained without the spin-orbit interaction.

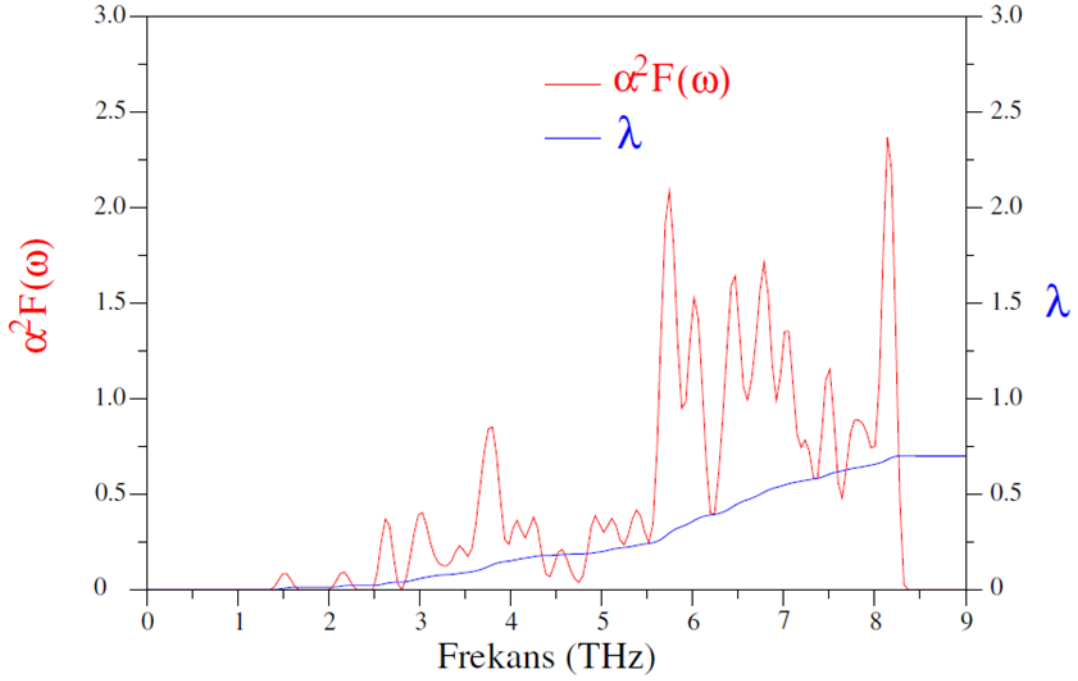


**Şekil 10.**  $V_3Ge$  kristalinin spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak elde edilen fonon durum yoğunluğu grafiği.  
**Figure 10.** Phonon density of states graph of the  $V_3Ge$  crystal obtained by including the spin-orbit interaction.

### 3.5. $V_3Ge$ kristalinin süperiletkenlik özellikleri

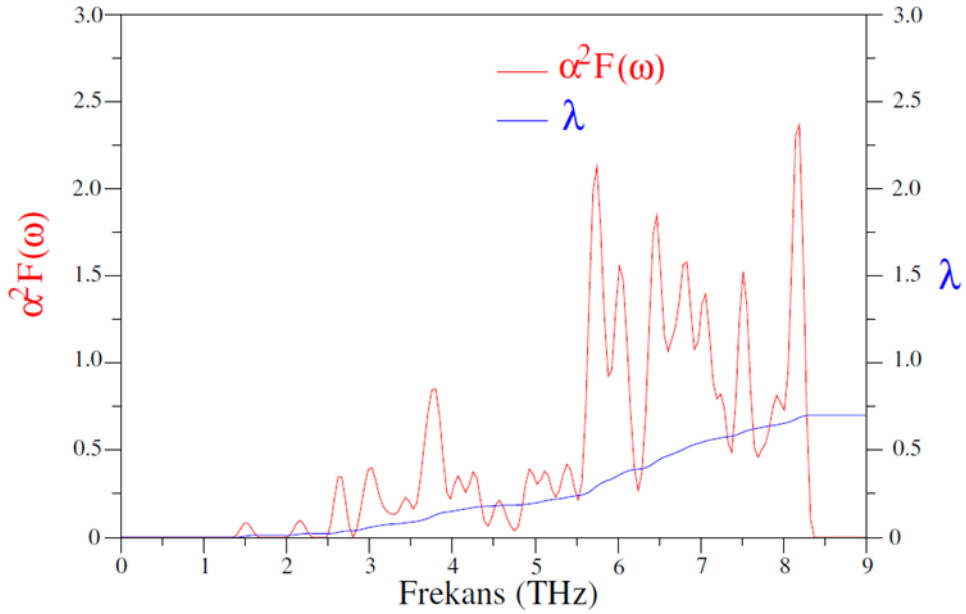
#### 3.5. Superconductivity properties of $V_3Ge$ crystal

$V_3Ge$  bileşiğinin süperiletkenlik mekanizmasına elektron-fonon etkileşiminin etkisini analiz edebilmek adına spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ve spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12 ile Eliashberg spektral fonksiyonu ( $\alpha^2F(\omega)$ ) ve elektron-fonon etkileşim parametresinin ( $\lambda$ ) frekansla değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 11.**  $V_3Ge$  kristali için spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak elde edilen Eliashberg spektral fonksiyonu ve elektron-fonon etkileşim parametresinin frekansla değişimi.

**Figure 11.** Variation of Eliashberg spectral function and electron-phonon interaction parameter with frequency, obtained by including spin-orbit interaction for  $V_3Ge$  crystal.



**Şekil 12.**  $V_3Ge$  kristali için spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan elde edilen Eliashberg spektral fonksiyonu ve elektron-fonon etkileşim parametresinin frekansla değişimi.

**Figure 12.** Variation of Eliashberg spectral function and electron-phonon interaction parameter with frequency, obtained without spin-orbit interaction for  $V_3Ge$  crystal.

Şekil 11 ve Şekil 12 ile gösterime sunulan grafiklere bakıldığında  $V_3Ge$  kristali için elektron-fonon etkileşim parametresi ( $\lambda$ ), hem spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak hem de spin-orbit etkisi göz ardı edilerek yapılan hesaplamalarda 0.699 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değer elektron-fonon etkileşiminin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir. 5.5 THz ile 8.3 THz arasında görülen  $\lambda$  değerindeki hızlı artıştan anlaşılacağı üzere bu parametreye en büyük katkı bu aralıktaki fonon modlarından gelmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12’de açıkça görülmektedir ki  $\lambda$  değeri 5.5 THz’deki hızlı yükselişini yaklaşık 8.3 THz değerine kadar ivmesi azalarakta

olsa devam ettirmiştir. 8.3 THz değerinden sonra ise  $\lambda$  değerinin yükselişi durma noktasına gelmiştir. Bu analiz neticesinde elektron-fonon etkileşimine en büyük katkıyı düşük frekanslı fonon modlarının sağladığı ifade edilebilir. Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde  $\lambda$  değerine en yüksek katkıyı veren 5.5-8.3 THz frekans aralığındaki fonon modlarının V atomlarından kaynaklandığı gözlemlenebilir.  $V_3Ge$  kristalinin fonon özelliklerine ilişkin yapılan tüm bu hesaplamalar ve gözlemler ile  $V_3Ge$  kristalinin elektronik özelliklerine ilişkin sonuçlar harmanlandığında,  $V_3Ge$  kristalinin süperiletkenlik kaynağının V atomlarının d orbitallerini oluşturan elektronlar ile V atomlarının düşük frekanslarda oluşturdukları fononların etkileşmesi olduğu neticesine varılabilir. Şekil 11 ve Şekil 12’de Eliashberg spektral fonksiyonu yüksek pik yaptığı noktaların,  $\lambda$  değerine en yüksek katkının geldiği 5.5-8.3 THz frekans aralığındaki bölgede olması, belirtilen bölgede elektron-fonon etkileşiminin oldukça güçlü olduğunun bir başka kanıtı olarak gösterilebilir.  $V_3Ge$  kristaline ait süperiletkenlik parametreleri Tablo 5 ile sunulmuştur.

**Tablo 5.**  $V_3Ge$  kristali için hesaplanan süperiletkenlik parametreleri ve bu parametrelerin daha önceki deneysel verilerle kıyaslanması

**Table 5.** Calculated superconductivity parameters for  $V_3Ge$  crystal and comparison of these parameters with previous experimental data

	Degauss	$\mu^*$	$\lambda$	$\omega_{ln}$ (K)	$N(E_F)$ (Durum/eV)	$T_C$ (K)
Bu Çalışma (SOE’li*)	0.05	0.14	0.699	259.718	8.275	6.271
Bu Çalışma (SOE’siz**)	0.05	0.14	0.699	260.419	8.268	6.271
Deneysel (Delaire vd.,2008)		0.13	0.71			6.5
Deneysel (Nettel & Thomas, 1977)				274		6.1
Deneysel (Radousky vd., 1982)		0.168	0.67		14.6	5.8
Deneysel (Skripov & Stepanov, 1984)					10	6.3
Deneysel (Ahmed vd., 2022)		0.13	0.61			6.2

Bu Çalışma (SOE’li\*), Hesaplamalara spin-orbit etkileşimi dahil edilmiştir.

Bu Çalışma (SOE’siz\*\*), Hesaplamalarda spin-orbit etkileşimi hariç tutulmuştur.

Fermi seviyesinde elektron durum yoğunluğu spin-orbit etkisi hesaba katılarak 8.275 Durum/eV, spin-orbit etkisi hesaba katılmadan 8.268 Durum/eV değerlerindedir. Logaritmik ortalama fonon frekansı ( $\omega_{ln}$ ) spin-orbit etkileşimli 259.718 K, spin-orbit etkileşimi olmaksızın 260.419 K olarak elde edilmiştir. Elde edilen  $\lambda$  ve  $\omega_{ln}$  değerleri kullanılarak literatürde Migdal-Eliashberg yaklaşımı (Smidman, 2014; Allen, 1972) olarak nitelendirilen hesaplama yöntemi ile  $V_3Ge$  kristalinin süperiletkenlik kritik sıcaklığı ( $T_C$ ) değerleri elde edilmiştir.  $T_C$  değerlerine ilişkin yapılan bu hesaplamalar esnasında Coulomb itme potansiyeli ( $\mu^*$ ) 0.14 olarak seçilmiştir.  $\mu^* = 0.14$  değeri için hesaplanan süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı değerleri spin-orbit etkileşmesi hesaba katılarak ve katılmaksızın 6.271 K olarak elde edilmiştir. Elde etmiş olduğumuz bu kritik sıcaklık değeri,  $V_3Ge$  için literatürde yer alan deneysel çalışmalarda (Delaire vd., 2008; Nettel & Thomas, 1977; Radousky vd., 1982; Skripov & Stepanov, 1984; Ahmed vd., 2022) ortaya çıkan veriler ile uyum içerisinde.

## 4. Tartışma ve Sonuçlar

### 4. Discussion and Conclusions

Bu çalışmada Yoğunluk Fonksiyonel Teorisini baz alan Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı ve *ab-initio* düzlem dalga metodları kullanılarak  $V_3Ge$ ’nin yapısal, elektronik, mekanik, fonon ve süperiletkenlik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Teorik hesaplamalar için QUANTUM ESPRESSO paket programı, değiş-tokuş ve korelasyon etkileşimlerini incelemek için ise Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı kullanılmıştır.  $V_3Ge$  bileşiği için hesaplanan örgü sabiti değerleri spin-orbit çiftlenimi hesaba katılarak ve katılmaksızın birbiriyle neredeyse aynı değerde bulunmuş olup, deneysel sonuçlarla da son derece uyumlu bir şekilde elde edilmiştir. Yapısal özellikler kullanılarak hesaplanan elektronik bant yapısı grafiklerinden  $V_3Ge$ ’nin metalik bir yapıda olduğu görülmüştür. Elektronik durum yoğunluğu grafiği incelendiğinde  $N(E_F)$  değeri spin-orbit etkileşimi hesaba katılmadan yaklaşık olarak 8.268 Durum/eV, spin-orbit etkileşimi hesaba katılarak ise 8.275 Durum/eV olarak elde edilmiştir. Ayrıca  $N(E_F)$  değerinin oluşmasına en büyük katkının V atomlarının d orbitallerinden geldiği de yine elektronik durum yoğunluğu grafiklerinden açıkça görülmüştür.  $V_3Ge$  için hesaplanan elastik sabitler ele alındığında  $V_3Ge$  bileşiğinin A15 tipi kristal yapıda mekanik olarak kararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca  $V_3Ge$  için hesaplanan Poisson oranı (0.26’dan büyük),  $G_H/B_H$  oranı (0.5’ten küçük) ve Cauchy basıncı ( $(C_{12}-C_{44})$  pozitif) ele alındığında malzemenin sünek özellik gösterdiği

bulunmuştur.  $V_3Ge$  için yapısal, elastik ve elektronik özelliklerin yanı sıra bu makale kapsamında ilk kez fonon özellikleri de teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan fonon dispersiyon grafiğinde hiçbir negatif fonon modunun olmaması, A15 kristal yapıya sahip  $V_3Ge$  bileşiğinin dinamik olarak kararlı olduğunu göstermektedir. Son olarak,  $V_3Ge$  bileşiğinin süperiletkenlik özellikleri detaylı bir şekilde sunulmuş ve  $T_c$  değeri 6.271 K olarak, daha önceki deneysel verilerle son derece uyumlu bir şekilde elde edilmiştir. Makale kapsamında elde edilen en önemli sonuçlardan bir diğeri de spin-orbit çiftlenim etkisinin  $V_3Ge$ 'nin incelenen özelliklerinde neredeyse hiçbir değişmeye sebep olmadığı bulunmuş olmasıdır.

### Yazar katkısı

*Author contribution*

Yazarlar hesaplama, literatür taraması, verilerin analizi, makalenin yazımı ve düzenlenmesi ile sonuçların yorumlanması aşamalarına aynı oranda katkı yapmışlardır.

### Etik beyanı

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

*References*

- Achar, B. N. N., and Barsch, G. R. (1979). Phonon spectra of the A15 compounds  $V_3Si$ ,  $V_3Ge$  and  $V_3Ga$ . *Solid State Communications*, 29(8), 563-566. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(79\)90664-1](https://doi.org/10.1016/0038-1098(79)90664-1)
- Ahmed, E., Kobayashi, K., Arakawa, N., Okuba, Y., Sakai, A., Nakatsuji, S., Iyo, A., and Ebihira, T. (2022). Superconducting properties of the A15 structure compound  $V_3Ge$ . *Physica C*, 602, 1354140. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2022.1354140>
- Allen, P. B. (1972). Neutron spectroscopy of superconductors. *Physical Review B*, 6(7), 2577. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.6.2577>
- Allen, P. B., and Dynes, R. C. (1975). Transition temperature of strong-coupled superconductors reanalyzed. *Physical Review B*, 12(3), 905. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.12.905>
- Arbman, G., and Jarlborg, T. (1978). Trend studies of A15 compounds by self-consistent band calculations. *Solid State Communications*, 26(11), 857-861. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(78\)90759-7](https://doi.org/10.1016/0038-1098(78)90759-7)
- Born, M., & Huang, K. (1996). Dynamical theory of crystal lattices. *Oxford university press*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192670083.001.0001>
- Chihi, T., Fatmi, M., & Ghebouli, M. A. (2012). Ab initio study of some fundamental properties of the  $M_3X$  ( $M= Cr, V$ ;  $X= Si, Ge$ ) compounds. *Physica B: Condensed Matter*, 407(17), 3591-3595. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2012.05.032>
- Delaire, O., Lucas, M. S., Munoz, J. A., Kresch, M., and Fultz, B. (2008). Adiabatic Electron-Phonon Interaction and High-Temperature Thermodynamics of A15 Compounds. *Physics Review Letters*, 101, 105504. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.105504>
- Delaire, O. (2010). Studies of high-temperature electron-phonon interactions with inelastic neutron scattering and first-principles computations. *Applied Physics A*, 99, 523-529. <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5618-z>
- Dew-Hughes, D. (1975). Superconducting A-15 compounds: A review. *Cryogenics*, 15(8), 435-454. [https://doi.org/10.1016/0011-2275\(75\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0011-2275(75)90019-3)

- Dierker, S. B., Merlin, R., Klein, M. V., Webb, G. W., and Fisk, Z. (1983). Raman scattering in  $V_3Si$ ,  $V_3Ge$ ,  $Nb_3Sn$ , and  $Nb_3Sb$ : Damping of the  $E_g$  optical phonon by interband electronic excitations. *Physical Review B*, 27, 3577-3591. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.27.3577>
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., ... & Wentzcovitch, R. M. (2009). QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of physics: Condensed matter*, 21(39), 395502. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/21/39/395502>
- Giannozzi, P., Andreussi, O., Brumme, T., Bunau, O., Nardelli, M. B., Calandra, M., ... & Baroni, S. (2017). Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO. *Journal of physics: Condensed matter*, 29(46), 465901. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-648X/aa8f79>
- Hardy, G. F., and Hulm, J. K. (1953). Superconducting Silicides and Germanides. *Phys. Rev.*, 89, 884. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.89.884>
- Hill, R. (1952). The elastic behaviour of a crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society. Section A*, 65(5), 349.
- James, W. J., & Straumanis, M. E. (1961). Lattice parameter and coefficient of thermal expansion of vanadium. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 29(1\_2), 134-142. [https://doi.org/10.1524/zpch.1961.29.1\\_2.134](https://doi.org/10.1524/zpch.1961.29.1_2.134)
- Kodess, B. N., and Butman, L. A. (1982). Electron density distribution in  $V_3Ge$ . *Solid State Communications*, 44(3), 421-424. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(82\)90885-7](https://doi.org/10.1016/0038-1098(82)90885-7)
- Klein, B. M., and Lu, Z. W. (2001). Structural instabilities in A15 materials driven by anharmonic phonons: a first-principles study. *Physica B*, 296(1-3), 120-124. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(00\)00788-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(00)00788-2)
- Kokalj, A. (1999). XCrySDen—a new program for displaying crystalline structures and electron densities. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 17(3-4), 176-179. [https://doi.org/10.1016/S1093-3263\(99\)00028-5](https://doi.org/10.1016/S1093-3263(99)00028-5)
- Mattheiss, L. F. (1975). APW-LCAO band model for A15 compound. *Phys. Rev. B*, 12, 2161-2180. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.12.2161>
- Menon, C. S. and Philip, J. (1978). Third order elastic constants of  $V_3Si$  and  $V_3Ge$ . *Solid State Communications*, 26(12), 897-899. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(78\)91247-4](https://doi.org/10.1016/0038-1098(78)91247-4)
- Murnaghan, F. D. (1944). The compressibility of media under extreme pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 30(9), 244-247. <https://doi.org/10.1073/pnas.30.9.244>
- Nettel S. J., and Thomas, H. (1977). Electron density of states and superconducting TC in A15-compounds. *Solid State Communications*, 21(7), 683-686. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(77\)90845-6](https://doi.org/10.1016/0038-1098(77)90845-6)
- Papaconstantopoulos, D. A., and Soukoulis, C. M. (1981). The superconducting transition temperature of disordered A-15 compounds. *Physica B+C*, 107(1-3), 265-266 [https://doi.org/10.1016/0378-4363\(81\)90438-1](https://doi.org/10.1016/0378-4363(81)90438-1)
- Perdew, J. P., and Burke, K. (1996). Comparison shopping for a gradient-corrected density functional. *International journal of quantum chemistry*, 57(3), 309-319. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-461X\(1996\)57:3<309::AID-QUA4>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-461X(1996)57:3<309::AID-QUA4>3.0.CO;2-1)
- Philip, J. (1980). Grüneisen parameter and thermal expansion of  $V_3Si$  and  $V_3Ge$ . *J. Phys. Chem. Solids*, 41(5), 461-463. [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(80\)90175-4](https://doi.org/10.1016/0022-3697(80)90175-4)
- Radousky, H. B., Jarlborg, T., Knapp, G. S., and Freeman, A. J. (1982). Assessment of theoretical determinations of the electron-phonon coupling parameter  $\lambda$  in metals and intermetallic compounds. *Physical Review B*, 26, 1208-1222. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.26.1208>
- Reuss, A. J. Z. A. M. M. (1929). Calculation of the flow limits of mixed crystals on the basis of the plasticity of monocrystals. *Z. Angew. Math. Mech*, 9, 49-58. <https://doi.org/10.1002/zamm.19290090104>
- Skripov, A. V., and Stepanov, A. P. (1984). Electronic structure of  $V_3Si$  and  $V_3Ge$ . *Phys. Stat. Sol. (B)*, 126, 557-563. <https://doi.org/10.1002/pssb.2221260215>

- Smidman, M. (2014). *Superconducting and magnetic properties of non-centrosymmetric systems* [Doctoral dissertation, University of Warwick].
- Solleder, T., Essman, U., and Kronmüller, H. (1984). The paramagnetic susceptibility of neutron irradiated V3Ge single crystals. *Physics Letter A*, 105(7), 377-379. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(84\)90286-X](https://doi.org/10.1016/0375-9601(84)90286-X)
- Somekh, R. E., and Evetts, R.E. (1977). The sputtering of high TC A15 Nb3Si and V3Ge. *Solid State Communications*, 24(10), 733-737. [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(77\)90086-2](https://doi.org/10.1016/0038-1098(77)90086-2)
- Surikov, Vad. I., Surikov, Val. I., Kuznetsova, Y.V., Semenyuk, N. A., Lyakh, O.V., and Prokudina, N. A. (2021). Electronic specific heat of vanadium compounds at low temperatures. *Russian Physics Journal*, 64, 376-380. <https://doi.org/10.1007/s11182-021-02340-3>
- Tahsin, Ö., ARIKAN, N., and İHSAN, A. (2023). Kübik HfZnO3 Bileşiminin Yapısal, Mekanik ve Termodinamik Özelliklerinin ab Initio Yöntemi ile İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 858-864. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1263710>
- Voigt, W. (1928). *Lehrbuch der Kristallphysik*, Verlag und Druck, Von BG Teubner. *Leipzig und Berlin*, 962.

## Düşük maliyetli ve özel tasarım çift ışınlı optik cımbızın performans özellikleri

*The performance characteristics of low-cost and custom-designed dual beam optical tweezers*

Nur ÇOBANOĞLU\*<sup>1</sup>, Aziz KOLKIRAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, 35620, İzmir

<sup>2</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 35620, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 02.11.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 11.06.2024

### Öz

Bu çalışmada, mikron boyutundaki partikülleri yakalamak ve manipüle etmek için paralel olarak konumlandırılmış iki adet He-Ne lazer ( $\lambda=632.8$  nm) kullanan düşük bütçeli ve özel tasarlanmış bir optik cımbız geliştirilmiştir. Bu kapsamda örnek olarak sudaki polistiren boncuklar ve yoğurt kültüründeki maya hücreleri kullanılmıştır. Bu optik cımbızın özelliklerini belirlemek için sertlik ve yakalama kuvveti, Lazer 1, Lazer 2 ve her iki lazerin aynı anda kullanıldığı durum için Brownian Hareketi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Optik bileşenlerde yapılan küçük ayarlamalar yakalama kuvvetini etkileyerek Lazer 2'nin yakalama kuvvetinin daha düşük olmasına neden olmuştur. Ek olarak, saçılma ortamının viskozitesinin yakalama kuvveti üzerinde önemli bir etkisi vardır; yoğurt kültürünün daha yüksek viskozitesi, maya hücrelerinin her iki lazerin aynı anda kullanılmasıyla yakalanmasını önlemektedir. İki lazerin paralel olarak kullanılması, bir lazerin parçacıkları yakalamak ve hareket ettirmek için kullanılırken diğerinin birden fazla parçacığı yakalamak için kullanılmasını sağlamaktadır. Farklı çalışma ortamlarında performansı incelenen bu özel tasarım optik cımbız, viskozite ölçümleri, hücre içi incelemeler, gıda mühendisliği ve ilaç dağıtım sistemleri gibi yaşambilim alanlarında uygulanma potansiyeline sahiptir.

**Anahtar kelimeler:** He-Ne lazer, Optik cımbız, Optik yakalama

### Abstract

In this work is a low-cost and custom-designed optical tweezers using two He-Ne lasers ( $\lambda=632.8$  nm) positioned in parallel is developed to trap and manipulate micron-sized particles. Polystyrene beads in water and yeast cells in yogurt culture were used as samples. To determine the characteristics of these optical tweezers, the stiffness and trapping force were determined using the Brownian Motion method for Laser 1, Laser 2 and the case where both lasers were used simultaneously. Small adjustments of the optical components affected the trapping force, resulting in a lower trapping force for Laser 2. In addition, the viscosity of the scattering medium has a significant effect on the trapping force; the higher viscosity of the yogurt culture prevents the capture of yeast cells with the simultaneous use of both lasers. The use of two lasers in parallel allows one laser to be used to capture and move particles while the other is used to capture multiple particles. This custom-designed optical tweezer, whose performance was investigated for different samples, has the potential to be applied in life science fields such as viscosity measurements, intracellular investigations, food engineering and drug delivery systems.

**Keywords:** He-Ne laser, Optical tweezer, Optical trapping

\* Nur ÇOBANOĞLU; dr.nurcobanoglu@gmail.com



## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Nesnelerin temassız olarak yakalanması, hareket ettirilmesi ve düzenlenmesi, optik cımbızları çok çeşitli araştırma alanlarında benzersiz bir araç haline getirmiştir. Optik cımbızlar, en basit haliyle, odak noktası içinde nanometre boyutundaki parçacıklar kadar küçük nesnelere yakalamak için yoğun şekilde odaklanmış bir lazer ışını kullanılarak oluşturulmaktadır (Polimeno vd., 2018). Momentum ve enerji transferi ve değişimi yoluyla ışığın madde ile etkileşimi optik cımbızların ana prensibidir (J. Liu & Li, 2018).

Optik cımbız terimi, bu buluşu nedeniyle 2018 Nobel Fizik Ödülü'ne (Donna Strickland ve Gérard Mourou ile birlikte) layık görülen Arthur Ashkin tarafından ortaya atılmıştır. 1970 yılında Arthur Ashkin, parçacıkların odaklanmış bir lazer ışını tarafından uygulanan ışınım basıncı ile hızlandırıldığını ve hatta yakalandığını belirtmiştir (Ashkin, 1970). 1986'da Ashkin ve meslektaşları dielektrik parçacıkların yakalanmasıyla optik cımbızı tanıtmışlardır (Ashkin vd., 1986). Ashkin ve Dziedzic'in 1987'de yeşil lazer kullanarak bakteri ve virüsleri hapsedmesinden bu yana (Ashkin & Dziedzic, 1987), optik cımbızlar çok çeşitli biyolojik uygulamalarda kullanılmaktadır (Ashok & Dholakia, 2012; Choudhary vd., 2019; Difato vd., 2013; Favre-Bulle vd., 2019; Lenton vd., 2020; Molloy & Padgett, 2002; Zhu vd., 2020). Ayrıca, optik cımbızlar konfokal prob olarak mikroskopik viskozite ölçümü için kullanılabilir (Nemet & Cronin-Golomb, 2003) ve reolojik uygulamalar kapsamında akışkan akışını haritalamak ve viskoziteyi ölçmek için optik mikroskopi ile birlikte kullanılabilir (Eom vd., 2014; Statsenko vd., 2017).

Tuzaklama mekanizması, tuzaklayan ışık ile tuzaklanan parçacık arasındaki momentum değişiminin bir sonucudur ve parçacık boyutuna bağlı bir kuvvetle sonuçlanmaktadır. Parçacık üzerindeki net kuvvet, saçılma ve gradyan kuvvetlerinden oluşmaktadır. Saçılma kuvveti parçacığı ışının yayılma yönüne doğru yönlendirirken, gradyan kuvveti parçacığı daha yüksek yoğunluğa sahip bölgelere doğru çekmektedir. Gradyan kuvveti saçılma kuvvetini aştığında stabil yakalama elde edilmektedir (Kappel & Lind, 2014; Mas Soler, 2008).

Saçılma ortamının derinliklerinde daha iyi tuzaklama elde etmek için yardımcı adaptif optikler veya görüntüleme teknikleri kullanılabilir (Hofmeister vd., 2020; Wang vd., 2015). Alternatif olarak, geleneksel optik cımbızlar, fiber optik cımbız olarak adlandırılan tek modlu optik fiber kullanılarak geliştirilebilir (Constable vd., 1993; Y. Liu & Yu, 2017). Ayrıca, geleneksel tek lazer ışınli optik cımbız, ışını ışın bölücülerle bölerek ve ardından akusto-optik saptırıcılar kullanarak zaman paylaşımli tuzaklar oluşturmuş ve hızla çok ışınli optik cımbızlara dönüşmüştür (Volpe vd., 2023). Uzamsal ışık modülatörleri gibi gelişmiş cihazların geliştirilmesi, araştırmacıların basit yakalama ve manipülasyonun çok ötesinde farklı yönleri takip etmelerine olanak sağlamıştır. Çoklu tuzaklama, optik kafesler ve elekler kullanılmasıyla da bu tekniğin birçok uygulama alanındaki potansiyeli geliştirilmiştir.

Kullanım kolaylığı ve maliyet (Firby vd., 2016) açısından geleneksel çok ışınli optik cımbız tasarımlarında sıklıkla kullanılan ışın bölücülerin aksine, ek bağımsız bir lazer kaynağı kullanılması tuzaklanması hedeflenen parçacıkların bağımsız bir şekilde kontrol edilmesi, parçacık ve parçacığın bulunduğu ortamın hassasiyetine bağlı olarak ek lazerin dalga boyu seçimindeki esneklik (Zhang & Liu, 2008), çoklu parçacık tuzaklanabilirliği ve güç yönetimi açısından daha avantajlıdır. Bu çalışma, mikron boyutundaki parçacıkları yakalamak ve manipüle etmek için iki paralel He-Ne lazer ( $\lambda=632,8$  nm) kullanan özel tasarlanmış ve düşük bütçeli bir çift ışınli optik cımbız oluşturmayı amaçlamaktadır. Ek bir lazer kaynağından çıkan ışın demetinin kullanılması mikron boyutundaki parçacıkların tuzaklanarak manipülasyonuna ve diğer lazer tarafından birden fazla parçacığın halihazırda tuzaklanmış olduğu tuzak bölgesine taşınmasına izin vermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan her bir optik parça kolaylıkla ulaşılabilir ve geliştirilebilir olduğundan önerilen sistem birçok uygulama için değiştirilerek kullanılabilir. Önerilen çoklu optik cımbızın özellikleri, çalışma kapsamında su ortamındaki polistiren boncukların ve yoğurt kültüründeki maya hücrelerinin Brownian hareketi için belirlenmiştir. Çalışma kapsamında önerilen sistemin farklı ortamlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasının yanı sıra, güncel literatürden (Castelain vd., 2007; Castelain vd., 2008; Castelain vd., 2012; Pilát vd., 2017; Keloth vd., 2018; Zou vd., 2020) farklı olarak maya hücrelerini yoğurt kültürü içerisinde in-situ tuzaklayabiliyor olması sistemin özellikle gıda mühendisliği ve mikrobiyoloji alanlarında potansiyelini göstererek çalışmanın özgün değerini arttırmaktadır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Deney düzeneği

##### 2.1. Experimental setup

Optik cımbız sistemi, nesnelere yakalamak için odaklanmış iki lazer ışını, bir numune manipülasyon sistemi ve deneyi görüntülemek için bir görüntü cihazından oluşmaktadır. Lazer ışınlarının hizalanması, verimli bir optik cımbız kurulumu oluşturmak için çok önemlidir. İlk olarak, ışınlar taşıyıcı direklere ve raylara bağlı diyaframlarla hizalanmıştır. Daha sonra aynalar, dikey ve yatay açıların ayarlanabilmesi için kinematik ayna bağlantılarına dikkatlice yerleştirilmiştir. Optik cımbızlar, mercekleri monte etmek için direkleri ve taşıyıcıları olan bir ray düzeneği kullanmıştır. Lazer ışınlarının geçmesine izin vermek için merceklerin yüksekliği ayarlanmalıdır. Hizalama tamamlandığında diyaframlar raydan çıkartılmıştır. Maksimum yakalama kuvveti, lense giren ışının çapı lensin çapıyla eşleştğinde elde edilmiştir.

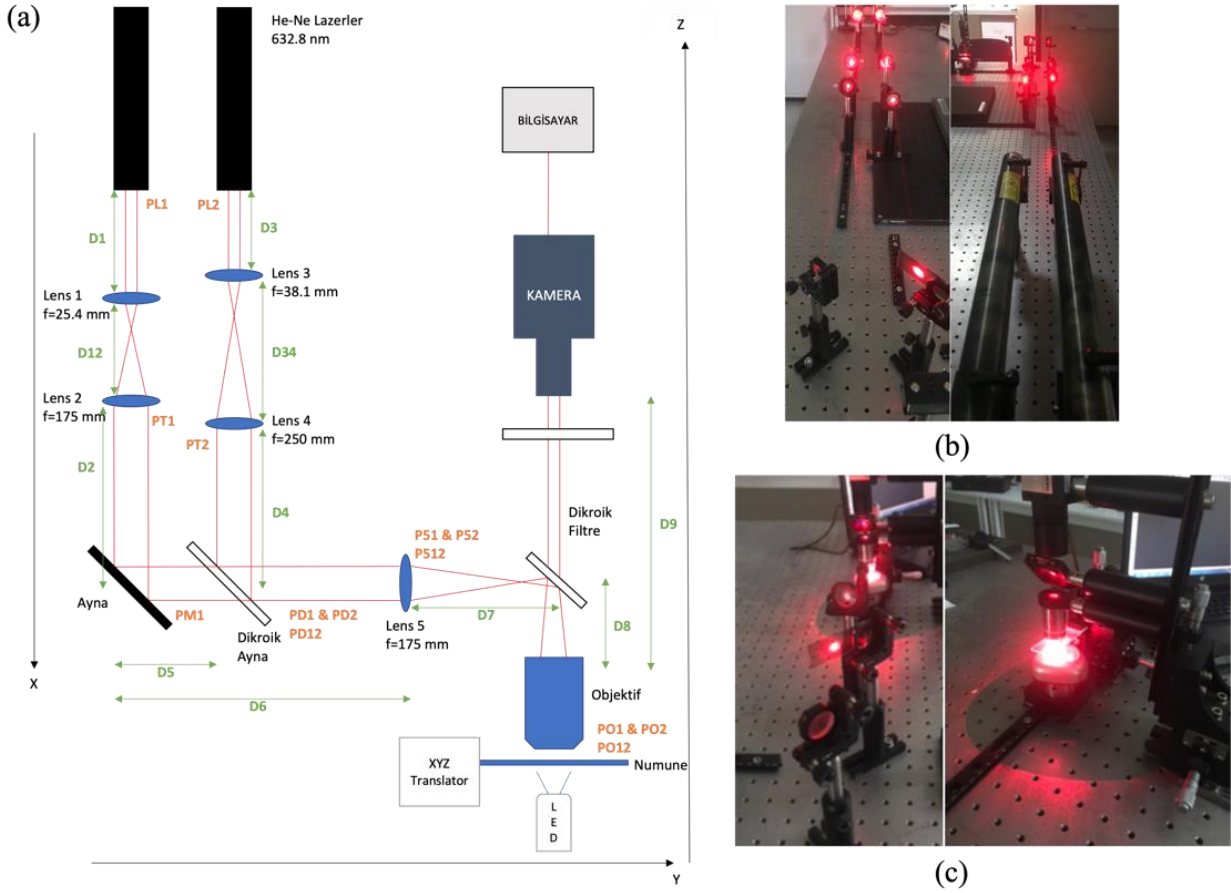
Bu araştırmada, özel olarak tasarlanmış optik cımbız sistemi 632,8 nm dalga boyuna sahip He-Ne lazerler kullanılmaktadır. Teleskop 1 (T1) olarak adlandırılan 1 ve 2 numaralı mercekler (odak uzunlukları sırasıyla 25.4 ve 175 mm) tarafından bir teleskop oluşturulurken, 3 ve 4 numaralı mercekler (odak uzunlukları sırasıyla 38.1 ve 250 mm) teleskop 2'yi (T2) oluşturmaktadır. Tüm teleskop mercekleri çift dışbükeydir. Teleskoplar, çap düzeltme ve kolimasyon için ışınları büyütme amacıyla kullanılmaktadır. Gelen ışının sapmasını azaltmak için teleskoplar lazerlerin yakınına yerleştirilmelidir. Optik bileşenler arasındaki kesin mesafeler Gauss ışın optiği kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Teleskop sistemi sonrası ışın belleri lazer 1 ve lazer 2 için sırasıyla 4,82 mm ve 4,60 mm olarak belirlenmiştir.

Işın, teleskoptan sonra aynalar ve 175 mm odak uzaklığına sahip bir lens tarafından objektife yönlendirilmektedir. İlk teleskop T1'den çıkan toplanmış ışın aynadan geçer ve ışın çapını objektifin çapına eşit hale getiren lens 5 tarafından yansıtılmaktadır. Lazer 2 ışını ise ilk lazer ışınının geçmesine izin veren dikroik aynadan geçer ve lens 5'in eğrilğine yansıtılmaktadır. Lens 5'ten sonra ışın beli lazer 1 ve lazer 2 için sırasıyla 1,732 mm ve 1,652 mm olarak hesaplanmıştır. Lens 5'ten sonra lazer ışınları, ışığı ortalamak ve objektife dik hale getirmek için ayarlanabilir düzenekteki dikroik filtre tarafından yansıtılmaktadır.

Çalışmada önerilen sistem özelinde her iki lazer ışın demetini birleştirmek için kullanılan dikroik ayna güç kaybına neden olmuştur. Dikroik ayna 45° olarak konumlandırıldığı için gelen ışının bir kısmı ayna içerisinden geçerken bir kısmı yansıyarak kaybolmaktadır. PL1 olarak isimlendirilen lazerden gelen ışın demetinin bir kısmı dikroik aynadan geçerken, PL2 lazerinden gelen ışının bir kısmı dikroik aynadan yansıyarak objektife yönelmektedir. Gelen ışının tümüyle yansıtılamaması lazerin çıkış demet gücüne göre güç kaybına neden olmuştur. Her optik bileşen çıkışındaki güç değerleri çalışma içerisinde Tablo 2'de sunulmuştur.

Mikroskop objektifi ile lamel arasında yağ kullanılması gerektiren yakalama objektifi (RMS100X-O, 100X Olympus Plan Achromat Oil Immersion Objective, 1.25 NA, 0.150mm WD) kullanılmıştır. Görüntüleme ışığı bir LED olarak seçilmiştir. Bunun nedeni hem yakalama ışığının hem de görüntüleme ışığının aynı objektiften geçmesidir. Yakalanan parçacığı görüntülemek için bir CCD kamera (DCU223M CCD Kamera. 1024 x 768 çözünürlük, monokrom) kullanılmıştır. Görüntüleme ışığının geçmesine ve yakalama ışığının yansıtılmasına izin verdiği için dikroik ışın ayırıcı olarak yeşil bir dikroik filtre seçilmiştir. İki ışın objektif ve CCD arasında hareket etmektedir, ancak yalnızca görüntüleme ışığı tuzaklanmış parçacığı görüntülemek için görüntüleyicilere ulaşmaktadır.

Nesnelere sıvı bir ortamda hapsetmek için standart mikroskop lamaları ve lamelleri kullanılmıştır. Numuneyi mikro ölçekte hareket ettirmek için bir translator kullanılmıştır. Buna ek olarak, objektifteki lazerin yönünün değiştirilmesi, tuzaklanmış parçacıkların konumunda çok ince değişikliklere neden olmaktadır.



**Şekil 1.** Optik cımbız düzeneği, boyutları ve güçleri ile birlikte şu şekilde gösterilmektedir: (a) optik cımbızın şeması, (b) düzenekte kullanılan teleskopların ve lazerlerin görüntüleri ve (c) düzenekte kullanılan aynaların ve objektifin görüntüleri.

**Figure 1.** The optical tweezer setup including its dimensions and powers is presented through: (a) a schematic of the optical tweezer, (b) views of telescopes and lasers used in the setup and (c) views of the mirrors and objective employed in the setup.

**Tablo 1.** Optik bileşenler arasındaki mesafeler  
**Table 1.** Distances between optical components

	Uzaklık
D1	690 mm
D12	205 mm
D2	580 mm
D3	675 mm
D34	300 mm
D4	500 mm
D5	115 mm
D6	215 mm
D7	280 mm
D8	20 mm
D9	20 mm

**Tablo 2.** Optik bileşenlerden sonra ışın gücü**Table 2.** Power of the beam after optical components

	LAZER 1	LAZER 2	LAZER 1&2
Lazerin çıkışı	PL1=25.45 mW	PL2=24.43 mW	-
Teleskop çıkışı	PT1=19.28 mW	PT2=19.23 mW	-
Aynadan sonra	PM1=15.70 mW	-	-
Dikroik aynadan sonra	PD1= 5.98 mW	PD2= 7.13 mW	PD12= 12.55 mW
Lens 5'ten sonra	P51= 5.33 mW	P52= 6.68 mW	P512=11.62 mW
Objektif çıkışı	PO1= 1.33 mW	PO2= 1.69 mW	PO12= 2.36 mW

## 2.2. Optik cımbızın özellikleri

### 2.2. The characteristics of the optical tweezer

Brownian hareketi yöntemi kullanılarak optik cımbızların sertliği ve yakalama kuvveti hesaplanmıştır. Bu yöntemde, yakalama kuvveti Boltzmann sabiti, mutlak sıcaklık ve parçacığın konum verileri ile hesaplanmaktadır. Deneyler sırasında mutlak sıcaklık 23°C ölçülmüştür. Belirsizlikler,  $\pm 1,15^\circ\text{C}$  olan lazerden kaynaklanan sıcaklık değişimi ve  $\pm 0,005 \mu\text{m}$  olan yer değiştirme ile sınırlanmıştır.

Brownian hareket yöntemi, tuzağın sertliğini ( $k$ ) ölçmek için mutlak sıcaklığı kullanarak tuzağa düşen parçacığın ısı dalgalanmasını kullanmaktadır. Cımbızların sertliği, harmonik bir potansiyel içinde dalgalanan bir parçacık için eş dağılım teoreminden hesaplanmaktadır (Baek vd., 2007; Rice & Fischer, y.y.). Eş dağılım teoreminde, ısı dengedeki bir molekülün her bir serbestlik derecesi  $\langle H \rangle$  için bir kinetik enerjisi vardır. Tuzaklanmış parçacığın hareketinin sadece termal dalgalanmalardan kaynaklandığı varsayıldığında, kinetik enerji tuzağın potansiyel enerjisine eşittir:

$$\langle H \rangle = \frac{1}{2} k_b T = \frac{1}{2} k \langle x^2 \rangle \quad (1)$$

Burada  $k_b$  Boltzmann sabitidir ve  $k_b = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 'dir.  $T$  mutlak sıcaklıktır.  $\langle x^2 \rangle$ , numunenin tuzağın merkezinden yatay olarak yer değiştirmesinin zaman ortalamalı karesidir. Bu yöntem sertliği hesaplamak için parçacık geometrisi ya da sıvı viskozitesi gerektirmemektedir. Sıcaklık rastgele titreşime neden olur ve tuzak kuvveti tuzak merkezinden harekete direnç göstermektedir (Rice & Fischer, y.y.).

Her bir yön için, (2) ve (3) denklemlerindeki  $\langle x^2 \rangle$  ve  $\langle y^2 \rangle$  değerlerini hesaplamak için yakalanan numunenin yer değiştirmeleri ölçülmüştür (Jia vd., 2007). Brownian Hareketi altında yakalanan numunenin yer değiştirmeleri ImageJ (Schindelin vd., 2012) kullanılarak belirlenmiştir.  $\mu\text{m}$  aralığındaki yer değiştirmeleri belirlemek için, numunenin çapı ölçülerek pikseller  $\mu\text{m}'ye$  dönüştürülmüştür.  $1 \mu\text{m}$  48,11 piksele karşılık gelmektedir.

$$\langle x^2 \rangle = \frac{\sum_{n=1}^N x_n^2}{N} \quad (2)$$

$$\langle y^2 \rangle = \frac{\sum_{n=1}^N y_n^2}{N} \quad (3)$$

Yer değiştirmeler bulunduktan sonra, her iki eksendeki sertlikler denklem (4) ve (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{2} k_b T = \frac{1}{2} k \langle x^2 \rangle \quad (4)$$

$$\frac{1}{2} k_b T = \frac{1}{2} k \langle y^2 \rangle \quad (5)$$

Yakalama kuvveti, sertlik ( $k$ ) ile numunenin merkezinden tuzağın merkezine olan mesafe ( $d_T$ ) kullanılarak belirlenmiştir.

$$F_T = kd_T \quad (6)$$

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Sertlik ve yakalama kuvveti, optik cımbızların özelliklerinin tanımlanmasında önemlidir. Burada, her bir durum için cımbızların sertliğini belirlemek üzere Brownian hareket yöntemi kullanılmıştır. Örnek olarak su içinde yaklaşık  $1 \mu\text{m}$ 'lik polistiren boncuklar (PB) ve yoğurt kültüründeki maya hücreleri (YC) kullanılmıştır. Optik cımbızların x ve y eksenleri için sertliğini ve yakalama kuvvetlerini hesaplamak için numuneler lazer 1, lazer 2 ve her iki lazer kullanılarak aynı anda yakalanmışlardır. Yakalanan ve manipüle edilen parçacıkları net bir şekilde göstermek için, çekilen görüntüler kontrastı artırılarak işlenmiştir. Deneyler sırasında parçacık yakalama ve manipülasyonu kaydedilmiş ve videolar tüm hesaplamaları gerçekleştirmek için çok kareli görüntülere dönüştürülmüştür. Tablo 3, her durumda her bir örnek için video süresini ve kare sayısını göstermektedir.

**Tablo 3.** Her durum için kayıt süresi ve kare sayısı

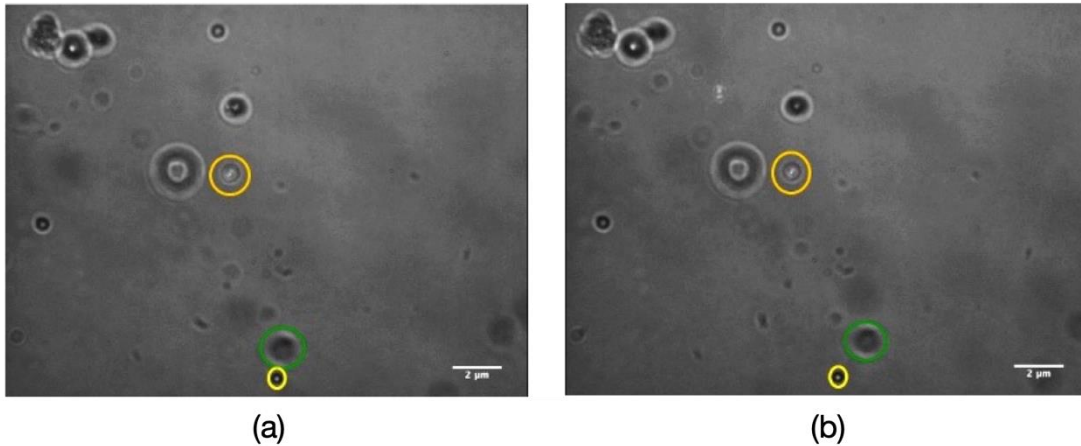
**Table 3.** Recording duration and number of frames for each case

Durum	Video süresi [s]	Kare sayısı, N
PB – Lazer 1	3	32
PB – Lazer 2	1.8	20
PB – Her iki lazer	1.25	15
YC – Lazer 1	3	30
YC – Lazer 2	1.9	21

#### 3.1. Tek lazer ile optik yakalama

##### 3.1. Optical trapping by single laser

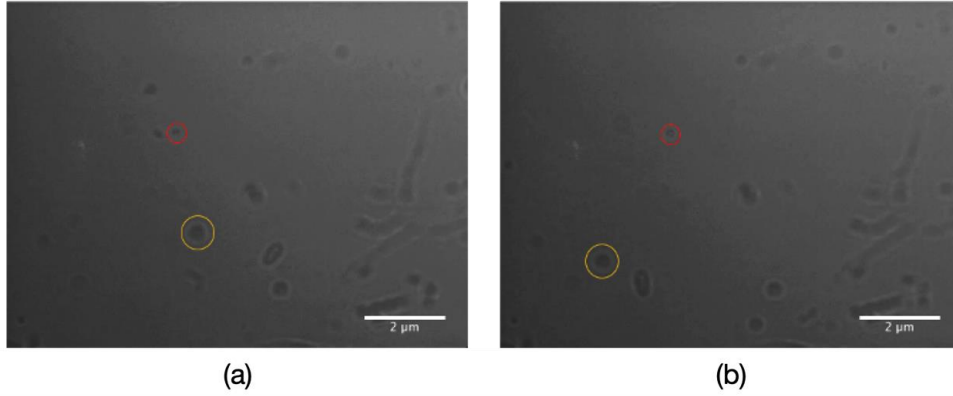
Numune yakalama işlemi her iki lazer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde çekilen görüntülerle yakalama işlemi gösterilmektedir. Şekil 2'de, görseller turuncu daire içindeki tuzaklanmış PB'yi göstermektedir. Yeşil daire içindeki parçacığın hareket ettiği gözlenirken, sarı daire içindeki boncuk belirli bir zamanda hareketsiz kalmıştır. Şekil 2.a ve 2.b sırasıyla deneyin başlangıcını ve bitişini göstermektedir.



**Şekil 2.** PB'nin Lazer 1 ile yakalanması

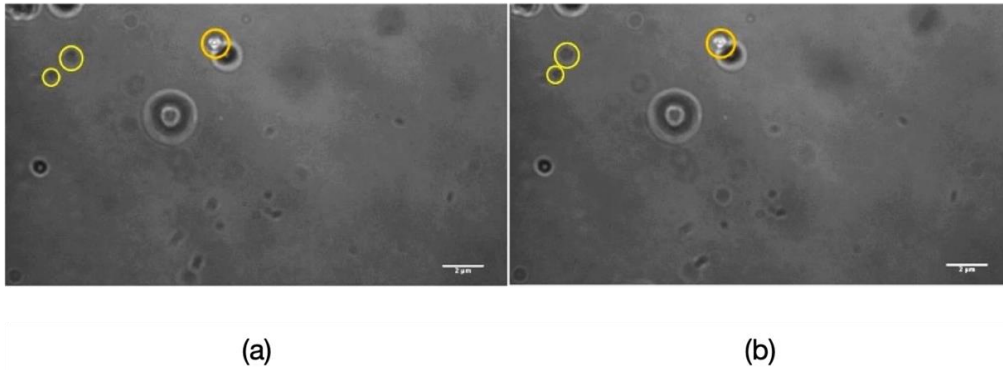
**Figure 2.** Trapping of PB by Laser 1.

Yakalanan YC Şekil 3'te görülmektedir. Sarı daire içinde yer alan hücre hareket halindeyken kırmızı daire içinde yer alan YC yakalanmıştır. Yakalama olayının başlangıcı Şekil 3.a'da, üç saniye geçtikten sonraki sonucu ise Şekil 3.b'de gösterilmektedir.

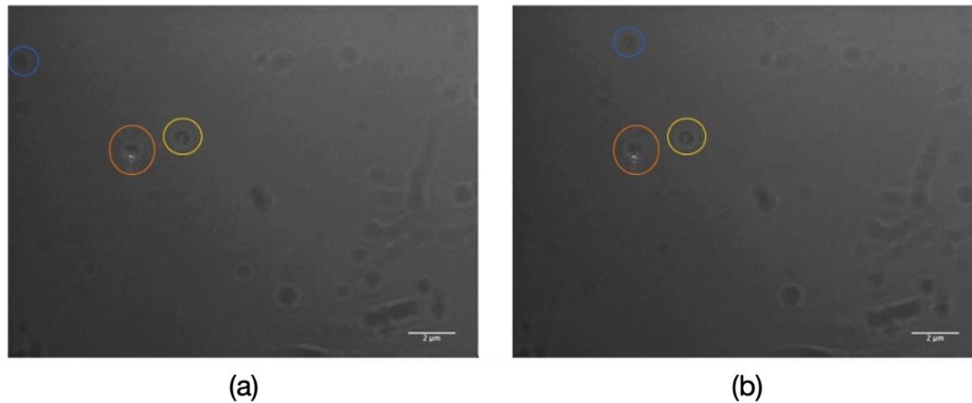


**Şekil 3.** YC'nin Lazer 1 ile yakalanması  
*Figure 3. Trapping of YC by Laser 1.*

Şekil 4, turuncu daire içinde sıkışan PB parçacığını göstermektedir. Sarı daire içerisine yerleştirilen parçacıkların, gösterildiği gibi akışkan akışı nedeniyle hareket ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.a tuzaklamanın başlangıç aşamasını, Şekil 4.b ise 1,8 saniye sonraki sonunu göstermektedir. Ayrıca, Şekil 5'te, lazer 2 tarafından tuzağa düşürülen YC turuncu daire içinde gösterilirken, lazer 1 tarafından tuzağa düşürülen YC sarı daire içinde gösterilmektedir. Mavi daire içinde yer alan hücre hareket ederken, diğerleri tuzaklanmış olarak kalmıştır. Son olarak, Şekil 5.a tuzaklamanın başlangıç noktasını, Şekil 5.b ise 1,9 saniye sonra sürecin sonunu göstermektedir.



**Şekil 4.** PB'nin Lazer 2 ile yakalanması  
*Figure 4. Trapping of PB by Laser 2.*

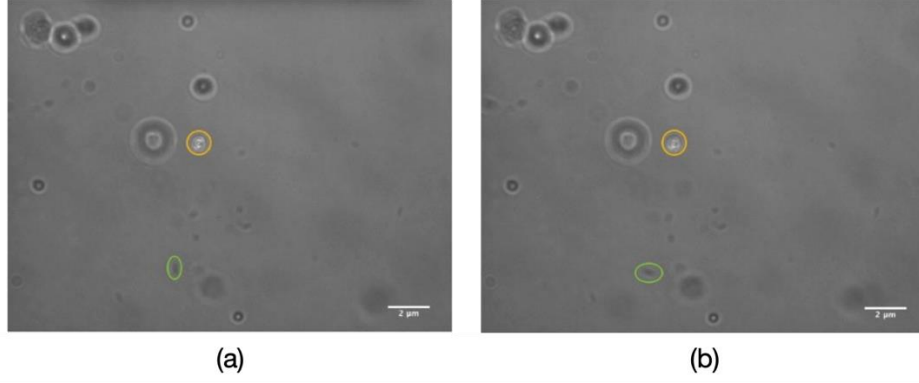


**Şekil 5.** YC'nin Lazer 2 ile yakalanması  
*Figure 5. Trapping of YC by Laser 2.*

### 3.2. Çoklu optik cımbız

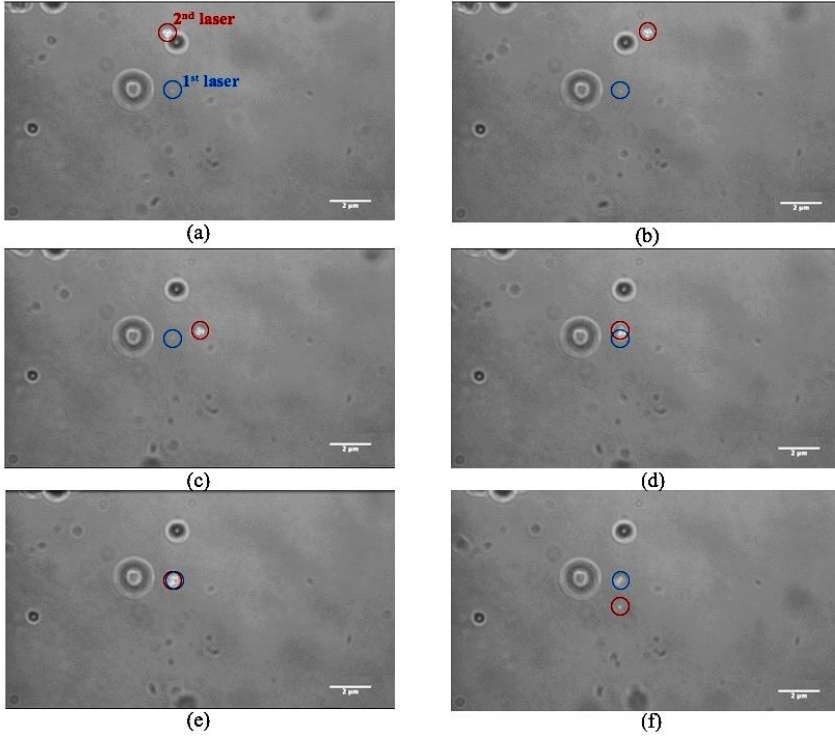
#### 3.2. Multiple optical tweezer

Şekil 6, turuncu daire ile gösterildiği gibi PB'yi aynı anda hapseden iki lazeri göstermektedir. Belirli bir zamanda, yeşil daire parçacığın nasıl döndürüldüğünü göstermektedir. 6.a'da sunulan veriler tuzaklamanın başlangıç aşamasını gösterirken 6.b'de 1,25 saniyelik zaman diliminin sonu gösterilmektedir. Her iki lazer de PB'yi yerinde tutabilmesine rağmen, YC bir seferde birden fazla optik cımbız tarafından yakalanmamaktadır. Bunun başlıca nedeni akışkan ortamın viskozitesidir.

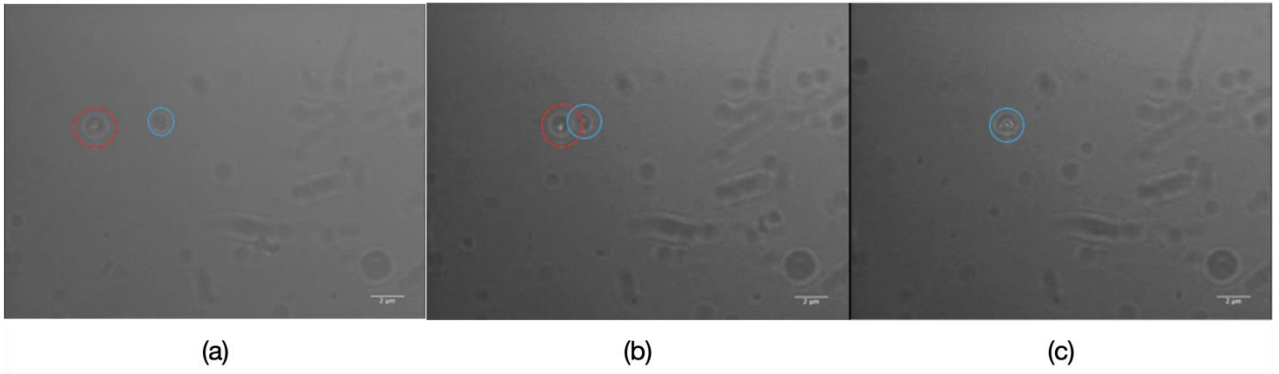


**Şekil 6.** PB'nin her iki lazer ile aynı anda yakalanması  
**Figure 6.** Trapping of PB by both lasers simultaneously

Her iki lazerin eşzamanlı kullanımı hem PB hem de YC'nin yakalanmasını ve yer değiştirmesini kolaylaştırmıştır. Lazer 2, PB ve YC'yi yakalayıp Lazer 1'in optik yakalama alanına taşıyabilmektedir. Boncuk daha sonra daha güçlü bir yakalama kuvvetine sahip olan Lazer 1'in optik yakalama bölgesinde yakalanmıştır. Şekil 7, kırmızı bir daire olarak gösterilen Lazer 2 aracılığıyla tuzaklanmış PB'yi göstermektedir. Şekil 7.a'daki grafik tuzaklamanın ilk aşamasını göstermektedir. Şekil 7.b ve 7.c tuzağın hareketini, Şekil 7.d ise lazer 1 tuzak bölgesindeki yerleşimini göstermektedir. Şekil 7.e iki lazerin aynı anda boncuğu yakaladığını gösterirken Şekil 7.f'de sadece Lazer 1 boncuğu 2. saniyede yakalamıştır. PB'ye benzer şekilde Şekil 8 YC'nin Lazer 2 üzerinden Lazer 1'in optik yakalama bölgesine doğru hareketini göstermektedir. Kırmızı daire içine hapsedilmiş bir maya hücresi (a-b)'de ve (c)'de Lazer 1 tarafından hapsedilmiş maya hücreleri gösterilmektedir.



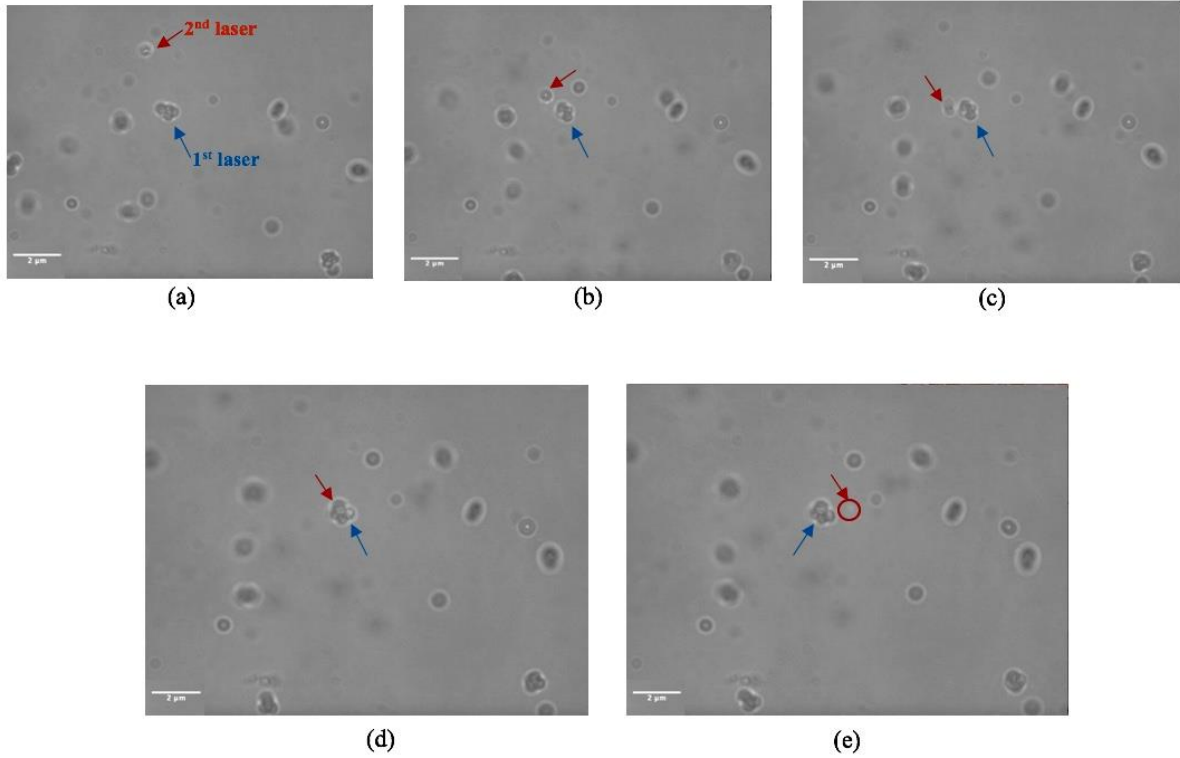
**Şekil 7.** PB'nin optik cımbızla hareket ettirilmesi  
**Figure 7.** Moving the PB with optical tweezers



**Şekil 8.** YC'nin optik cımbızla hareket ettirilmesi  
**Figure 8.** Moving the YC with optical tweezers

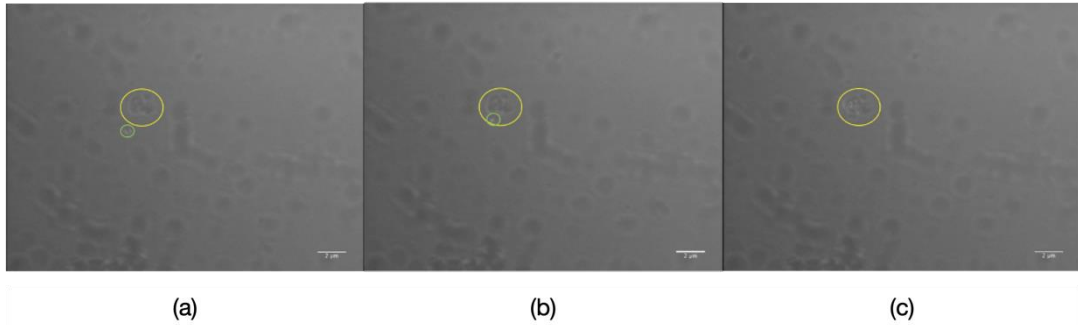
Lazer 1 başlangıçta birden fazla parçacığı yakalamış olsa da, Lazer 2 tarafından getirilen bir numuneyi de yakalayabilir. Şekil 9 bu süreci göstermektedir. Polistiren boncuk ilk olarak Lazer 2 tarafından yakalanmakta ve daha sonra Şekil 9.a-c'de gösterildiği gibi Lazer 1'e doğru hareket etmektedir. Şekil 9d'de Lazer 2, Şekil 9e'de gösterildiği gibi yakalama bölgesinden ayrılmadan önce boncuktan uzaklaşarak Lazer 1'e doğru hareket etmektedir.





**Şekil 9.** Optik cımbız ile birden fazla parçacığın yakalanması  
**Figure 9.** Trapping multiple particles with optical tweezers

Şekil 10.a'daki sarı daire Lazer 1 tarafından tutulan birden fazla YC'yi, Şekil 10.b'deki yeşil daire ise Lazer 2 tarafından tutulan ve hareket ettirilen YC'yi göstermektedir. Şekil 10.a ve 10.b, Lazer 2'nin kapana kısılmış YC'nin yer değiştirmesine neden olduğunu göstermektedir. Şekil 10.c, her iki lazerin aynı anda kullanılmasıyla birden fazla hücrenin hapsedildiğine dair kanıtlar sunmaktadır.



**Şekil 10.** Optik cımbız ile birden fazla YC yakalanması  
**Figure 10.** Trapping multiple YC with optical tweezers

### 3.3. Çoklu optik cımbızın genel performansı

#### 3.3. Overall performance of multiple optical tweezer

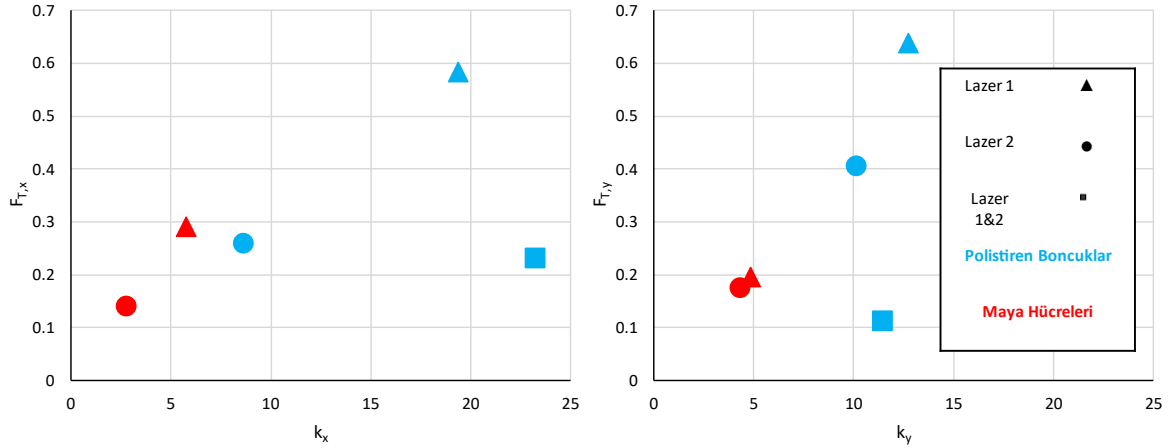
Sertlik ve yakalama kuvveti optik cımbızların iki temel özelliğidir. Cımbızların sertliği Brownian hareket yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sertliği ve yakalama kuvvetini hesaplamak için Denklemler (2-6), Brown hareketi altında yakalanan numunenin yer değiştirmelerinin yanı sıra yakalama merkezi ile numune merkezi arasındaki mesafeleri gerektirir. Tablo 4'te bu hesaplamalarda kullanılan parametreler verilmiştir.

**Tablo 4.** Brown hareketi altında tuzaklanmış boncukların yer değiştirmeleri ( $\langle x \rangle$  ve  $\langle y \rangle$ ) ve tuzak merkezi ile numune merkezi arasındaki mesafeler ( $d_{T,x}$  and  $d_{T,y}$ )

**Table 4.** The displacements of the trapped beads under Brownian motion ( $\langle x \rangle$  and  $\langle y \rangle$ ) and the distances between the trap centre and the sample centre ( $d_{T,x}$  and  $d_{T,y}$ )

Durum	$\langle x \rangle$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\langle y \rangle$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{T,x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{T,y}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PB – Lazer 1	0,015	0,018	0,03	0,05
PB – Lazer 2	0,022	0,020	0,03	0,04
PB – Lazer 1&2	0,013	0,019	0,01	0,01
YC – Lazer 1	0,027	0,029	0,05	0,04
YC – Lazer 2	0,038	0,031	0,05	0,04

Lazer 1 her yönde daha yüksek sertlik ve yakalama kuvveti değerleri sergileyerek her numunede birden fazla partikülün aynı anda yakalanmasına olanak sağlamıştır (Şekil 11). Buna karşılık, Lazer 2 yalnızca hareket uygulamaları için uygundur. Her iki lazer de aynı olmasına ve optimum yakalama kuvvetleri elde etmek için mesafeler hesaplanmasına rağmen, dikroik ayna nedeniyle gözlemlenen güç kaybı tuzaklama kuvvetinde değişikliklere neden olabilir. Ayrıca, Şekil 11'de gösterildiği gibi, YC'ler için yakalama kuvvetleri PB'ye kıyasla daha küçüktür. Bunun nedeni, benzer kırılma indisi değerlerine (su için 1,33 ve yoğurt kültürü için 1,3524 (Torres vd., 2010)) sahip olmalarına rağmen yoğurt kültürü ortamının su ortamına (0,001002 kg/(m-s)) kıyasla daha yüksek viskozite değerleri (0,038 kg/(m-s) (Ertugay vd., 2012)) olabilir. Sonuç olarak, YC için her iki lazer tarafından optik yakalama engellenmiştir.



**Şekil 11.** Tüm durumlar için her ekseninde sertlik ( $k$ ) ve yakalama kuvveti ( $FT$ ) değişimi  
**Figure 11.** Variation of stiffness ( $k$ ) and trapping force ( $FT$ ) at each axis for all cases

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Bu çalışmanın amacı, sudaki polistiren boncuklar ve yoğurt kültüründeki maya hücreleri gibi mikron boyutundaki parçacıkları yakalamak ve manipüle etmek için iki paralel He-Ne lazer ( $\lambda=632.8$  nm) kullanan düşük bütçeli ve özel tasarlanmış çoklu bir optik cımbız geliştirmektir. Optik cımbızın sertlik ve yakalama kuvveti gibi karakteristik özellikleri, tüm durumlar için (Lazer 1, Lazer 2 ve her iki lazer aynı anda) Brownian Hareketi yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Her bir optik bileşen arasındaki mesafeler Gauss ışın optiği kullanılarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, dikroik ayna kullanımı sebebiyle oluşan güç kaybı Lazer 2'nin daha düşük yakalama kuvvetlerine sahip olmasına neden olmuştur. Nesnelere yakalamak ve manipüle etmek için tek bir lazer ışını (Lazer 2) kullanan geleneksel optik cımbızların aksine, ek bir lazerin kullanılması mikron

boyutundaki parçacıkların manipülasyonuna ve birden fazla partikülün halihazırda tuzaklanmış olduğu Lazer 1'in tuzak bölgesine taşınmasına izin vermektedir. Bu çalışma, her iki lazerin eşzamanlı kullanımı yoluyla stabil tuzaklama elde edilmesinde saçılma ortamının viskozitesinin önemini vurgulamaktadır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda sistemi oluştururken düşük bütçeli optik bileşenler kullanılmıştır. Özel kaplamalı lensler ve dikroik ayna tercih edilmesiyle sistemdeki güç kaybı azaltılabilir ve sistemde kullanılan lazerleri değiştirmeden daha yüksek güçler ile yakalama ve manipülasyon işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Objektif hizasına eklenen özel detektörler ile tuzaklanan parçacıkların salınımları takip edilerek optik cımbızın sertliği ve dolayısıyla yakalama kuvveti daha hassas şekilde belirlenebilmektedir. Aynı zamanda kullanılan lazerin tamamen değiştirilmesi, farklı ışın dalga boylarına sahip lazerlerin kullanılabilmesi ya da lazer sayısının da arttırılabilmesiyle önerilen sistem, hücre sıralama ve manipülasyonu için biyoloji ve viskozite ölçümü için reoloji gibi çok çeşitli araştırma alanlarında kullanılma potansiyeline sahiptir.

## **Teşekkür**

### *Acknowledgements*

Bu çalışma İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda, Dr. Öğr. Üyesi Aziz KOLKIRAN danışmanlığında Nur ÇOBANOĞLU'nun yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## **Yazar katkısı**

### *Author contribution*

Nur ÇOBANOĞLU deneylerin yürütülmesi, sonuçların analiz edilmesi, makalenin ilk taslağının hazırlanması konularında katkı sağlamıştır. Aziz KOLKIRAN ise deney düzeneğinin kavramsallaştırılması, sonuçların değerlendirilmesi, makalenin gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi konularında katkıda bulunmuştur.

## **Etik beyanı**

### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

## **Çıkar çatışması beyanı**

### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Kaynaklar**

### *References*

- Ashkin, A. (1970). Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure. *Physical Review Letters*, 24(4), 156–159. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.24.156>
- Ashkin, A., & Dziedzic, J. M. (1987). Optical trapping and manipulation of viruses and bacteria. *Science*, 235(1984), 1517–1520. <https://doi.org/10.1126/science.3547653>
- Ashkin, A., Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E., & Chu, S. (1986). Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles. *Optics Letters*, 11(5), 288. <https://doi.org/10.1364/OL.11.000288>
- Ashok, P. C., & Dholakia, K. (2012). Optical trapping for analytical biotechnology. *Current opinion in biotechnology*, 23(1), 16–21.
- Baek, J.-H., Hwang, S.-U., & Lee, Y.-G. (2007). Trap stiffness in optical tweezers. *Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology 2007*, 6.
- Castelain, M., Pignon, F., Piau, J. M., Magnin, A., Mercier-Bonin, M., & Schmitz, P. (2007). Removal forces and adhesion

- properties of *Saccharomyces cerevisiae* on glass substrates probed by optical tweezer. *The Journal of chemical physics*, 127(13).
- Castelain, M., Pignon, F., Piau, J. M., & Magnin, A. (2008). The initial single yeast cell adhesion on glass via optical trapping and Derjaguin–Landau–Verwey–Overbeek predictions. *The Journal of chemical physics*, 128(13).
- Castelain, M., Rouxhet, P. G., Pignon, F., Magnin, A., & Piau, J. M. (2012). Single-cell adhesion probed in-situ using optical tweezers: A case study with *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Applied Physics*, 111(11).
- Choudhary, D., Mossa, A., Jadhav, M., & Cecconi, C. (2019). Bio-molecular applications of recent developments in optical tweezers. *Biomolecules*, 9(1), 23.
- Constable, A., Kim, J., Mervis, J., Zarinetchi, F., & Prentiss, M. (1993). Demonstration of a fiber-optical light-force trap. *Optics letters*, 18(21), 1867–1869.
- Difato, F., Pinato, G., & Cojoc, D. (2013). Cell signaling experiments driven by optical manipulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 8963–8984.
- Eom, N., Stevens, V., Wedding, A. B., Sedev, R., & Connor, J. N. (2014). Probing fluid flow using the force measurement capability of optical trapping. *Advanced Powder Technology*, 25(4), 1249–1253.
- Ertugay, M. F., Baslar, M., Sengul, M., & Sallan, S. (2012). The effect of acoustic energy on viscosity and serum separation of traditional ayran, a Turkish yogurt drink. *Gida*, 37, 253–257.
- Favre-Bulle, I. A., Stilgoe, A. B., Scott, E. K., & Rubinsztein-Dunlop, H. (2019). Optical trapping in vivo: theory, practice, and applications. *Nanophotonics*, 8(6), 1023–1040.
- Firby, C. J., Smith, K. N., Gilroy, S. R., Porisky, A., & Elezzabi, A. Y. (2016). Design of a simple, low-cost, computer-controlled, dual-beam optical tweezer system. *Optik*, 127(1), 440–446.
- Hofmeister, A., Thalhammer, G., Ritsch-Marte, M., & Jesacher, A. (2020). Adaptive illumination for optimal image quality in phase contrast microscopy. *Optics Communications*, 459, 124972.
- Jia, D., Hamilton, J., Zaman, L. M., & Goonewardene, A. (2007). The time, size, viscosity, and temperature dependence of the Brownian motion of polystyrene microspheres. *American Journal of Physics*, 75(2), 111–115.
- Kappel, K., & Lind, C. H. (2014). *Trapping Polystyrene Beads with Optical Tweezers*.
- Keloth, A., Anderson, O., Risbridger, D., & Paterson, L. (2018). Single cell isolation using optical tweezers. *Micromachines*, 9(9), 434.
- Lenton, I. C. D., Scott, E. K., Rubinsztein-Dunlop, H., & Favre-Bulle, I. A. (2020). Optical Tweezers Exploring Neuroscience. İçinde *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (C. 8). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.602797>
- Liu, J., & Li, Z. (2018). Controlled mechanical motions of microparticles in optical tweezers. *Micromachines*, 9(5), 232.
- Liu, Y., & Yu, M. (2017). Fiber optical tweezers for manipulation and sensing of bioparticles. İçinde *Handbook of Photonics for Biomedical Engineering* (ss. 683–715). Springer.
- Mas Soler, J. (2008). *Force calibration of optical traps by video-based methods*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Molloy, J. E., & Padgett, M. J. (2002). Lights, action: optical tweezers. *Contemporary physics*, 43(4), 241–258.
- Nemet, B. A., & Cronin-Golomb, M. (2003). Measuring microscopic viscosity with optical tweezers as a confocal probe. *Applied optics*, 42(10), 1820–1832.
- Pilát, Z., Jonáš, A., Ježek, J., & Zemánek, P. (2017). Effects of infrared optical trapping on *saccharomyces cerevisiae* in a microfluidic system. *Sensors*, 17(11), 2640.
- Polimeno, P., Magazzu, A., Iati, M. A., Patti, F., Saija, R., Boschi, C. D. E., Donato, M. G., Gucciardi, P. G., Jones, P. H., & Volpe, G. (2018). Optical tweezers and their applications. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 218, 131–150.

- Rice, A., & Fischer, R. (y.y.). *Calibration Of Optical Tweezers*.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., & Schmid, B. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9(7), 676. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- Statsenko, A., Inami, W., & Kawata, Y. (2017). Measurement of viscosity of liquids using optical tweezers. *Optics Communications*, 402, 9–13.
- Torres, J. D., Tárrega, A., & Costell, E. (2010). Storage stability of starch-based dairy desserts containing long-chain inulin: Rheology and particle size distribution. *International Dairy Journal*, 20(1), 46–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.08.001>
- Volpe, G., Maragò, O. M., Rubinsztein-Dunlop, H., Pesce, G., Stilgoe, A. B., Volpe, G., Tkachenko, G., Truong, V. G., Chormaic, S. N., & Kalantarifard, F. (2023). Roadmap for optical tweezers. *Journal of Physics: Photonics*, 5(2), 22501.
- Wang, D., Zhou, E. H., Brake, J., Ruan, H., Jang, M., & Yang, C. (2015). Focusing through dynamic tissue with millisecond digital optical phase conjugation. *Optica*, 2(8), 728–735.
- Zhang, H., & Liu, K. K. (2008). Optical tweezers for single cells. *Journal of the Royal Society interface*, 5(24), 671-690.
- Zhu, R., Avsievich, T., Popov, A., & Meglinski, I. (2020). Optical Tweezers in Studies of Red Blood Cells. İçinde *Cells* (C. 9, Sayı 3). <https://doi.org/10.3390/cells9030545>
- Zou, X., Zheng, Q., Wu, D., & Lei, H. (2020). Controllable cellular micromotors based on optical tweezers. *Advanced Functional Materials*, 30(27), 2002081.

## Deniz suyu girişi etkisinde bulunan yeraltısuyunda hidrojeokimyasal değişimin izlenmesi: Çarşamba akiferi (Samsun) örneği

*Monitoring hydrogeochemical change in groundwater under the influence of seawater intrusion: the case of Çarşamba aquifer (Samsun)*

Arzu FIRAT ERSOY<sup>\*1</sup> , Abdourazakou Maman HASSAN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Maden Sanayi ve Jeoloji Yüksek Okulu (EMİG), Yer bilimleri Bölümü, 732, Niamey, Nijer

• Geliş tarihi / Received: 25.04.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 27.06.2024

### Öz

Bu çalışma Karadeniz Bölgesi'nin orta Karadeniz bölümünde yer alan Çarşamba akiferinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Çarşamba akiferi yeraltısuyunda Temmuz-2019 ve Aralık-2019 döneminde 33 sondaj kuyusunda örnekleme yapılarak, yeraltısuyunda fiziksel parametreler, majör anyon ve katyonlar ile iz element analizleri yapılmıştır. Buna göre; yeraltısuyunda pH değerleri kıyı kesimlerde yüksek değerler almakta, güney kesimlere doğru ise daha düşük değerler almaktadır. Denize yakın konumda bulunan sondaj kuyularından elde edilen yeraltısuyu örneklerinde yüksek EC değerleri elde edilmektedir. Çarşamba akiferi yeraltısuyunda Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarına göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, akiferde tarımsal sulama yapmak amacıyla yeraltısuyunun çekilmesi ve bölgede gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler olduğu düşünülmektedir. Çarşamba akiferi yeraltısuyu iz elementler yönünden incelendiğinde, Ni, Mn, As, Al ve Cr içeriklerinin bazı kuyu sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Dünya Sağlık Örgütü'nün standartlarına uygun olmadığı görülmektedir. Yüksek iz element içeriklerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden, tarımsal faaliyetlerden ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çarşamba akiferinde deniz suyu girişiminin etkisinin olduğu kıyıya yakın konumda bulunan sondaj kuyularında yeraltısuyu çekimleri kontrol altında tutulmalı ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre kullanımına sınırlamalar getirilmelidir. Yüksek iz element içeriklerini denetleyebilmek amacıyla sanayi tesislerinden meydana gelebilecek kirlenmeyi önlemeye yönelik çalışmalar yürütülmelidir.

**Anahtar kelimeler:** Çarşamba akiferi, Hidrojeokimya, Samsun, Yeraltısuyu

### Abstract

This study aims to investigate the hydrogeologic and hydrogeochemical properties of the Çarşamba aquifer located in the Central Black Sea Section of the Black Sea Region. The groundwater of the Çarşamba aquifer was sampled in 33 boreholes between July-2019 and December-2019 and physical parameters, major anions and cations and trace element analyses were performed in the groundwater. According to the results, pH values in groundwater are higher in the coastal areas and lower in the southern areas. High EC values are obtained in groundwater samples obtained from boreholes located close to the Blacksea. It was determined that Na, Cl and SO<sub>4</sub> contents in the groundwater of the Çarşamba aquifer are high according to the standards of the World Health Organization and the Regulation on Water Intended for Human Consumption. The reason for this is thought to be groundwater consumption for agricultural irrigation in the aquifer and industrial activities carried out in the region. When the groundwater of the Çarşamba aquifer is examined in terms of trace elements, it is seen that the Ni, Mn, As, Al and Cr contents in some well waters do not comply with the standards of the Standard for Water Intended for Human Consumption and the World Health Organization. High trace element contents are thought to be caused by industrial facilities, agricultural activities and fossil fuel combustion in the region. Groundwater withdrawals should be kept under control in boreholes located close to the coast where seawater intrusion is effective in the Çarşamba aquifer and restrictions should be imposed on the use of fertilizers used in agricultural activities. In order to control the high trace element contents, studies should be carried out to prevent pollution from industrial facilities.

**Keywords:** Çarşamba aquifer, Hydrogeochemistry, Samsun, Groundwater

\*Arzu FIRAT ERSOY; arzufirat@gmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yeryüzünde yüzey ve yeraltısularının esas kaynağını oluşturan yağışın dünya ortalaması 1000 mm iken bu rakam Türkiye’de 646 mm’dir. Bu durum Türkiye’nin su kaynakları bakımından zengin ülkeler arasında yer almadığını göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de su kaynaklarının rezervi tükenmeden ve kaliteyi bozmadan yararlanma zorunluluğu artmaktadır. Türkiye’de, artan nüfusla, kişi başına düşen su potansiyeli her yıl biraz daha azalmaktadır.

Günümüzde en önemli çevresel sorunlardan biri, yeraltısuyunun kirlenmesidir. Yeraltısuyunun aşırı pompalanması, kontrolsüz tarım uygulamaları, sanayileşme gibi birçok faktör küresel su kaynaklarının tükenmesine yol açsa da yeraltı su kaynaklarını kirleten en önemli faktörlerden biri tuzlanmadır. Deniz suyu girişimi, halitin çözünmesi, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar dahil olmak üzere çeşitli potansiyel yeraltı suyu tuzlanması kaynakları bulunmaktadır (Al Farrah vd., 2011). Özellikle kıyı akiferlerinde aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda, yeraltısuyu seviyesi düşmekte ve bunun sonucunda da deniz suyu iç bölgelere doğru hareket etmektedir (Barlow vd., 2003). Kıyı bölgesinde, deniz suyu girişimi yeraltı suyunun tuzlanması ana kaynağıdır ve çoğu zaman bu alanlardaki kuyuların terk edilmesini gerektirir.

Deniz suyu girişimine maruz kalmış akiferlerde bulunan yeraltısuyu ile sulama yapılan tarım alanlarında toprakta tuzlanma ve sodyum içeriğinin artması, toprağın verimliliğini azalması ve toprağın geçirimsiz hale gelmesi gibi problemler yaşanmaktadır. Kızılırmak Delta alanında yeraltısuyu üzerinde yapılan çalışmalarda yeraltısuyunun deniz suyu girişimi etkisi ile karşı karşıya bulunduğu ve kıyıya yakın kuyularda yeraltısuyu çekiminin yapılmaması gerektiği belirlenmiştir (Fırat Ersoy vd., 2020).

Deniz suyu girişiminden başka, su kaynaklarını etkileyen çok çeşitli kirleticiler arasında ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bile güçlü toksisiteleri göz önüne alındığında özellikle endişe duyulmaktadır. Toprakların aşırı ağır metal kirliliği, metallerin bitkiler ve su yoluyla besin zincirine girmesine neden olmakta ve insan sağlığı açısından olası bir risk oluşturmaktadır. Ağır metalleri diğer toksik kirleticilerden ayıran en önemli özelliklerinden biri, çevrede biyolojik olarak parçalanamamalarıdır. Metallerden bakır, demir, manganez, nikel ve çinko gibi bazıları hayvanlar ve bitkiler için esansiyeldir; krom, kadmiyum ve kurşun gibi diğerlerinin ise hiçbir önemi yoktur. Özellikle yeraltı suyunda ağır metal konsantrasyonunun izlenmesi önemlidir çünkü sağlık sorunlarının, özellikle de su kaynaklı hastalıkların giderilmesine yardımcı olabilir (Hooda vd., 1998; Hopkins vd., 2007).

Türkiye’de Karadeniz’in en büyük 2 ovasından bir tanesi Samsun ili sınırları içinde yer alan Çarşamba Ovası’dır. Çarşamba Ovası bu nedenle yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bir bölge konumundadır. Bu bölge Karadeniz kıyısında yer aldığından, aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda deniz suyu girişimi problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca tarım alanlarında aşırı derecede gübre kullanımı da yeraltısularının nitrat, nitrit ve amonyum açısından kirlenmesine neden olmaktadır.

Bu makalede, Türkiye’nin en önemli kıyı akiferlerinden biri olan Çarşamba akiferinde, akiferin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda Çarşamba akiferinden yeraltısuyu ve deniz suyu örnekleri alınarak sıcaklık, EC, TDS, pH, majör kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ), majör anyon ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), kirlilik parametre ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{NH}_4^+$ ), iz element (Ni, Mn, As, Al ve Cr) analizleri yapılmıştır.

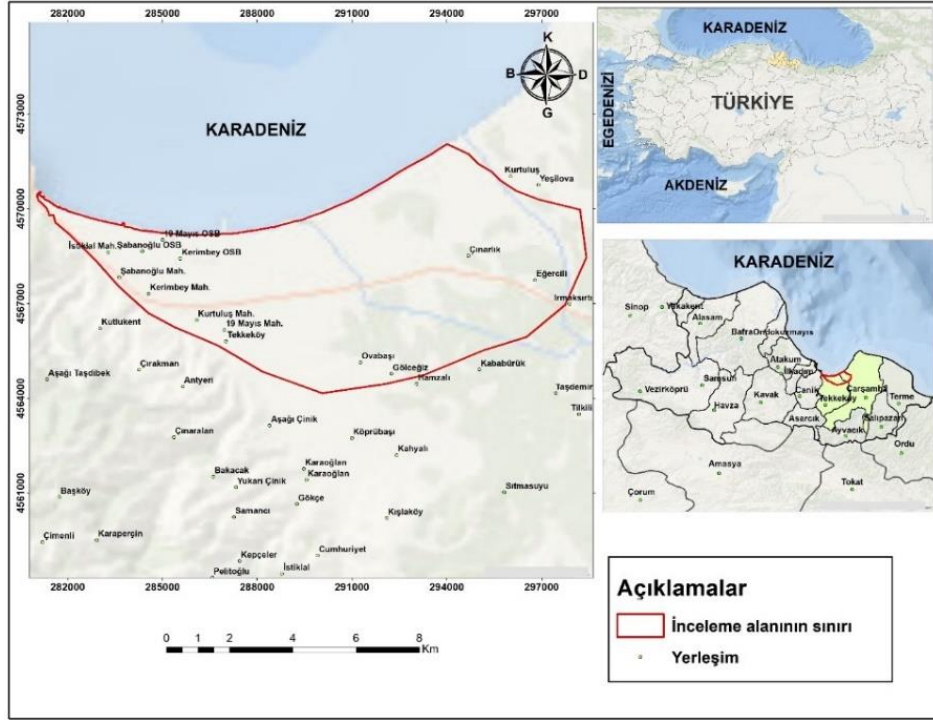
Elde edilen sonuçlar kullanarak yeraltısuyunda bulunan majör iyon ve iz element içerikleri belirlenmiş, ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) değeri belirlenmiştir. İçme ve kullanma suyu açısından sorun oluşturan ağır metal ve diğer kirlilik parametrelerinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır ve bunun sonucunda problemin fazla olduğu bölgeler tespit edilmiştir.

## 2. Çalışma alanı

### 2. Study area

Çalışma alanı Türkiye’nin Karadeniz Bölgesi’nin Orta Karadeniz Bölümü’nde Çarşamba Ovası’nda, Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çarşamba Ovası

Türkiye'nin kuzeyinde, Karadeniz bölgesi sınırları içerisinde,  $41^{\circ} 0' 45''$ -  $41^{\circ} 22' 55''$  kuzey enlemleri ile  $36^{\circ} 25' 53''$ -  $37^{\circ} 14' 42''$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma alanı denizden Canik dağlarına doğru yükselmekte olup deniz kıyısında rakım azalmakta hatta bazı yerlerde deniz seviyesinin altına düşmektedir. Sahanın jeomorfolojik özelliklerine göre, Yeşilirmak Deltası üzerinde kalan düz saha, birikinti koni ve yelpazelerinden oluşan geçiş sahası ve delta gerisindeki dağlık arazi olmak üzere üç farklı morfolojik birime ayrılması mümkündür. İnceleme alanı Yeşilirmak Havzası'nın sol sahilinde ve Çarşamba ovasının batı bölümünde (havaalanı ile sanayi bölgesi alanı arasında) kalacak şekilde ve 1/25000 ölçekli F36c2, F37a4, F37a3, F37d1 ve F37d2 paftaları içerisinde yer almaktadır. Bu alan içerisinde, birçok endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri yer alması nedeniyle inceleme alanı olarak seçilmiştir (Maman Hassan, 2023).



**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru haritası  
**Figure 1.** Location map of the study area

### 3. Materyal ve yöntem

#### 3. Materials and methods

1/25 000 ölçekli F36c2, F37a4, F37a3, F37d1 ve F37d2 paftaları içerisinde seçilmiş olan inceleme alanında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda Çarşamba akiferinde açılmış çeşitli sondaj kuyu noktalarından ve denizden örnekleme noktaları belirlenmiş ve bu noktalar GPS ile kaydedilmiştir. Örnekleme çalışmaları yağışlı ve kurak dönem olma üzere iki dönemde (Temmuz ve Aralık aylarında) gerçekleştirilmiştir. Birinci dönem için inceleme alanında 33 noktadan yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır. İkinci dönem için ise 30 noktadan yeraltısuyu ve 3 noktadan deniz suyu örnekleri alınmıştır. Bu örnekleme için kilit kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Şişeler numunenin alındığı su ile en az iki kez çalkalanmış ve üzerinde hava kalmayacak şekilde tamamen doldurulmuştur.

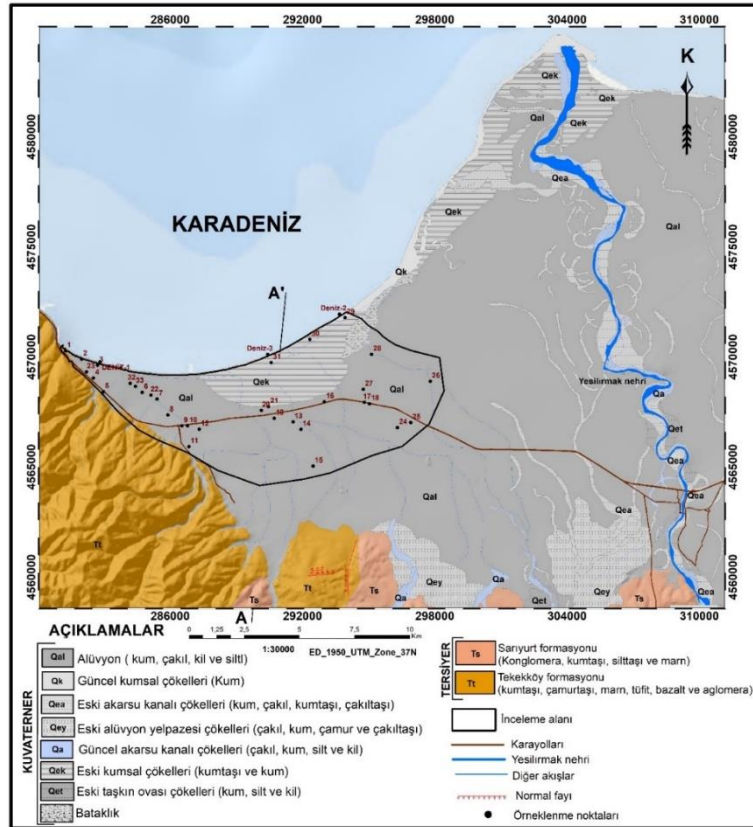
Arazi çalışmalarından sonra alınan su örneklerinin kimyasal analizlerinin yapılması için su örnekleri Devlet Su İşleri VII. Bölge Müdürlüğündeki Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğüne getirilmiştir. Katyon analizleri için getirilen su numunelerine çökelmeyi veya yüzeye tutunmayı önlemek için 0,2 ml kadar saf  $\text{HNO}_3$  eklenmiştir. Suların pH, EC (Elektriksel İletkenlik), TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde) ve TS (Toplam Sertlik), major katyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ), major anyonlar ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ve kirlilik parametreleri ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) DSİ 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünde yapılmıştır. Ağır metal (Ni, Mn, As, Al ve Cr) analizleri ise DSİ İstanbul 14. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde yaptırılmıştır. Sıcaklık, EC, TDS ölçümleri için HQ440D – Multi masa üstü cihazı, pH için elektrot kullanılmıştır.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  analizleri için Spektrofotometri yöntemi,  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{CO}_3^{2-}$  kimyasal analizleri için titrasyon yöntemi kullanılmıştır.



#### 4. Jeoloji ve hidrojeoloji

##### 4. Geology and hydrogeology

Çalışma alanı, Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında yer almaktadır. Bölgede daha önce 1985 yılında MTA tarafından hazırlanan jeoloji haritası incelendiğinde inceleme alanında ve yakın çevresinde yaşlıdan birim olarak Tersiyer yaşlı kumtaşı, çamurtaşı, marn, tüfit, bazalt ve aglomeralardan oluşan Tekkeköy Formasyonu ve konglomera, kumtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşan Sarıyurt Formasyonu yüzeylenme vermektedir. Bölgedeki en genç jeolojik birimler Kuvaterner yaşlı Güncel taşkın ovası çökelleri, Güncel kumsal çökelleri, Güncel akarsu kanalı çökelleri, Eski alüvyon yelpazesi çökelleri, Eski akarsu kanalı çökelleri, Eski kumsal çökelleri ve Eski taşkın ovası çökelleri olarak ayrılanmıştır (Yılmaz ve Tüysüz, 1984) (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası  
Figure 2. Geological map of the study area

Çarşamba Ovasında bulunan ve etkin rol oynayan en önemli akarsu Yeşilirmak nehridir. Bu nehir 36000 km<sup>2</sup> drenaj havzasına sahip olup Sivas'ın Koyulhisar ilçe merkezinin güneydeki Kösedag'dan doğar ve Çarşamba delta ovasını iki parçaya ayırarak Cıva burnundan Karadeniz'e dökülür. Yeşilirmak nehri 5727 hm<sup>3</sup>/yıl ortalama akım değerlerine sahip olup en yüksek taşıdığı su miktarı Nisan ve Mayıs aylarında, en düşük değerleri Ağustos ayında sırasıyla 1109,7 hm<sup>3</sup> ile 148,2 hm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Yeşilirmak'ın Nisan ayı debisi 60,8 m<sup>3</sup>/s ile 589 m<sup>3</sup>/s arasında, Ağustos ayı debisi de 1,18 m<sup>3</sup>/s ile 61,6 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir (DSİ, 1993).

Yeşilirmak sol sahilinde akifer tavan derinliği genel olarak 4 ile 40 m arasında; kalınlığı 1 ile 20 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri, genelde çakıl, killi-kumlu çakıl, silt-kum, killi-kavkılı çakıl ve siltli kumdan oluşmakta ve sahalara göre serbest veya yarı basınçlı özellikler göstermektedir (DSİ, 1993).

Yeşilirmak sağ sahilinde ise akifer derinliği 5 ile 58 m arasında; kalınlığı ise 2 ile 15 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri genellikle çakıl, killi-kumlu çakıl, siltli-kavkılı kum, killi-kavkılı çakıl, siltli kum ve bloklukum-çakıllardan oluşmakta ve sahalara göre basınçlı-yarı basınçlı veya serbest akifer özellikleri göstermektedir. Bu bölgede yer alan Çarşamba-Terme arasında yelpaze şeklinde kuzeye doğru açılan saha,

Yeşilirmak sağ sahilinin basınçlı-yarı basınçlı bölümünü oluşturmakta bunun dışında kalan saha serbest akifer seviyelerinden meydana gelmektedir (DSİ, 1993).

İnceleme alanında bulunan Tekkeköy Formasyonu'nun kumtaşı seviyeleri, altere olmuş bazalt ve aglomera seviyeleri içinde gelişmiş olan birbirleriyle bağlantılı çatlaklar ve kırık sistemleri yeraltısuyu taşımaktadır. Birim içinde bulunan çamurtaşı, marn, masif bazalt ve aglomera gibi birimler yeraltısuyu bulundurmeyen geçirimsiz ortamları oluşturmaktadır. Bu nedenle Tekkeköy Formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (DSİ, 1993).

Sarıyurt Formasyonu'nun üst ve orta kesimlerinde bulunan kumtaşları yeraltısuyu bulunduran ortamları oluştururken marn ve silttaşları geçirimsiz ortamı oluşturulmaktadır. Birimin alt kısımlarda bulunan çakıltaşları ile üzerine çakıltaşlarını birkaç düzey halinde içeren kumtaşları geçirimli birimler olup yeraltısuyu taşıyabilecek bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle Sarıyurt Formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (DSİ, 1993).

İnceleme alanındaki akifere ait hidrolik parametreler (K ve T) DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularında yapılan sabit seviyeli pompaj deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan parametrelere göre akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı (K)  $2,51 \times 10^{-3}$ -  $1,27 \times 10^{-1}$  cm/s ve iletimlilik katsayısı (T)  $5,01 \times 10^{-4}$ - $2,29 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmektedir.

Çarşamba Ovası'ndaki akifer seviyeleri, bölgenin jeolojik birimlerinin litolojik ve hidrodinamik özelliklerinden dolayı yağıştan, yüzeysel akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir. Ovanın jeolojik haritası incelendiğinde; alüvyonun kuzeyden Karadeniz, güneyden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelendiği görülmektedir. Eosen ve Neojen yaşlı jeolojik formasyonlar litolojik ve hidrodinamik özellikleri nedeniyle ovadaki yeraltısuyu rezervini sadece yüzeysel akış yönünden etkilemektedir. Çarşamba akiferine ait hidrojeoloji haritası Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası  
Figure 3. Hydrogeological map of the study area

## 5. Hidrojeokimya

### 5. Hydrogeochemistry

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, izotop hidrojeolojisinin belirlenmesi, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması, suların kirlilik parametrelerinin incelenmesi, suların sulamaya ve içmeye uygunluğunun incelenmesinin belirlenmesi amacı ile 2019 yılında yağışlı ve kurak dönemde yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır. Kurak dönemi temsil eden 2019-Temmuz ayında 33 adet yeraltısuyu örneği ve yağışlı dönemi temsil eden 2019-Aralık ayında 30 adet yeraltısuyu alınarak kimyasal analizler yaptırılmıştır. Kimyasal analizler kapsamında; pH, EC, TDS ve TS, major katyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), major anyonlar ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), kirlilik parametreleri ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), iz element (Ni, Mn, As, Al ve Cr) analizleri ilgili laboratuvarlarda yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ile karşılaştırılmıştır.

### 5.1. Fiziksel parametreler

#### 5.1. Physical parameters

Tablo 1’de Çarşamba akiferi yeraltısuyunun 2019-Temmuz ve 2019-Aralık döneminde yapılan fiziksel parametrelerine ait analiz sonuçları verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde su örneklerinin pH değerlerinin 2019-Temmuz döneminde 6,5-8 arasında ve 2019-Aralık döneminde 6,5-7,9 arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanının kıyı kesimlerine, kuzeyine ve kuzeybatısına doğru giderken pH değerlerinin arttığı görülürken güneyinde ve güneydoğusunda azaldığı görülmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde tüm yeraltısuyu örneklerinin pH değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği’ne göre ise I. ve II. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. Su örneklerinin EC değerleri Temmuz ayında 587 ile 3940  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında; Aralık ayında ise 584 ile 2007  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Temmuz ve Aralık aylarında izlenen yüksek EC değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki sondajlarda izlenmektedir. Analiz sonuçları TDS açısından incelendiğinde, su örneklerinin TDS içeriklerinin 2019-Temmuz ayında 399,16 ile 2679,2 mg/l arasında; 2019-Aralık ayında ise 397,12 ile 1364,76 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) TDS üst sınır değerini 1000 mg/l olarak belirlemiştir. Buna göre; Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu kuyularda ölçülen TDS değerleri Dünya Sağlık Örgütü’nün sınır değerini aştığı görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)’ne göre Temmuz ayında örneklerin TDS açısından I., II. ve III. Sınıf su oldukları belirlenmiştir. Çarşamba akiferinden alınan su örneklerinin Toplam Sertlik değerleri Temmuz ayında 21 ile 85,55 F<sup>o</sup> arasında; Aralık ayında 10,15 ile 81,70 F<sup>o</sup> arasında değişmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) Toplam Sertlik için sınır değeri 50 F<sup>o</sup> olarak belirlemiştir. Buna göre 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 22, 24, 25, 26, 31, 32 ve 33 nolu yeraltısuyu örneklerinin Toplam Sertlik değerleri standartlarda verilen sınır değerin üzerindedir.

**Tablo 1.** Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait fiziksel parametreler

**Table 1.** Physical parameters of the Çarşamba aquifer for the period 2019-July and 2019-December

Kuyu No	Temmuz 2019				Aralık 2019			
	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/l)	TS (°F)	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/l)	TS(°F)
1	7.54	834	567.12	22.9	7.44	840	571.2	34.05
2	7.67	1109	754.12	41.15	6.97	1251	850.68	63.05
3	7.91	745	506.6	30.75	7.33	769	522.9	37.6
4	7.65	1010	686.8	32.15	6.99	1033	702.44	44.15
5	7.47	1342	912.56	43.45	7.16	1418	964.24	54.8
6	7.17	1027	698.36	35.65	6.92	1067	725.56	51
7	7.13	1399	951.32	48.4	6.96	1383	940.44	58.15
8	7.16	1272	864.96	47.2	7.13	1244	845.92	56.3
9	6.93	872	592.96	49.35	6.64	868	590.24	46.75
10	6.96	1183	804.44	70.35	6.55	1436	976.8	81.7
11	6.78	1222	830.96	43.6	6.72	1186	806.48	60.2
12	6.87	811	551.48	37.5	6.98	718	488.24	40.55
13	7.22	3940	2679.2	85.55	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.

**Tablo 1'in devamı**  
**Table 1 continued**

Kuyu No	Temmuz 2019				Aralık 2019			
	pH	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (mg/l)	TS ( $^{\circ}\text{F}$ )	pH	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (mg/l)	TS ( $^{\circ}\text{F}$ )
14	7.23	1737	1181.16	48	7.13	984	669.12	45.5
15	7.37	718	488.24	27.6	7.31	716	486.88	36.1
16	7.22	1418	964.24	31.85	6.89	1568	1066.24	70.1
17	6.73	1290	877.2	51.7	6.74	1265	860.2	68.3
18	6.72	1296	881.28	54.9	6.65	1311	891.48	71.9
19	7.39	1195	812.6	35.75	7.42	899	611.32	34.35
20	7.25	903	614.04	49.45	7.29	1021	694.28	41.4
21	7.35	854	580.72	45.9	7.4	781	531.08	39.45
22	7.27	1900	1292	48.35	7.31	2007	1364.76	53.2
23	7.99	1120	761.6	21	7.93	1128	764.04	10.15
24	6.5	1344	913.92	54.05	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.
25	6.5	1344	913.92	67.3	6.64	1615	1098.2	62.05
26	7.04	1696	1153.28	50.1	7.47	878	597.04	33.05
27	6.86	1078	733.04	42.65	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.
28	7.25	2074	1410.32	40.7	7.1	1947	1323.96	48.4
29	7.56	587	399.16	27.1	7.52	584	397.12	27.95
30	7.52	876	595.68	29.2	7.38	1045	710.6	44.35
31	7.67	710	482.8	47.4	7.49	844	573.92	62.55
32	7.22	1150	782	51.8	6.92	1266	860.88	53.15
33	7.09	1307	888.76	46.75	6.92	1266	860.88	53.15

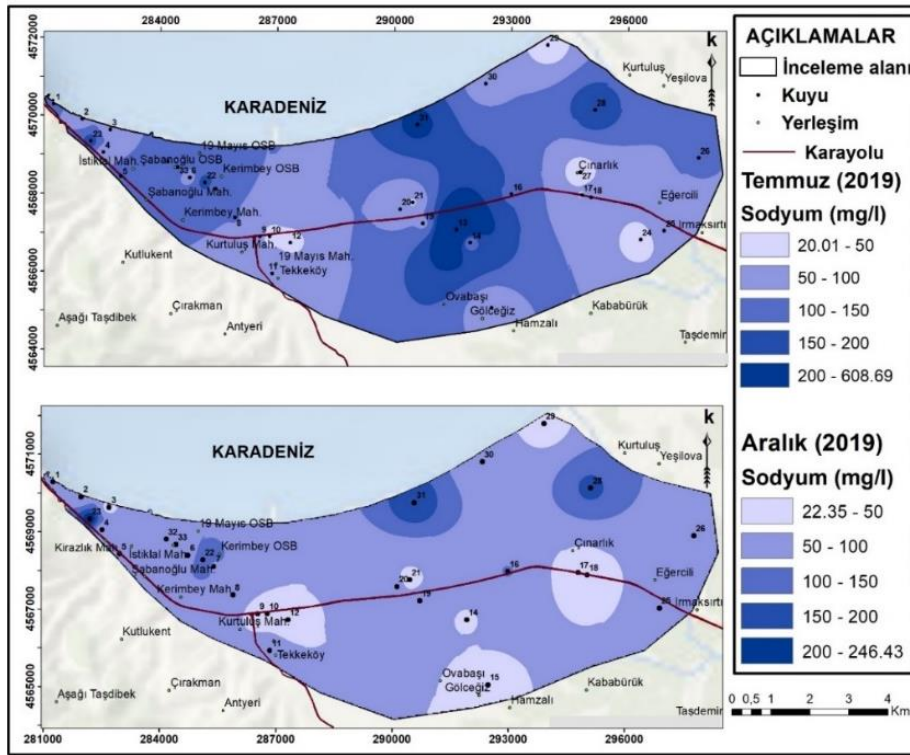
## 5.2. Majör anyon ve katyonlar

### 5.2. Major anion and cations

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları majör katyonlar açısından değerlendirildiğinde; suların  $\text{Na}^+$  içeriklerinin Temmuz (2019) ayında 20,01 ile 609,04 mg/l arasında, Aralık ayında ise 22,31 ile 246,79 mg/l arasında;  $\text{Ca}^{+2}$  içeriklerinin Temmuz ayında 52,91 ile 186,77 mg/l arasında, Aralık ayında ise 21,84 ile 238,68 mg/l arasında;  $\text{Mg}^{2+}$  içeriklerinin Temmuz ayında 16,65 ile 114,21 mg/l arasında, Aralık ayında ise 11,42 ile 81,41 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 2). Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre  $\text{Na}^+$  içerikleri açısından Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının %78,79'u I. ve II. sınıf, %18,18'u III. sınıf ve %3,03'ü IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır. Aralık ayında ise örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıf ve %13,33'ü III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır.  $\text{Na}^+$  iyonu için hazırlanan dağılım haritası incelendiğinde Temmuz ayında bölgenin orta kesimlerinde ve güneydoğusunda yüksek değerler görülürken Aralık ayında bu kısımlarda  $\text{Na}^+$  değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3).

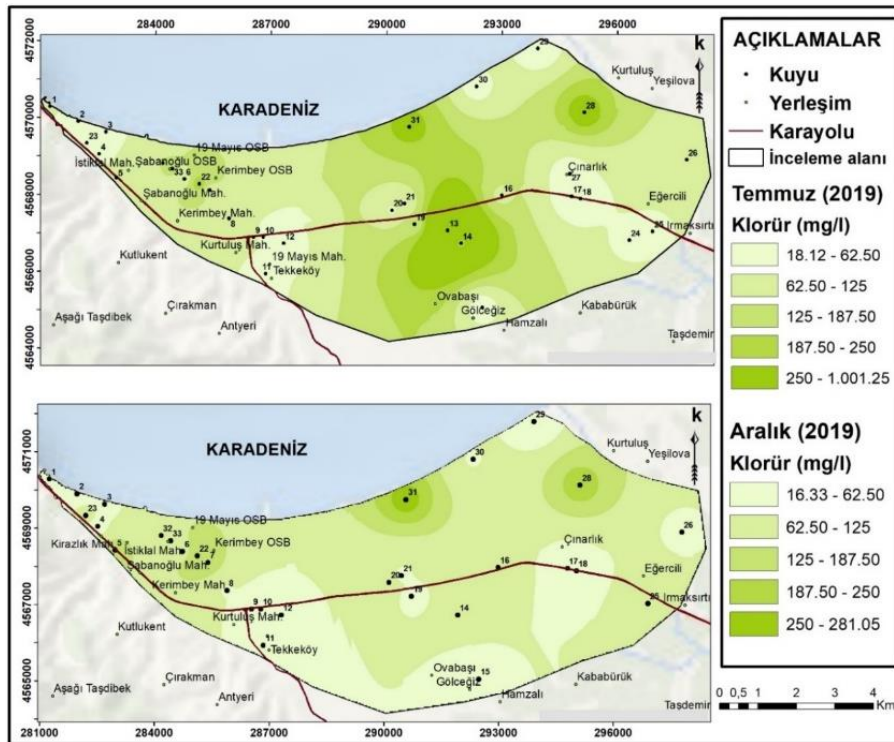
Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları majör anyonlar açısından değerlendirildiğinde; suların  $\text{Cl}^-$  içeriklerinin Temmuz ayında 18,08 ile 1001,82 mg/l arasında, Aralık ayında ise 16,31 ile 281,12 mg/l arasında;  $\text{SO}_4^{2-}$  içeriklerinin Temmuz ayında 19,69 ile 504,80 mg/l arasında, Aralık ayında ise 19,69 ile 382,32 mg/l arasında;  $\text{HCO}_3^-$  içeriklerinin Temmuz ayında 248,92 ile 822,41 mg/l arasında, Aralık ayında ise 272,71 ile 860,24 mg/l arasında değiştiği görülmektedir.

$\text{Cl}^-$  değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ayında inceleme alanının orta kesimlere doğru ve güneydoğusunda yüksek değerleri görülürken Aralık ayında bu kısımlarda  $\text{Cl}^-$  değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4). Temmuz ayında en yüksek  $\text{Cl}^-$  değeri inceleme alanındaki orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda görülüp aynı kuyuda en yüksek  $\text{Na}^+$  değeri de gözlenmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayındaki 13, 28 ve 31 nolu ve Aralık ayındaki 31 nolu su örnekleri hariç tüm yeraltısuyu örneklerinin  $\text{Cl}^-$  değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.** Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

**Figure 4.** Distribution map of  $\text{Na}^+$  ion concentrations of the waters in the study area in July and December



**Şekil 5.** Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{Cl}^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

**Figure 5.** Distribution map of  $\text{Cl}^-$  ion concentrations of the waters in the study area in July and December

Temmuz ayında yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  değerlerine sahip olan 7, 10 ve 13 nolu kuyular ve Aralık ayında yüksek değerlerine sahip olan 10 ve 31 nolu kuyular İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değerini aştığından dolayı standarda uygun değildir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait kimyasal analiz sonuçları  
**Table 2.** Chemical analysis results for the period of 2019-July and 2019-December in the Çarşamba aquifer

Kuyu No	Temmuz-2019						
	Katyonlar (mg/l)				Anyonlar (mg/l)		
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
1	55.51	21.99	104.42	6.24	70.9	289.8	84.05
2	123.25	25.27	73.6	6.24	22.69	305.05	192.12
3	87.17	21.87	63.25	13.26	33.68	284.31	96.06
4	76.35	31.83	74.75	3.51	33.32	427.68	115.27
5	101.8	43.86	109.25	3.12	102.45	386.8	144.09
6	95.79	28.55	80.5	7.41	90.4	405.11	49.95
7	141.68	31.71	130.64	5.46	101.03	366.67	264.17
8	111.82	46.9	101.66	7.8	65.94	542.99	148.89
9	139.08	35.6	69.92	1.95	94.65	436.22	98.46
10	186.77	57.71	27.6	1.95	31.91	496.62	284.34
11	98	46.53	93.38	2.73	41.48	585.7	98.46
12	116.43	20.53	40.94	1.56	24.46	378.26	96.06
13	154.51	114.21	609.04	25.35	1001.82	611.93	504.8
14	114.83	47.02	110.63	12.48	230.43	430.12	126.32
15	78.16	19.68	51.75	2.73	29.42	375.21	50.43
16	65.33	37.79	146.28	9.75	109.9	608.27	55.23
17	149.3	35.11	47.84	6.24	29.78	793.13	19.69
18	167.13	32.08	68.31	6.24	30.13	722.97	70.6
19	96.99	28.07	89.93	5.07	132.94	397.18	132.08
20	127.65	42.77	64.4	3.9	56.72	411.82	134.48
21	133.27	30.74	44.85	3.9	56.37	377.65	124.88
22	130.66	38.27	175.03	14.43	235.03	415.48	120.08
23	52.91	18.95	176.41	3.12	54.95	513.09	103.74
24	167.53	29.77	20.01	1.95	49.98	639.38	76.37
25	180.56	54.07	89.01	1.95	49.98	822.41	124.4
26	91.38	66.34	108.79	18.72	91.46	733.95	118.15
27	126.45	26.97	23.69	5.07	27.65	464.29	105.19
28	93.59	42.16	199.87	14.04	299.2	502.72	150.33
29	81.16	16.65	23.23	3.12	18.08	248.92	82.13
30	64.33	31.95	78.43	11.31	41.48	310.54	72.53
31	132.46	34.87	217.12	8.97	275.09	385.58	175.31
32	133.67	44.83	103.27	6.63	125.85	485.03	169.07
33	132.06	33.53	114.77	9.75	132.94	396.57	171.95

Tablo 2'nin devamı

Table 2 continued

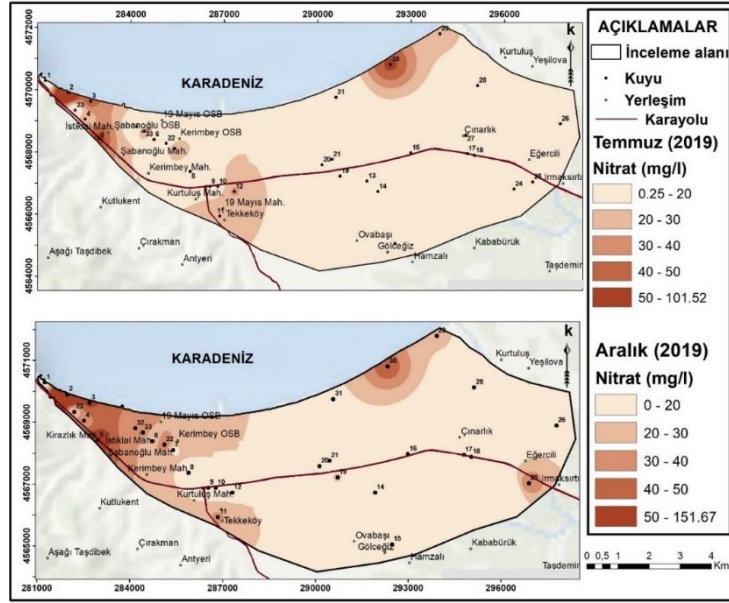
Kuyu No	Aralık-2019						
	Katyonlar (mg/l)				Anyonlar (mg/l)		
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
1	81.96	33.05	74.75	8.19	56.72	388.63	48.03
2	187.37	39.61	48.07	10.14	26.94	375.82	190.2
3	89.18	37.3	28.75	23.4	30.49	272.71	93.66
4	101.8	45.56	67.16	4.68	40.41	321.52	67.24
5	143.09	46.41	99.13	3.9	161.3	364.84	113.83
6	135.87	41.55	51.98	11.31	92.88	409.99	76.37
7	178.96	32.81	93.61	10.53	144.64	355.69	237.27
8	119.44	64.4	77.28	9.75	58.85	541.16	136.89
9	134.07	32.32	33.12	17.16	30.84	435	61
10	238.68	53.82	38.64	1.95	29.42	527.74	382.32
11	132.66	65.85	78.43	3.51	51.76	568	86.93
12	118.44	26.73	22.31	1.95	22.33	363.01	68.68
14	138.4	26.48	46.92	7.02	79.05	413.64	49
15	99.4	27.46	33.35	3.51	30.49	367.28	38.9
16	146.69	81.41	101.43	9.75	83.66	860.24	19.69
17	199.4	45.08	32.43	8.58	36.16	771.78	19.69
18	217.03	43.13	28.52	7.8	31.55	817.53	19.69
19	78.36	35.96	62.1	2.73	47.15	341.66	51.87
20	121.24	27.09	63.48	5.85	105.29	358.74	48.03
21	117.84	24.42	36.8	5.07	51.76	342.88	64.36
22	139.88	44.47	155.94	20.28	199.23	382.53	223.34
23	21.84	11.42	246.79	3.51	84.37	483.81	74.45
25	166.53	49.82	55.89	5.46	101.39	781.54	53.31
26	53.91	47.63	95.45	16.77	52.82	463.68	21.13
28	115.23	47.75	162.15	11.7	221.56	533.84	91.74
29	75.55	22.11	23	6.24	16.31	278.21	33.14
30	95.19	50.06	72.45	19.5	59.91	428.9	72.53
31	170.74	48.48	197.34	22.62	281.12	447.81	300.19
32	159.72	32.32	100.28	14.82	124.78	414.26	123.44
33	159.72	32.32	100.28	14.82	124.78	414.26	123.44

### 5.3. Kirlilik parametreleri

#### 5.3. Pollution parameters

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları kirlilik açısından değerlendirildiğinde; suların NO<sub>3</sub><sup>-</sup> içeriklerinin Temmuz ayında 0,248 ile 101,68 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 151,90 mg/l arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3). Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları nitrat için üst sınır değerini 50 mg/l olarak belirlemiştir. Temmuz ayında 2, 5 ve 30 nolu kuyularda ve Aralık ayında 2, 3 ve 5 nolu kuyularda ölçülen nitrat değeri sınır değeri aştığından dolayı standartlara uygun değildir.

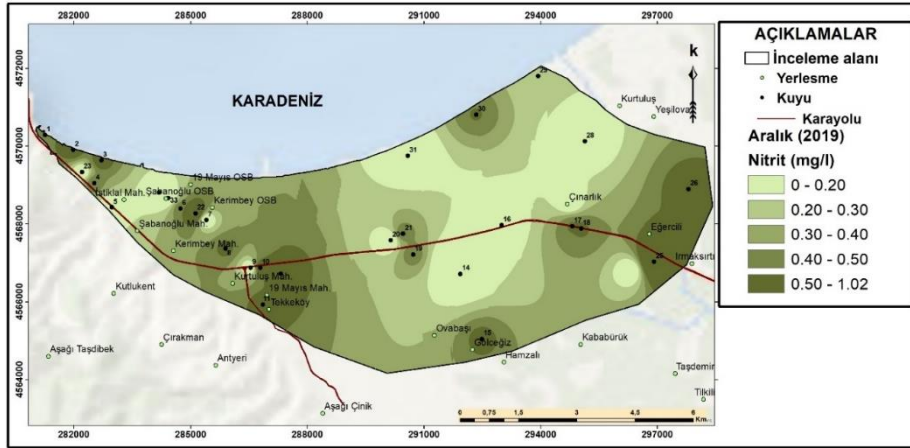
Nitrat dağılım haritası incelendiğinde, inceleme alanının batısında ve güneydoğusunda bulunan kuyuların yüksek nitrat değerleri görülürken orta kısmında, güneyinde ve doğusunda bulunan çoğu kuyularda düşük değerler görülmektedir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{NO}_3^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

**Figure 6.** Distribution map of  $\text{NO}_3^-$  ion concentrations of the waters in the study area in July and December

İnceleme alanında  $\text{NO}_2^-$  içeriklerinin Temmuz ayında 0,05 mg/l'den küçük; Aralık ayında ise 0 ile 1,02 mg/l arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayında örneklenen tüm yeraltısularının nitrit değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise sadece örneklerin %43,33'ü uygun sınırlar içerisindedir. Aralık ayına ait nitrit iyonlarının dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının büyük kısımlarda bulunan kuyularda yüksek nitrit değerleri görülmektedir (Şekil 7). En yüksek nitrit değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda gözlenmektedir.



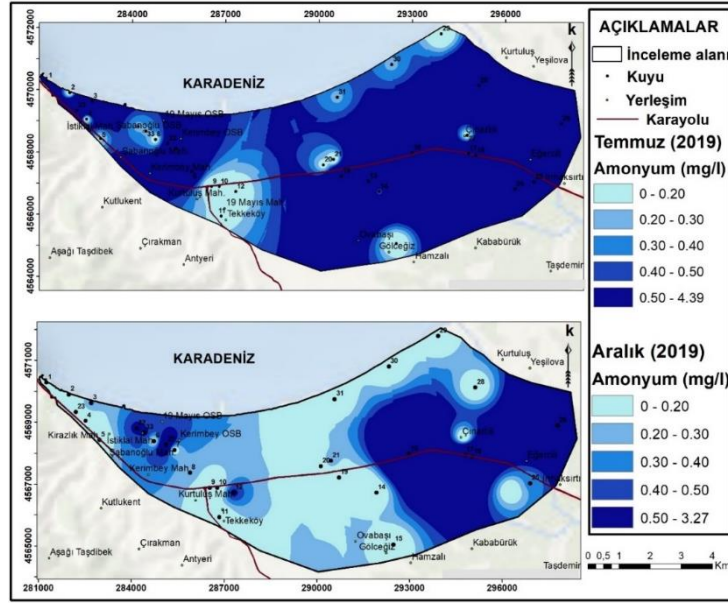
**Şekil 7.** Çalışma alanındaki suların Aralık aylarına ait  $\text{NO}_2^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

**Figure 7.** Distribution map of  $\text{NO}_2^-$  ion concentrations of the waters in the study area in July and December

İnceleme alanında  $\text{NH}_4^+$  içerikleri Temmuz ayında 0 ile 4,39 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 3,27 mg/l arasındadır (Tablo 3). Temmuz ve Aralık aylarında amonyum değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında mevsimsel olarak belirgin değişim gözlenmektedir (Şekil 8). En yüksek  $\text{NH}_4^+$  değeri Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanının doğusunda bulunan 26 ve 16 nolu kuyularda izlenmektedir. İçme suyundaki nitrat miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 1,5 mg/l olarak belirlerken TS-266 bu sınırı daha da düşürerek 0,5 mg/l ile sınırlandırmıştır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Temmuz ayında incelenen suların %54,55'i; Aralık ayında ise %73,33'ü uygun sınır içerisinde olduğu göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre ise değerlendirildiğinde Temmuz ayında incelenen örneklerin



%72,73'ü amonyum değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Aralık ayında sadece örneklerin %20'sinin uygun sınırlar içerisinde olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 8.** Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{NH}_4^+$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

**Figure 8.** Distribution map of  $\text{NH}_4^+$  ion concentrations of the waters in the study area in July and December

**Tablo 3.** Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait kirlilik parametreleri

**Table 3.** Pollution parameters in the Çarşamba aquifer for the period 2019-July and 2019-December

Kuyu No	Temmuz 2019			Aralık 2019		
	$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NO}_2^-$ (mg/l)	$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NO}_2^-$ (mg/l)
1	1.07	0.25	< 0.05	0	13.02	0.49
2	0.08	101.68	< 0.05	0	151.90	0.66
3	2.01	46.62	< 0.05	0.32	52.02	0.64
4	0.09	21.82	< 0.05	0.05	31.99	0.51
5	0.17	54.75	< 0.05	0	62	0
6	0.09	14.14	< 0.05	0.12	17.98	0.50
7	1.96	29.95	< 0.05	0.10	16	0
8	0.98	14.69	< 0.05	0.24	13.89	0.55
9	0	18.91	< 0.05	0	18.04	0
10	0.09	15.44	< 0.05	0.05	13.21	0.67
11	0.14	25.17	< 0.05	0	31.99	0.56
12	0	31.43	< 0.05	0.54	18.41	0.67
13	2.08	0.25	< 0.05			
14	0.45	< 0.248	< 0.05	0.49	23.56	0.55
15	0	< 0.248	< 0.05	0	19.41	0.55
16	1.38	< 0.248	< 0.05	3.27	13.21	0
17	0.84	< 0.248	< 0.05	1.14	0	0.52
18	2.04	< 0.248	< 0.05	1.27	12.90	0.54
19	2.36	< 0.248	< 0.05	0	21.02	0.50
20	0.12	16.74	< 0.05	0	19.53	0
21	0	13.95	< 0.05	0.28	13.52	0.52
22	0.56	< 0.248	< 0.05	1.14	43.03	0.94
23	2.76	< 0.248	< 0.05	0	16	0
24	2.11	< 0.248	< 0.05			
25	2.11	< 0.248	< 0.05	0.31	39	1.02

Tablo 3'ün devamı

Table 3 continued

Kuyu No	Temmuz 2019			Aralık 2019		
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
26	4.39	< 0.248	< 0.05	2.73	17.42	0.59
27	0.12	14.14	< 0.05			
28	1.19	< 0.248	< 0.05	< 0.05	< 0.248	< 0.05
29	0	24.06	< 0.05	0	21.39	0.23
30	0.28	52.20	< 0.05	0	46	0.51
31	0.28	< 0.248	< 0.05	0	18.97	0
32	0.26	< 0.248	< 0.05	0.54	33.98	0
33	0.28	30.19	< 0.05	0.54	33.976	0

#### 5.4. İz elementler

##### 5.4. Trace elements

Çarşamba akiferi yeraltısuyunda bulunan iz elementlerin durumunu belirlemek amacıyla Temmuz-2019'da örnekleme ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda yeraltısuyu örneklerinde Ni, Mn, As, Al ve Cr analizleri yaptırılmıştır. İz element analizlerinden elde edilen sonuçlar Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4).

İnceleme alanında yeraltısularının Ni<sup>2+</sup> değerleri 2,23 ile 63,61 µg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları Ni<sup>2+</sup> üst sınır değerini 20 µg/l olarak belirlemiştir. Suların yüksek Ni<sup>2+</sup> konsantrasyonu inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 24 ve 25 nolu kuyularda 63,61 µg/l ve kuzeydoğusunda deniz kıyısında Yalı mahallesinde bulunan 29 nolu kuyuda 33,94 µg/l olarak ölçülmüştür. Bu yüksek Ni<sup>2+</sup> değerlerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanında yeraltısularının Mn<sup>2+</sup> değerleri 2,85 ile 1469,68 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki Mn<sup>2+</sup> miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 100 µg/l olarak belirlerken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) bu sınırı daha düşürerek 50 µg/l ile sınırlandırmıştır. En yüksek Mn<sup>2+</sup> değerleri inceleme alanının güneybatısında bulunan 10 nolu kuyuda 1469,68 µg/l, güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda 1446,58 µg/l ve doğusunda bulunan 18 nolu kuyuda 1036,13 µg/l olarak ölçülmüştür. Gözlenen yüksek Mn<sup>2+</sup> konsantrasyonu inceleme alanında bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre 2, 5, 7, 24, 30 ve 33 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin Mn değeri sınır değeri aştığından dolayı standarda uygun olmadığı belirlenmiştir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının As konsantrasyonu 0 ile 113,61 µg/l arasında değişmektedir. Dünya Sağlık Örgütü As için sınır değeri 10 µg/l olarak belirlemiştir. Buna göre 24, 25, 26 ve 28 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin As değerlerinin standartlar açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanında gözlenen yüksek As değerlerinin sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek arsenik konsantrasyonu fosil yakıtların yanmasından ve tarımsal arazilerde kullanılan pestisitlerden de kaynaklanabilmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Al<sup>3+</sup> değerleri 38,94 ile 11014,83 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki alüminyum miktarının limit değeri Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 tarafından 200 µg/l olarak belirlenmiştir. Buna göre örneklenen yeraltısuyu örneklerinin %54,55'inin alüminyum konsantrasyonu açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının Cr<sup>3+</sup> konsantrasyonu 0 ile 286,54 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki krom miktarının limit değeri TS-266 tarafından 50 µg/l olarak belirlenmiştir. En yüksek Cr<sup>3+</sup> değerleri inceleme alanının batısında tıbbi alet fabrikasında bulunan 33 nolu kuyuda 286,54 µg/l olarak ölçülmüştür.

**Tablo 4.** Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz dönemine ait iz element analiz sonuçları  
**Table 4.** Trace element analysis results of the Çarşamba aquifer for the 2019-July period

Kuyu No	Ni <sup>+2</sup>	Mn <sup>+2</sup>	As	Al <sup>+3</sup>	Cr <sup>+3</sup>
1	8.07	325.21	0.85	59.83	0
2	4.25	2.85	0	38.94	0
3	2.79	87.37	4.32	45.25	0
4	3.4	83.41	0.73	605.5	0
5	5.99	20.15	0	616.14	0
6	4.38	181.78	2.22	46.81	0
7	4.96	41.99	2.16	85.89	0
8	3.61	256.17	2.05	50	0
9	3.72	487.38	0	44.43	0
10	13.91	1469.68	0.9	2286.44	3.84
11	5.23	323.26	0	1920.62	2.82
12	3.25	196.78	0	48.01	0
13	6.68	454.74	6.05	136.55	0
14	11.3	451.91	4.27	2005.41	6.17
15	2.23	115.04	0	55.99	0
16	2.59	332.23	8.6	51.68	0
17	4.62	639.37	0.36	47.74	0
18	10.53	1036.13	3.5	631.15	1.92
19	6.35	396.41	2.26	864.06	1.52
20	6.86	181.21	0	509.81	0.4
21	7.62	79.09	2.68	300.88	0
22	7.74	488.9	6.67	296.54	0
23	4.76	92.03	1.3	313.02	0
24	63.61	27.8	113.61	44.93	0
25	63.61	1446.58	22.5	11014.83	37.19
26	7.53	255.55	23.56	676.72	0.68
27	10.42	761.01	0	927.36	3.21
28	27.6	538.82	78.7	7098.83	17.85
29	33.94	202.81	1.54	7360.66	22.39
30	2.83	34.86	2.78	79.42	0
31	4.23	299.85	9.6	160.17	0
32	8.59	237.55	4.45	332.64	0
33	20.88	7.46	3.76	587.28	286.54
TS-266	20	50		200	50
WHO	20	100	10	200	

Çalışma alanında örneklenen yeraltısularının kirlilik seviyelerini belirlemek için ağır metal kirliliği indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanmıştır. Ağır metal kirliliği indeksi ve ağır metal değerlendirme indeksi yöntemleri, yüzey ve yeraltısularının ağır metal içeriklerine göre kalitesini değerlendirmek için kullanılan en etkili yöntemlerden biridir (Mohan vd., 1996). Bu çalışmada ağır metal kirliliği ve değerlendirme indekslerinin hesaplanmasında As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, B, Mo, Se ve Al elementleri kullanılmıştır.

Ağır metal kirliliği indeksi (HPI) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Burada  $W_i$  her bir metalin birim ağırlığını,  $n$  toplam metal sayısını ve  $Q_i$  her bir metalin alt indeksini temsil etmektedir.

Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir:

$$HEI = \sum_{i=1}^1 \frac{H_c}{H_{mac}} \quad (2)$$

Burada  $H_c$  her metal için ölçülen konsantrasyon değeri ve  $H_{mac}$  her metal için sulara kabul edebilen maksimum değeri temsil etmektedir. Bu çalışmada her metal için sulara kabul edilen maksimum değerler İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarında tanımlanan değerler kullanılmıştır.

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Ağır metal kirliliği indeksi (HPI) ve Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanarak Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin HPI ve HEI değerleri  
*Table 5. HPI and HEI values of groundwater samples sampled in July*

Kuyu No	$\sum W_i$	$\sum W_i Q_i$	HPI	HEI
1	0.41	16.35	39.64	7.35
2	0.41	1.29	3.12	0.56
3	0.41	8.67	21.01	2.59
4	0.41	6.46	15.65	4.97
5	0.41	5.97	14.46	4.02
6	0.41	11.37	27.56	4.41
7	0.41	6.12	14.83	1.86
8	0.41	13.45	32.61	5.86
9	0.41	20.55	49.81	10.18
10	0.41	70.78	171.56	41.92
11	0.41	20.37	49.36	16.61
12	0.41	9.36	22.68	4.40
13	0.41	36.56	88.62	11.80
14	0.41	33.45	81.07	20.53
15	0.41	5.34	12.94	2.77
16	0.41	24.20	58.67	8.09
17	0.41	27.22	65.98	13.37
18	0.41	49.24	119,35	24,82
19	0.41	24.27	58,82	13,14
20	0.41	10.62	25,75	6,63
21	0.41	9.12	22,12	3,86
22	0.41	31.17	75,55	12,66
23	0.41	7.63	18,50	3,93
24	0.41	134.12	325,09	15,73
25	0.41	129.41	313,68	90,81
26	0.41	39.31	95,29	11,59
27	0.41	35.50	86,06	20,56
28	0.41	130.19	315,59	56,44
29	0.41	38.87	94,23	43,40
30	0.41	5.10	12,37	1,54
31	0.41	23.45	56,84	8,05
32	0.41	17.61	42,69	7,46
33	0.41	22.25	53,94	10,35
En düşük değer			3.12	0.56
En yüksek değer			325.09	90.81
Ortalama değer			75.32	14.92

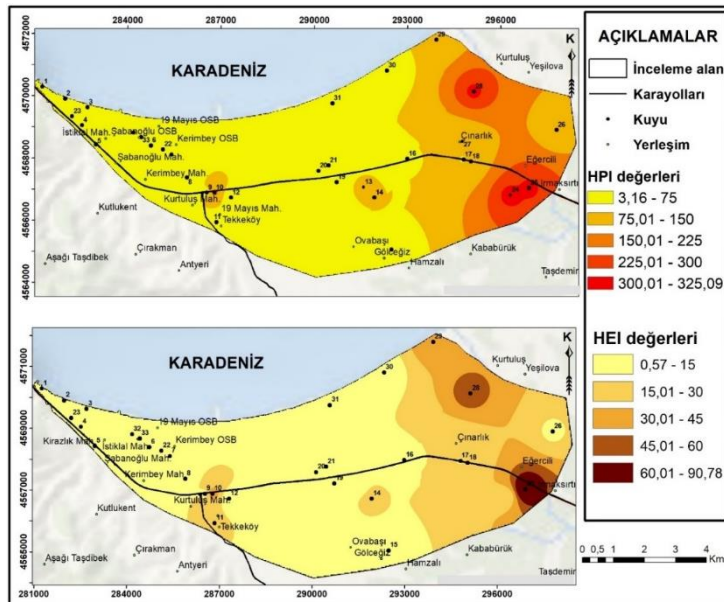
Tablo 5 incelendiğinde örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağır metal kirlilik indeksi (HPI) değerlerinin 3,12 ve 325,09 arasında değiştiği görülmektedir. Suların en kritik HPI değeri 100 olarak kabul edilmektedir. Bu kritik değere göre suların HPI değerleri değerlendirildiğinde inceleme alanında örneklenen suların yaklaşık %85'inin kritik değerinin altında olduğu görülmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin ortalama HEI ve HPI değerlerin katları kullanılarak yüksek, orta ve düşük kirlilik seviyeleri olmak üzere 3 sınıfa ayrılabilir (Edet ve Offiong, 2002; Prasanna vd., 2012). Böylece örneklerin ortalama HPI değerine göre oluşturulan 3 grup Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde örneklerin %66,66'sı, %21,22'si ve 12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir.

**Tablo 6.** Yeraltısuyu örneklerinin kirlilik seviyelerine göre sınıflandırılması

**Table 6.** Classification of groundwater samples according to pollution levels

Kirlilik indeksleri	Sınıf	Kirlilik seviyesi	Örnek sayısı	Örneklerin oranı (%)
HPI	< 75	Düşük	22	66.66
	75 - 150	Orta	7	21.22
	> 150	Yüksek	4	12.12
HEI	< 15	Düşük	24	72.73
	15 - 30	Orta	5	15.15
	> 30	Yüksek	4	12.12

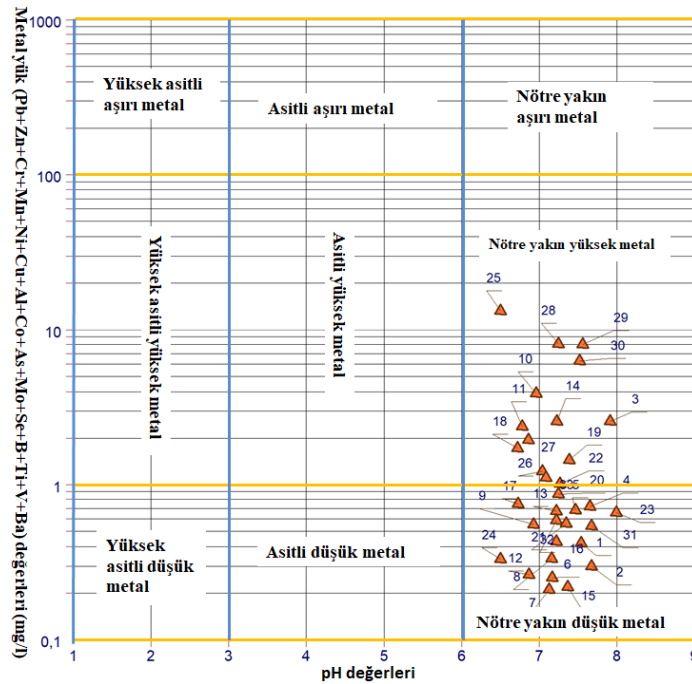
Yeraltısuyu örneklerinin hesaplanan HPI ve HEI değerlerine göre dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 9). Ağır metal indeks değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yüksek HPI değerleri görülürken batısında ve orta kısmında düşük değerler izlenmektedir (Şekil 9). Suların değerlendirme indeks değerleri ise 0,51 ile 90,81 arasında değişmektedir. En yüksek HEI değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük değer ise inceleme alanının güneybatısında bulunan 2 nolu kuyuda görülmektedir. Tablo 5 incelendiğinde örneklerin %72,73'ü, %15,15'i ve %12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir. Ağır metal değerlendirme indeksinin dağılım haritasına da bakıldığında yüksek HEI değerlerinin inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Çalışma alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının HPI ve HEI değerlerinin dağılım haritası  
**Figure 9.** Distribution map of HPI and HEI values of groundwater sampled in July in the study area

İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin ağır metal içeriklerine göre sınıflandırılması için Ficklin-Caboi diyagramı kullanılmıştır. Bu yöntem ilk olarak Ficklin (1992) daha sonra Caboi (1999) tarafından geliştirilmiştir. Bu diyagram suların pH değerleri dikey ekseninde ve metal yük değerleri yatay ekseninde yerleştirilerek oluşturmaktadır. Temmuz ayında analizi yapılan yeraltısuyu örnekleri Ficklin-Caboi diyagramı

üzerine yerleştirildiğinde, örneklerin %45,45'i ve %54,55'inin sırasıyla “nötre yakın yüksek metal” ve “nötre yakın düşük metal” sınıflarına düştüğü görülmektedir (Şekil 10).



**Şekil 10.** Çalışma alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının Ficklin-Caboi diyagramında gösterimi  
**Figure 10.** Ficklin-Caboi diagram of groundwater sampled in July in the study area

## 6. Sonuçlar ve öneriler

### 6. Conclusions and recommendations

Bu çalışmada Çarşamba akiferi yeraltısuyunun fizikokimyasal özellikleri belirlenerek potansiyel deniz suyu girişimi araştırılmış ve kirlilik açısından değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin orta Karadeniz bölümünde Çarşamba Ovası'nda Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu bölge Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında bulunmaktadır. Çarşamba Ovası'ndaki alüvyonun kuzeyinden Karadeniz, güneyinden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelenmektedir. Bu ovada yer alan litolojik birimlerine göre sadece Kuvaterner yaşlı alüvyonlar iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Çarşamba ovası'nın jeolojik birimlerin litolojik ve petrografik özellikleri nedeniyle yağıştan, yüzey akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir.

Analiz sonuçları pH değerleri açısından incelendiğinde, Temmuz ve Aralık ayları için pH değerlerinin Çarşamba akiferinin kıyı kesimlerinde yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Bu yüksek pH değerleri, kıyı kesimlere doğru sıcaklık değerlerinin yükselmesi ve yeraltısuyu seviyelerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Temmuz ayında ölçülen düşük pH değerleri çoğunlukla bölgenin güneydoğusunda ve güneyinde görülmektedir.

Çalışma alanında Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu kuyularda ölçülen yüksek EC ve TDS değerleri bu kuyulardan elde edilen suların Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre uygun olmadığını göstermektedir. Yüksek EC ve TDS değerleri, sanayi tesisleri ve tarım arazilerinde bulunan kuyularda görülmekte ve bu kuyularda yeraltısuyunun aşırı çekiminin yapılması nedeniyle denizi suyu girişimi olduğu düşünülmektedir.

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> ve Na<sup>+</sup> içeriklerinin İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarında verilen sınır değerlerin üzerinde olup içme ve kullanım için uygun değildir. İnceleme alanındaki yüksek Cl<sup>-</sup> ve Na<sup>+</sup> değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda gözlenmektedir. İnceleme alanındaki yüksek Cl<sup>-</sup> değerleri Na<sup>+</sup> değerleri gibi sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda

gözlenmektedir. Bu kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişi olduğu işaret etmektedir. Yüksek NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> değerleri Çarşamba ovasındaki çok elverişli olan alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlere bağlı olarak yüksek olmaktadır. Ayrıca yüksek nitrat konsantrasyonu endüstriyel atıklarından ve yağım sularından da kaynaklanabilmektedir.

Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Ni, Mn, As, Al ve Cr içeriklerinin bazı kuyu sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) standartlarına uygun olmadığı belirlenmiştir. Yüksek iz element içeriklerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden, tarımsal faaliyetlerden ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma alanında deniz suyu girişi etkisinde olduğu düşünülen ve kıyıya yakın konumda bulunan kuyularda yeraltısuyu çekimi kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca yüksek nitrat, nitrit ve amonyum değerleri nedeniyle, tarımsal faaliyetlerde gübre kullanımında sınırlamalar getirilmeli ve uygun sulama teknikleri yapılmalıdır. İz elementler açısından riskli olan bölgede sanayi tesisleri ve tarımsal faaliyetler ile oluşan noktasal ve yayılı kirliliği önlemeye yönelik programların oluşturularak hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

### **Teşekkür / Katkı belirtme**

#### *Acknowledgement*

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2019-8168 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına saha ve laboratuvar çalışmaları konusunda yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederler. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederler.

### **Kaynaklar**

#### *References*


- Al Farrah, N., Martens, K. & Walraevens, K. (2011). *Hydrochemistry of the upper miocene-pliocene-quaternary aquifer complex of Jifarah plain, NW-Libya*. Geologica Belgica
- Barlow, P. M. (2003). *Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast*, US Geological Survey, No. 1261, Virginia
- Caboi, R., Cidu, R., Fanfani, L., Lattanzi, P. & Zuddas, P. (1999). Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned pb-zn montevecchio-ingurtosu mining district, Sardinia, Italy, *Chronicle of mineral research and exploration*, 534, 21–28.
- Devlet Su İşleri. (1993). *Çarşamba Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu*
- Edet, A. E. ve Offiong, O. E. (2002). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria), *Geology Journal*, 57,4, 295-304.
- Fırat Ersoy, A., Ayyıldız Turan, N., Yıldız Özgül, H. (2020). Kızılırmak delta kıyı alanındaki tuzlanma sürecinin Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemi ile değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10,4. 949-960
- Ficklin, WH., Plumlee, GS., Smith, KS. & McHugh, JB. (1992). *Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas*. International symposium on water-rock interaction (ss. 381–384). Netherlands.
- Hooda, P.S. & Alloway, B. J. (1998). Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils, *Geoderma*, 84, 1-3, 121-134.
- Hopkins, B.G., Horneck, D. A., Stevens, R. G., Ellsworth, J. W. & Sullivan, D. M. (2007). Managing irrigation water quality for crop production in the Pacific Northwest, s 24.

- Maman Hassan, A. (2021). *Çarşamba akiferi yeraltı suyunun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri araştırması* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü].
- Mohan, S. V., Nithila, P. & Reddy, S. J. (1996). Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 31,2, 283-289.
- Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R. & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia, *Environmental Earth Sciences*, 67,7, 1987-2001.
- SKKY. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılması. Ankara.
- TSE 266. (2005). Türk içme suyu standardı. Ankara
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality, Fourth Edition
- Yılmaz, Y., & Tüysüz, O. (1984). *Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi (Ilgaz-Kargı masiflerinin etüdü)*, MTA Raporu No 7838



## Eskişehir havzasında H/V ve SPAC yöntemleriyle sismik analiz ve derinlik profili çalışmaları

### *Seismic Analysis and Depth Profile Studies Using H/V and SPAC Methods in the Eskişehir Basin*

Mehmet Safa ARSLAN\*<sup>1</sup> , Asım Oğuz ÖZEL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34500, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 17.04.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 27.06.2024

#### Öz

0.1 saniyeden 10 saniyeye kadar olan geniş bir periyot aralığındaki yer hareketlerinin özelliklerini belirlemek, sismik risk değerlendirmesi için kritik önem taşır. Eskişehir ili, yaklaşık bir milyon nüfusu ve gelişmekte olan sanayisi ile, sismik aktivitesi nispeten düşük olmasına rağmen, hızlı yapılaşma sebebiyle yüksek sismik riske sahip bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Sismik hızların belirlenmesi ve anakaya derinliğinin tespit edilmesi, yapılaşma ve deprem risklerinin azaltılması için önem taşımaktadır. Yapılan çalışma, bu bilgilerin elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma, 15 farklı noktada, 2017 ve 2018 yıllarında toplamda gerçekleştirilen 7 ve 8 ağ ölçümleri ile desteklenmiştir. Mikrotremor ölçümleri, tek-istasyon Yatay/Düşey spektral oran (H/V) metodu ve ağ ölçümleri ile SPAC yöntemi kullanılarak, 600-700 m derinliklere kadar Vs yapısının belirlenmesine olanak tanımıştır. Elde edilen veriler, ters çözüm yöntemleri kullanılarak yeraltı derinlik modellemesi oluşturmak için kullanılmıştır. Eskişehir ovasının ortasında, küçük ve büyük ağ/dizilim ölçümleri ile sığ kısımlar için 100-250 m derinliklerde ve 500-800 m/sn hızlarda mühendislik anakayası tespit edilmiştir. Batıda 1100 m/sn'den doğuda 1800 m/sn'ye kadar değişen S dalgası hızları ve ortalama 600-800 m derinlikte sismolojik anakaya belirlenmiştir. Mikrotremor çalışmaları, batıdan doğuya ve güneyden kuzeye derinleşen ve en derin noktada 800 m'ye ulaşan anakaya derinliklerini göstermektedir. Yüzey dalgaları dispersiyon eğrilerinden elde edilen sismolojik anakayanın Vs hızı 1200-1800 m/sn arasında değişmektedir. Sonuç olarak, Eskişehir havzası ve benzeri alanlarda, detaylı jeolojik ve jeofiziksel analizlerin sismik risk değerlendirmeleri ve tehlike analizleri için büyük öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Havza etkilerinin bir başka deyişle yerel zemin etkilerinin, yani yer hareketi büyütme etkilerinin, sismik hasar analizlerindeki kritik rolü bu çalışma ile bir kez daha vurgulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Anakaya, Eskişehir, H/V yöntemi, Mikrotremor, S dalga hızı, SPAC yöntemi

#### Abstract

Determining the characteristics of ground motions in a wide period range of 0.1 to 10 seconds is crucial for seismic risk assessment. Eskişehir province, with a population of approximately one million and a developing industry is a high seismic risk region despite its relatively low seismic activity due to rapid urbanization. Determining seismic velocities and bedrock depths is important for reducing urbanization and earthquake risks. This study was conducted to obtain this information. The research, supported by 7 and 8 network measurements performed at 15 different points in total in 2017 and 2018, allowed the determination of the Vs structure up to depths of 600-700 m using microtremor measurements with the single-station Horizontal/Vertical spectral ratio (H/V) method and network measurements with the SPAC (Spatial Autocorrelation) method. The data obtained were used to create a subsurface depth model using inverse solution methods. Engineering bedrock was detected at depths of 100-250 m and velocities of 500-800 m/s for shallow sections using small and large network/array measurements in the middle of the Eskişehir plain. S-wave velocities ranging from 1100 m/s in the west to 1800 m/s in the east and seismological bedrock at an average depth of 600-800 m were determined. Microtremor studies show bedrock depths that deepen from west to east and south to north, reaching 800 m at the deepest point. The Vs velocity of the seismological bedrock obtained from surface wave dispersion curves varies between 1200-1800 m/s. In conclusion, detailed geological and geophysical analyses are of vital importance for seismic risk assessments and hazard analyses in the Eskişehir basin and similar areas. The critical role of local ground effects, i.e., ground motion amplifications, in seismic damage analysis was once again emphasized by this study.

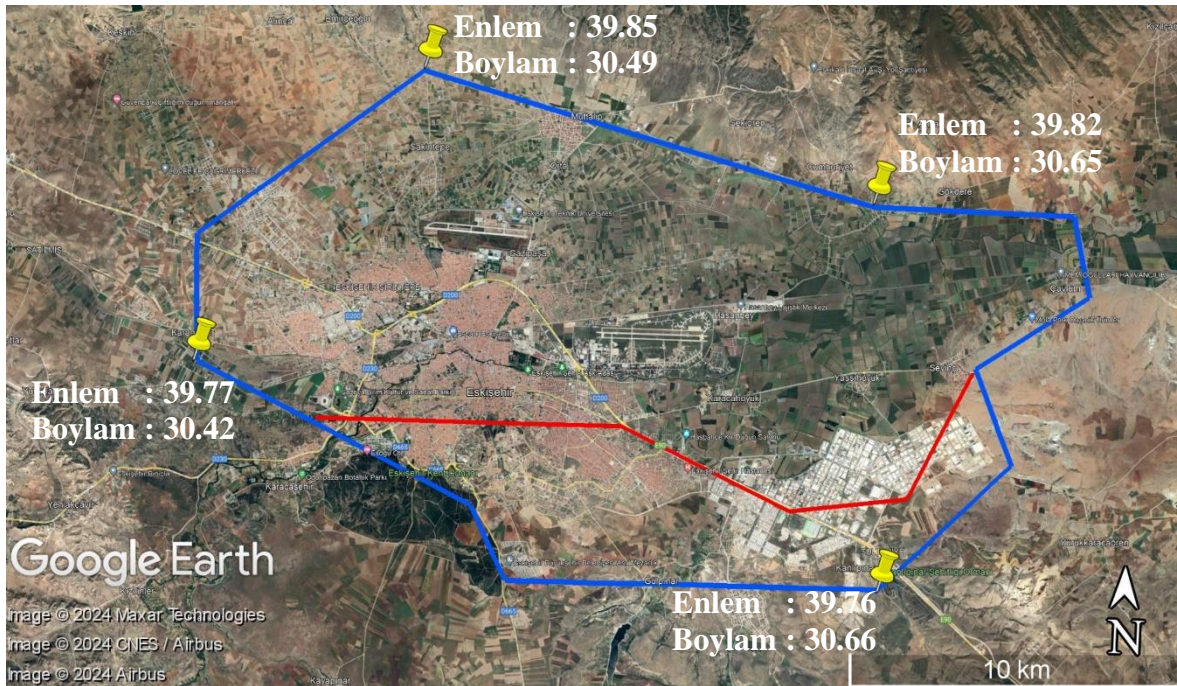
**Keywords:** Bedrock, Eskişehir, H/V method, Microtremor, S wave velocity, SPAC method

\*Mehmet Safa ARSLAN; mehmetafaarslan@iuc.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Nüfus artışıyla birlikte hızla gelişen yapılaşma ve yerleşim kolaylıkları nedeniyle havza bölgelerinde çeşitli yüksekliklerdeki binaların ve bazı kritik yapıların (örneğin, petrol ve doğal gaz tankları) sayısı hızla artmaktadır. Bu yapıların, yakın veya uzak depremler sırasında meydana gelebilecek uzun periyot dalgalarına karşı nasıl davranacaklarının belirlenmesi, deprem zararlarının azaltılması çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde, çeşitli yüksekliklerdeki yapıların ve kritik altyapıların (örneğin petrol ve doğal gaz tankları) gördüğü hasarlar, araştırmacıların bu konuyu incelemesine yol açmıştır. Deprem kaynaklı yer hareketlerinin, sadece uzun periyotlu değil, 0.1 saniyeden 10 saniyeye kadar geniş bir periyot aralığında, kaynak ve havza yapısına bağlı özelliklerinin çıkarılması bu çalışmalar açısından büyük önem arz etmektedir. Eskişehir ili ve çevresi, sismik aktivite açısından çok yüksek olmamakla birlikte, yaklaşık bir milyon nüfusu, gelişmekte olan sanayisi ve hızla artan yapılaşması nedeniyle yüksek sismik risk taşıyan bir bölgedir. Şekil 1'de, çalışma alanı olan Eskişehir ili ve Eskişehir havzası gösterilmektedir. Şehir merkezi ve Eskişehir havzası, kırmızı çizgi ile ayrılmış olup, şehir merkezi havza içine doğru hızlı bir şekilde genişlemektedir (Şekil 1). Bu hızlı genişleme, Eskişehir ilini depremlerin yaratabileceği hasarlara açık hale getirmektedir. Bu bağlamda, Eskişehir havzasının sismik özelliklerinin ve deprem anında sismik dalgaların nasıl tepki vereceğinin anlaşılması, deprem zararlarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bilindiği üzere, yer hareketinin genliğini, süresini ve frekansını modifiye eden yerel zemin etkileri (özellikle yer hareketi büyütme) deprem hasar analizlerinde anahtar bir bileşendir ve bu aynı zamanda yerin sismik tepkisi olarak da bilinir. Alüvyon havzalarda veya vadilerde, tabakalanma belirli frekanslarda yüzeye yayılan S-dalgalarının rezonansına ve ayrıca havza kenarlarında yüzey dalgalarının hapsolmesine ve tekrar havza ortalarına doğru yayılmasına neden olur. Dolayısıyla, sismik yer tepkisinin karakterize edilmesi, sismik tehlike değerlendirmesi ve deprem zararlarının azaltılmasında en önemli konulardan biridir. Bu, özellikle kaya veya sert zemin formasyonları üzerinde yer alan alüvyon ve sediman formasyonlu havzalar için geçerlidir. Eskişehir havzası, bu tür karakteristik havzalardan biridir.



**Şekil 1.** Çalışma alanı olan Eskişehir ili ve Havzası. Kırmızı çizgi il merkezini havzadan ayırmaktadır.

**Figure 1.** Eskişehir province and Basin, which is the study area. The red line separates the provincial center from the basin.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir havzasının mühendislik ve sismolojik ana kaya derinlik dağılımları ve geometrileri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Sismolojik anakaya, deprem dalgalarının farklı jeolojik katmanlardan geçişini ve bu süreçte dalgaların büyütülmesi veya sönümlenmesini etkileyen bir sınır olarak kritik bir rol oynar. Mühendislik uygulamalarında, anakaya derinliği ve özelliklerinin belirlenmesi, sismik tepkilerin doğru tahmin edilmesi ve depreme dayanıklı yapıların tasarlanması için gereklidir. Sismik tehlike

değerlendirmeleri ve saha tepki analizleri, yapıların dayanması gereken sismik kuvvetleri doğru bir şekilde tahmin etmek için anakaya koşullarının modellenmesine dayanır (Midorikawa, 1993). Mühendislik anakayası ise, deprem sırasında yer hareketlerinin büyütülmesi veya sönümlenmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu anakaya tabakası, yapısal tasarımda dikkate alınması gereken başlıca sismik kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılır. Genellikle kesme dalgası hızına ( $V_s$ ) göre tanımlanır ve bu hız genellikle 760 m/s olarak kabul edilir. Bu değer, zemin hareketi tahminleri ve simülasyonları için bir referans oluşturur (Lin vd., 2020). Yapılan arazi çalışmalarında, lokal sismik tepkileri araştırmak için pasif ölçmelere odaklanarak tek istasyon ve ağ/dizilim mikrotremor ölçmelerini kapsayan jeofizik ölçmeler gerçekleştirilmiştir. Tek-istasyon ölçmeleri Yatay/Düşey spektral (H/V) metodunu kullanarak hâkim frekansları belirlenirken, değişen yarıçaplarda gerçekleştirilen ağ mikrotremor ölçmeleri ise SPAC yöntemi kullanılarak 600-700 m'ye kadar  $V_s$  yapısını belirlemeye olanak sağlamıştır. Ağ ölçümlerindeki istasyonlardan bazıları tek istasyon (H/V) olarak değerlendirilmiş ve ağ ölçmeleri (SPAC) ile ters çözüm yapılmıştır. Toplamda, 7 ağ 2017 yılında, 8 ağ ise 2018 yılında olmak üzere 15 noktada ağ ölçümü gerçekleştirilmiştir. 2018 yılında alınan ölçümlerden Eskişehir baseninin dışında/kuzeyinde kalan 4 noktası üzerinde bir sonuç alınamazken, basen ortasında, mühendislik ve sismolojik anakaya derinlikleri hakkında ölçümlere bağlı olarak tahminlerde bulunulmuştur. Bu kapsamda, bölgede kurulu bulunan ivmeölçer lokasyonlarında çeşitli yarıçaplarda oluşturulan 4 veya 7 istasyonlu ağlarla mikrotremor ölçmeleri yapılmıştır.

## 2. Literatür

### 2. Literature

Bir alandaki sismik tehlikeyi temsil eden yer hareketi zaman serilerinin seçimi ve modifikasyonu, non-lineer tepki analizleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, kuvvetli yer hareketlerinin ölçeklenmesi ve modifikasyonu gibi rasyonel prosedürlerin belirlenmesi gerekmektedir. Böyle bir prosedürün oluşturulabilmesi için, bir bölgenin iki ve/veya üç boyutlu yeraltı yapısının sismik dalga yayılımı üzerindeki etkilerinin anlaşılması gereklidir. Yakın alan ve havza etkilerini, ayrıca yakın alanda meydana gelebilecek büyük depremlerin oluşturabileceği kuvvetli yer hareketlerinin içeriklerini birlikte değerlendiren yer hareketi zaman serilerinin üretilmesinde, doğruluğu kabul edilmiş sismolojik yöntemler kullanılabilir. Bu tür yaklaşımlar, bölgenin sismik tehlike değerlendirmesinde ve deprem zararlarının azaltılması çalışmalarında kritik bir rol oynar. Böylelikle, kuvvetli yer hareketlerinin ölçekleme ve modifikasyonu için geliştirilen yöntemler, bölgesel sismik tehlike değerlendirmelerinde ve yapıların deprem performans analizlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Son zamanlarda, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip yerleşim yerlerinde çok yüksek katlı binalar, asma köprüler, petrol tankları gibi kritik yapıların sayısı giderek artmaktadır. Ayrıca, nüfusun giderek hızla artması ve yeni yerleşim yerlerinin oluşması da sismik riski arttırmaktadır. Pitarka vd. (2014), çok sayıda yüksek katlı binaların ve köprülerin bulunduğu Arap Körfezi'nde 2-10 sn rezonans periyotlarına sahip kritik binaları etkileyecek uzun periyotlu yüzey dalgalarının genliklerini incelemişler ve yaptıkları simülasyon çalışmalarında sığ depremlerin ve özellikle sedimenter havza geometrisinin oldukça büyük genlikli ve uzun süreli yüzey dalgaları oluşturduğunu doğrulamışlardır.

1999 Kocaeli depremi ve 2013 Japonya Tokachi depremleri, sığ odaklı olması, havza geometrisi, ana kaya ile sedimanlar arasındaki büyük hız farkları nedeniyle oldukça dikkat çekici uzun-periyotlu yüzey dalgaları oluşturmuşlardır. Miyakoshi vd. (2013), uzun süreli ve uzun periyotlu dalgalar üreten 1944 Tonankai (M7.9) ve 1946 Nankai (M8.0) plakalar arası büyük depremleri incelemişlerdir. 2000 m derinlikteki kuyu içi ivmeölçer kayıtlarından ve yüzey kayıtlarından Osaka havzasında havzanın kendisinin oluşturduğu (Basin-induced) uzun periyotlu yüzey dalgalarının varlığını göstermişlerdir.

Hatayama vd. (2004) çalışmasında yumuşak sedimanlarla dolu olan Osaka havzasının uzun periyotlu Love dalgaları oluşturduğunu göstermişlerdir. 1964 Niigata depremi (M 7.5) ve 1983 Central Japan Sea depreminde (M 7.7) gözlemlendiği gibi uzun süreli ve uzun-periyotlu yüzey dalgaları büyük petrol tanklarına oldukça büyük hasar vermiş ve akabinde yangınlar oluşmuştur (Kudo & Sakaue, 1984). Benzer olarak, 2013 Tokachi-Oki depreminde de Tomakomai şehrinde bulunan ve dış merkezden 250 km uzakta olmasına karşın büyük petrol tankları ağır hasar görmüştür (Hatayama vd., 2004; Koketsu vd., 2005; Koketsu & Miyake, 2008). Meksika'da 1985'te meydana gelen Michoacan (Mw8.1) depreminde, dış merkez 400 km uzakta olmasına rağmen, 10 dakika gibi oldukça uzun süren ve 2-3 sn'lik uzun periyotlu yüzey dalgaları 20.000 kişinin ölmesine neden olmuştur (Anderson vd., 1986). Ulusal çapta kurulan deprem kayıt ağlarından (K-Net, KiKnet) 585

istasyondaki dalga formlarından ve Tokyo civarında kurulu 495 şiddet ölçer kayıtlarından uzun periyotlu dalgaları incelemiştirler. Veriler, rijid anakaya üzerinde uzanan çok kalın sedimanların (>3000-4000 m) içinden geçerek ilerleyen yüzey dalgalarının Kanto Havzasının (Tokyo havzası) kuzey uç kısımlarında oluştuğunu ve Rayleigh dalgası olduğunu göstermiştir. Genelde, 1-10 sn periyotlu yer hareketleri beklenmedik derecede yüzlerce saniyelere kadar süren ve daha düşük grup hızları gösterirler. Yapılan mikrotremor çalışmalarıyla birlikte, kritik yapılar farklı frekanslarda yer hareketlerine maruz kaldıklarında çok farklı sismik tepki gösterebileceklerinden dolayı sismik tepki analizlerinde uzun periyotlu dalgalarla beraber kısa periyotlu dalgaların da dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur (Öztürk vd., 2021; Tan vd., 2015; Usta & Sayıl, 2022). Benzer olarak havza içinde üreyen uzun periyot Love dalgalarının karakteristikleri incelenmiş, eğer havza kalınlığı 2 km'yi aşarsa bu dalgaların sığ sediman yapısından oldukça etkilendiğini ve bu tür derin sediman havzalarda sığ sedimanların kabaca ele alınmasının dalgaların frekans içeriğine etki edeceğini ve baskın frekanslarını etkileyeceğini ileri sürülmüştür (Yoshimoto & Takemura, 2014).

Havzalar ve geometrileri nedeniyle (sismolojik anakaya derinlik dağılımı, tabakalaşma ve hız yapısı) yarattıkları yüzey dalgalarının özelliklerinin (periyot içeriği, genlik vb.) incelenmesi için havza yapısının geometrilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak, tek istasyon ve ağ mikrotremor ölçmeleri (Aki, 1957; Capon, 1970; Nakamura, 1989; Okada & Suto, 2003), sismik interferometri yöntemi (Snieder & Hagerty, 2004; Wapenaar & Fokkema, 2006) havza geometrisini belirlemede kullanılan yöntemlerdir.

Derin havzalarda P-dalga hızları patlayıcı ve büyük vibratörler kullanılarak zorluk çekmeden elde edilebilir, fakat S-dalga hızları için durum tümüyle farklıdır. Derinliği 4-5 km'ye ulaşan derin havzalarda S-dalgası jeneratörleri kullanarak S-dalgası profillerini elde etmek oldukça zordur. Diğer taraftan, SPAC ve F-K metodları gibi ağ-mikrotremor ölçmeleri vasıtasıyla yüzey dalgaları faz hızlarının ters çözümü ile herhangi bir kontrollü kaynak olmadan S-dalga hızları tahmin edilebilir (Horike, 1985). Mikrotremor ağ ölçmeleri diğer sismik ölçmelere göre daha ucuz ve daha pratik bir şekilde uygulanabilir. Çeşitli yarıçaplı ağ-mikrotremor ölçmeleri vasıtasıyla ölçüm yapılan noktadaki 1-boyutlu S-dalgası hız yapısı çıkarılabilir. Tek istasyon mikrotremor ölçmeleri ise Nakamura (1989) ile tüm dünyaya yayılmış ve avantajları/limitleri birçok çalışma ile (Bard, 1999; Kudo, 1995; Kudo vd., 2004; Lachet & Bard, 1994; Scherbaum vd., 2003; Sylvette vd., 2006) tartışılmıştır. En büyük avantajı ise tek istasyona gereksinim olmasıdır.

Porsuk Nehri ve Sarısu Deresi'nin sedimanter malzemesi tarafından oluşturulan Eskişehir Havzası'nda, Kuvaterner alüvyon genel olarak kuzeyden güneye yumuşak bir geçişle uzanmakta ve Eskişehir Havzası'nda maksimum 700 m derinliğe ulaşmaktadır. Böylece, ortaya çıkan ana kaya sınırı, Eskişehir Grabeni'nin yarım graben konfigürasyonunu tanımlamaktadır (Tün, 2013). Eskişehir, kent merkezi boyunca Kuvaterner ve Neojen sedimanların zemin büyütmesi ve sıvılaşma gibi riskler üretebileceği daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Gok & Polat, 2012; Ocakoğlu & Açıkalin, 2010; Orhan vd., 2007; Öztürk vd., 2009). Eskişehir yerleşim alanının bütünleşik sismik risk analizine göre, nüfus yoğunluğunun potansiyel bir deprem sırasında genellikle orta/yüksek risk altında olduğu ortaya konmuştur (Pekkan vd., 2015). Ayrıca Tun vd. (2020) çalışmasında kurulan EstuNet kayıt istasyonları, kentsel alandaki zemin tepki özelliklerini hesaplamak için istasyonlardan elde edilen deprem kayıtlarından, PGA (en büyük yer ivmesi) değerlerinin çok düşük olduğu ölçülmüştür. PGA, sismik dayanıklı yapıların tasarımında temel bir parametredir. Deprem sırasında yapının maruz kalacağı maksimum ivme hesaplanarak, daha güvenli ve dayanıklı yapılar inşa edilir (Philip & Santhi, 2020). Deprem mühendisliğinde PGA, yapıların performans tabanlı tasarımında kullanılır ve bu sayede yapıların belirli bir deprem şiddetine dayanması sağlanır (Nazarova & Uzdin, 2020).

## 2. Çalışma alanı

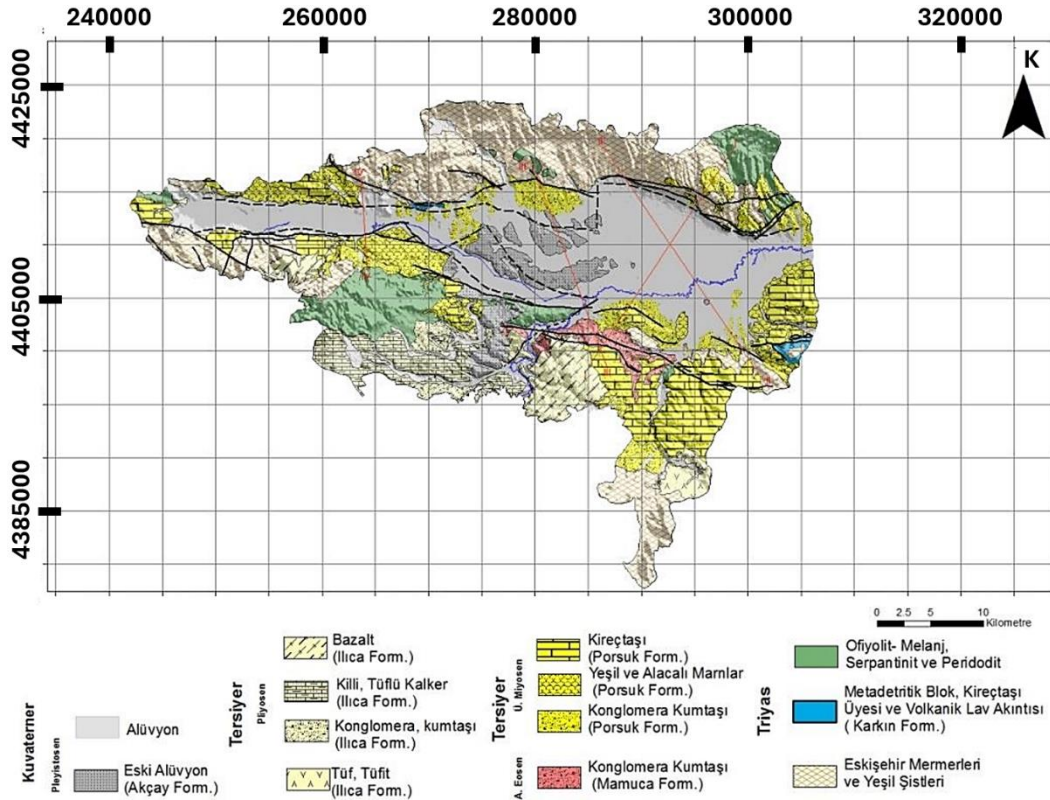
### 2. Field of study

#### 2.1. Jeoloji

##### 2.1 Geology

Eskişehir ve çevresindeki jeolojik birimler Triyas yaşlı birimlerden, en genç ve güncel olan Kuvaterner yaşlı birimlere kadar değişkenlik göstermektedir. Genel olarak Karkın Formasyonu, Mamuca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Ilıca Formasyonu ve Akçay Formasyonu olmak üzere beş adet jeolojik formasyondan oluşmaktadır (Şekil 2). Şehir sınırları içindeki oluşumlar ise, en gençten en eskiye doğru, alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonu'dur

(Pekkan vd., 2015). Bölgedeki jeolojik birimlerin temelini Eskişehir Metamorfikleri (Eskişehir Mermerleri ve Yeşil Şistleri) oluşturmaktadır (Şekil 3). Eskişehir Metamorfikleri Triyas yaşlıdır ve birbirleriyle tektonik olarak ilişkili olan metadentrit, ofiyolit ve mermerlerden oluşmaktadır. Eskişehir metamorfikleri; tabanda granatlı amfibolit, eklojit, piyemontitli kuvarsit, glokofan-lavsonit şist, epidot-muskovit-kuvars-klorit-albit şist ve üst seviyelerde ise mermerlerden oluşmaktadır. Eskişehir Metamorfikleri üzerine tektonik bir dokanakla ofiyolitik melanj, gabro ve peridotitten yapıları ofiyolitler gelir. Karkın Formasyonu olarak da bilinen ofiyolitler genel olarak koyu yeşil, kahverengi ve kırmızımsı renkli melanj, radyolarit, çamurtaşı, kireçtaşı, metadentritik, diyabaz, serpantin, peridotit, gabro ve büyük bir olasılıkla İnönü mavişistlerine ait metamorfik kayaların tektonik olarak ilişkileri sonucu bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Karkın Formasyonunda yer alan tektonik zonlarda serpantinleşmelere gözlemlenmektedir. Mamuca Formasyonu; en alt seviyelerinde mor, kırmızı, şarabi renkli çakıltaşları ile başlar ve birimin üst seviyelerine doğru kumtaşı ve yeşil renkli killi yer alır. Bu formasyonun üst seviyelerine doğru sarımsı renkli killi, kumlu kireçtaşları ile son bulur. Porsuk Formasyonu; en alt seviyeleri çakıl taşları ile başlar ve üst seviyelere doğru konglomera, kumtaşı, tuf, tüfit, bazalt akıntıları, kiltası, marn, jips, kireçtaşı, gösel çökellerden oluşur ve bu birimler Porsuk Çayı boyunca gözlemlenmektedir. Ilica Formasyonu; Porsuk formasyonu üzerinde yer alır ve Pliyosen yaşlı olan formasyon ani depolanma ürünü olan konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf-tüfit, marn ve bazaltlardan oluşmaktadır. Ilica formasyonunun alt seviyelerinde çakıltaşı ve kumtaşı yer alır, üst seviyelere doğru aglomera, bazaltik tüflerle devam eder ve bazaltik lav akıntıları ile son bulur. Akçay Formasyonu, Kuvaterner öncesi tüm litolojilere ait farklı türdeki blok, çakıl ve kumlarla temsil edilen gevşek tortullardan oluşan Eski Alüvyon birimi ve temel kaya birimlerini, Orta-Üst Miyosen çökelleri üzerinde uyumsuz olarak örten Yeni Alüvyon biriminden oluşmaktadır. Akçay Formasyonu, Kuvaterner öncesi tüm birimleri uyumsuzlukla örter. Polijenik çakıllı Akçay formasyonunda yer yer çapraz tabakalanma gözlemlenmekte ve genel olarak kalın katmanlıdır. Eskişehir Havzası'nın en güncel birimlerini oluşturan Yeni Alüvyon havzada bulunan akarsuların getirip biriktirdiği genellikle tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil gibi malzemelerden oluşmaktadır (Gözler vd., 1996; Gözler vd., 1985; Tokay & Altunel, 2005).



**Şekil 2.** Eskişehir ve çevresinin jeoloji haritası (DSİ 1976, MTA jeoloji haritalarından geliştirilmiştir (Güney vd., 2013).

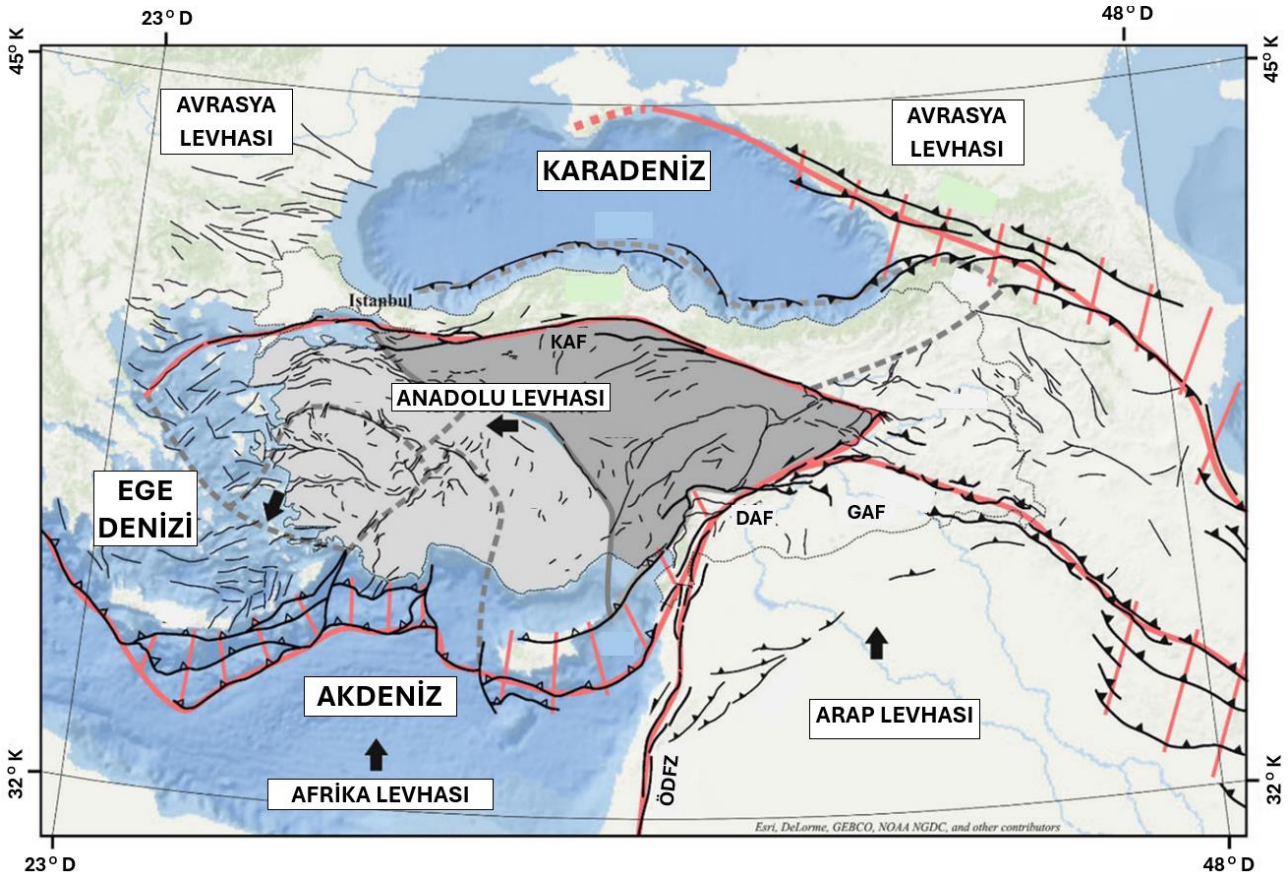
**Figure 2.** Geological map of Eskişehir and its surroundings (developed from DSI 1976, MTA geological maps, (Güney et al., 2013).



## 2.2. Tektonizma

### 2.2. Tectonism

Türkiye'nin ve yakın çevresinin jeolojik olarak şekillenmesi, dört ana neotektonik yapı ile sağlanmaktadır ve bu yapılar sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Sistemi, sol yanal Doğu Anadolu ve Ölüdeniz fay sistemleri ile aktif Ege-Kıbrıs dalma-batma zonudur. Bu ana yapılarla beraber Anadolu'yu küçük bloklara ayıran ikincil yapılar mevcuttur. Bu yapılar sol yanal Orta Anadolu Fay Sistemi, sağ yanal Tuzgölü Fay Zonu, verrev özellikli İnönü-Eskişehir fay sistemi ve Akşehir fay zonudur (Özsayın & Dirik, 2007). Bu ana yapılarla beraber, Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, Kuzey Anadolu bölgesi, Orta Anadolu "Ova" bölgesi ve Batı Anadolu açılma bölgesi olmak üzere dört ana neotektonik bölge yer alır (Emre vd., 2013; Emre vd., 2018; Duman vd., 2018) (Şekil 4).

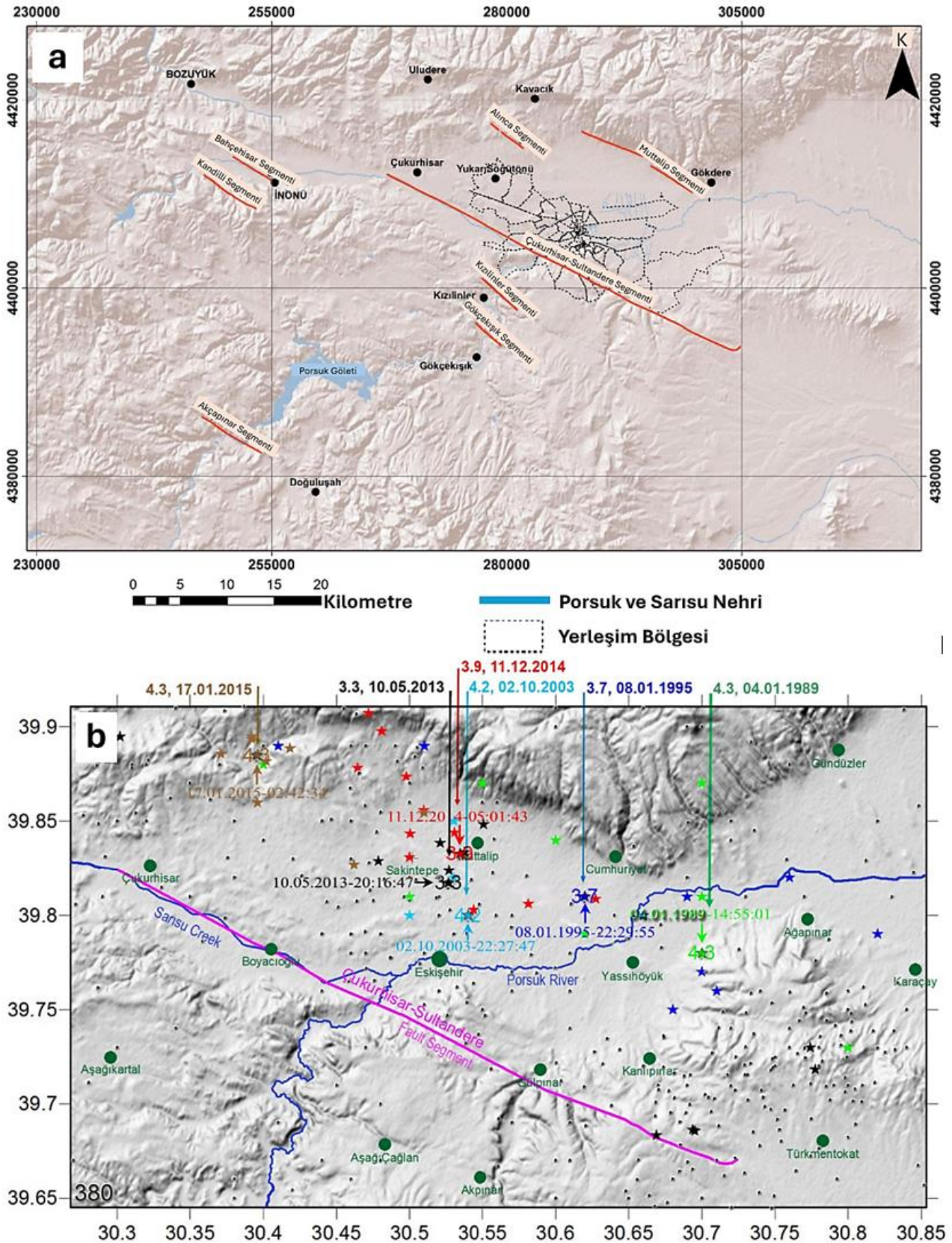


Şekil 4. Anadolu'da etkili olan dört ana neotektonik bölge (Emre vd., 2018).

Figure 4. The four main neotectonic regions affecting Anatolia (Emre et al., 2018).

Eskişehir Fay Zonu, Sultandere ve İnönü arasında birbirini takip eden segmentlerden oluşmaktadır ve genel doğrultusu BKB-DGD olan Eskişehir Fay Zonu ayrıntılı olarak incelendiğinde doğrultu D-B ile KB-GD arasında değişmektedir. Altunel ve Barka (1998)'e göre Eskişehir Fay Zonu, İnönü'nün batısında KB-GD, İnönü-Oklubalı arasında yaklaşık D-B, Oklubal-Turgutlar-Eskişehir arasında BKB-DGD, Eskişehir'in güneyinde ise yaklaşık D-B ve Eskişehir-Sultandere arasında KB-GD doğrultulu uzanmaktadır. Ocakoglu vd. (2007)'ye göre Eskişehir Fay Zonu Bozüyük-Alpu arasında BKB doğrultulu uzanmakta olup yaklaşık 15 km genişliğinde olan bu fay zonu birçok segmentten oluşmaktadır.

Seyitoğlu vd. (2015), Eskişehir Fay Zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zonu olduğunu, K60°B doğrultulu uzandığını ve Eskişehir Fay Zonunun Çukurhisar-Sultandere segmentininin 40 km uzunluğunda bir fay segmenti olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Eskişehir 1956 depreminin konumunu tekrar hesaplamış ve depremin merkez üstünün Çukurhisar ve Sultandere arasında olduğunu ve Canitez ve Üçer (1967)'nin odak mekanizma çözümünün, çalışmalarının yapısal bulguları ile örtüşüğünü ifade etmiştir (Şekil 5a).



**Şekil 5.** (a) Eskişehir ve çevresinin sismotektonik haritası (Pekkan vd., 2015), (b) Eskişehir grabeninde 23 Ocak 1976 tarihinden beri meydana gelen depremlerin büyüklük ve yerleri (Tün vd., 2016)

**Figure 5.** (a) Seismotectonic map of Eskişehir and its surroundings (Pekkan et al., 2015), (b) Magnitudes and locations of earthquakes that have occurred since January 23, 1976 in the Eskişehir graben (Tün et al., 2016)

Eskişehir bölgesinde aletsel dönemde (1900 sonrası) meydana gelen ve yüzey kırığı oluşturduğu ifade edilen tek deprem 20 Şubat 1956 Eskişehir depremi ( $M=6,4$ ) dir (Ocal, 1959). 23 Ocak 1976 tarihinden itibaren de



günümüze kadar 380 deprem meydana gelmiş ve Şekil 5b de gösterilmiştir (Tün vd., 2016). Deprem dış merkezi ve kaynak fayı hakkında değişik görüşler ileri sürülmüştür. Bir grup araştırmacı bu depremin İnönü Segmenti'nden kaynaklandığını ileri sürerken (Açıkalın & Ocakoğlu, 2005; Altunel & Barka, 1998; Ocal, 1959; Şaroğlu vd., 2005) Eskişehir depreminin kuzeydeki Kavacık Segmenti'nden kaynaklanmış olabileceğini öne sürmüştür. Bazı araştırmacılar, sağ yanal fayın daha genç bir normal fay sistemi tarafından üzerine yerleştirildiğini (Gözler vd., 1985; Koçyiğit, 2005; Ocakoğlu vd., 2007; Yaltrak, 2002), diğerleri ise bölgedeki sismisitenin ana olarak doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edildiğini öne sürmektedir (Altunel & Barka, 1998; Seyitoğlu vd., 2015; Seyitoğlu vd., 2010; Şaroğlu vd., 2005; Tün vd., 2010).

### 3. Metodoloji

#### 3. Methodology

Havzalarındaki S-dalgası hız yapısını belirlemek üzere, mikrotremor verisinin düşey bileşenlerine SPAC metodu (Aki, 1957; Matsushima, 1989; Okada & Suto, 2003) uygulanmıştır. Merkezde bir istasyon olmak üzere etrafında eşkenar üçgen olacak şekilde dört istasyondan oluşan bir konfigürasyon kullanılmıştır. SPAC yönteminin en önemli avantajları, yerinde kullanımı kolay olan halka dizi geometrisi, en az dört alıcı ile kullanılabilmesi ve düşük frekanslarda faz hızını belirlerken yüksek çözünürlüklü bilgi sağlamasıdır (Okada 2003). Metodun teorik temeli aşağıdaki şekilde verilebilir; Mikrotremor ağ verisinde genellikle ağın dışından yayılarak gelen uyumlu dalga paketleri gözlenir. Her bir istasyon çifti arasındaki uzaklık için frekansın fonksiyonu olarak azimutlarına göre SPAC (Uzaysal öz-ilişki katsayısı) katsayıları (1)'de verilen formülle elde edilir;

$$\rho(r, f) = \frac{1}{2\pi\phi(r=0, f)} \int_0^{2\pi} \phi(r, \theta, f) d\theta = J_0\left(\frac{rf}{c(f)}\right) \quad (1)$$

Burada  $\phi(r=0, f)$  ağın merkezindeki kaydın ortalama öz-ilişki (oto-korelasyon) fonksiyonudur.  $\phi(r, \theta, f)$  merkezdeki kayıt ile koordinatları  $r=0, \theta$  olan istasyon kaydı arasındaki çapraz-ilişki (kros-korelasyon) fonksiyonudur.  $c(f)$  ise ağın altındaki faz hızıdır.  $J_0$ , sıfırcı derece Bessel fonksiyonudur (zero order Bessel function). Böylece gözlenen korelasyon katsayıları vasıtasıyla faz hızı hesaplanabilir (Aki, 1957; Okada & Suto, 2003).

Bu çalışmada yalnızca dikey bileşenli sismik ölçümler ele alınmış ve tartışma, yalnızca (dağınık) Rayleigh dalgası hareketi ile sınırlandırılmıştır. Her frekans için dalga enerjisinin yalnızca bir (skaler) hızda yayıldığını varsayarak, halka dizisi için açısız ortalama uyumluluğun şu şekilde ifade edilebileceği gösterilebilir (Aki, 1957; Asten, 1976; Okada & Suto, 2003);

$$\bar{c}(f) = J_0(kr) = J_0\left(\frac{2\pi fr}{V(f)}\right) \quad (2)$$

Burada  $f$  frekans,  $\bar{c}(f)$  açısız ortalama uyumluluk,  $J_0$  sıfırcı mertebeden Bessel fonksiyonu,  $k$  skaler dalga sayısı,  $V(f)$  hız saçılma fonksiyonu ve  $r$  halka dizisindeki istasyonlar arası mesafedir (istasyon ayrımı). Teorik uyumluluklar, faz hızı ve frekans tarafından çizilen saçılma eğrilerini hesaplayarak belirlenir ve ardından denklem (2) kullanılarak bir model uyumluluk spektrumu hesaplanır. Yarıçap planlaması, hedef derinlik ve çevresel mikrotremorların gücüne bağlıdır. Halka dizisi içindeki eşit mesafelerde bulunan istasyonlar tarafından ölçülen mikrotremor kayıtları arasında yüksek otokorelasyon beklenir. Bir Rayleigh dalgası saçılma eğrisi, her bir halka dizisi için elde edilen tüm saçılma eğrilerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.

Diğer taraftan tek istasyon ölçümlerinin değerlendirilmesi için, detayları Nakamura (1989)'da verilen H/V metodu kullanılmıştır. Metot, üç bileşenli bir istasyonda mikrotremor verilerinin yatay bileşenlerin bileşkesinin spektrumunun düşey bileşen spektrumuna bölünmesinden ibarettir. Yarı sonsuz tek tabakalı bir ortamda Rayleigh dalgası olarak yayılan mikrotremorların yorumlanması üzerine bir yöntem önerilmiştir. Frekans ortamında, zemin tabakasının tabanında ve yüzeyindeki hareketin etkisiyle yatay ve düşey spektrumlarından oluşmak üzere dört adet spektrum elde edilir. Çok yakın kaynakların zemin tabakalarının tabanındaki mikrotremor hareketini etkilemediğinden hareketle, mikrotremor hareketine neden olan kaynağın spektral şekli  $As(\omega)$  açısız frekansa bağlı olarak kestirilebilir.  $VS(\omega)$ , yüzeydeki hareketin düşey bileşen spektrumu,  $VB(\omega)$  ise sedimanter tabakanın tabanındaki hareketin düşey bileşen spektrumudur (denklem 3).  $HS(\omega)$ , yüzeydeki hareketin yatay bileşen spektrumu,  $HB(\omega)$  ise sedimanter tabakanın tabanındaki hareketin yatay bileşen spektrumudur (denklem 4) (Şekil 6a ve 6b). Ayrıca yöntemde mikrotremorların trafik gibi

sismometreye çok yakın kaynaklardan etkilendiği, derinden gelen kaynakların ise ihmal edildiği varsayılır. Nakamura'nın önerdiği yöntemde zemin tabakalarının düşey bileşen hareketini büyütmediği kabul edilmiştir (Campillo & Paul, 2003).

$$AS(\omega) = VS(\omega)/VB(\omega) \quad (3)$$

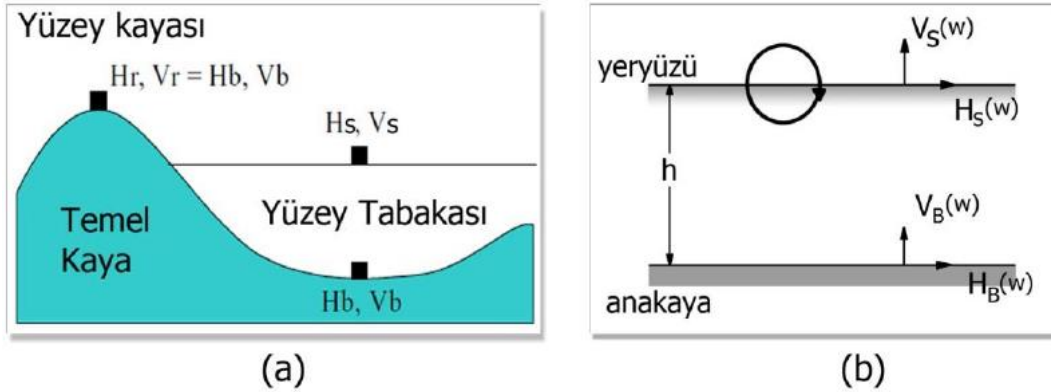
Deprem mühendislerinin ilgilendiği sığ yer etkisinin (site effect) elde edilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır (Chevez-Garcia & Bard, 1994).

$$SE(\omega) = HS(\omega)/HB(\omega) \quad (4)$$

Sonuç olarak hareketin gerçek yerel etkisini hesaplayabilmek için, yatay ve düşey bileşenlerde kaydedilen spektrumlar oranlandırıldığında,

$$\begin{aligned} Sm(\omega) &= SE(\omega)/AS(\omega) \\ &= ((HS(\omega) / HB(\omega)) / (VS(\omega) / VB(\omega))) \\ &= ((HS(\omega) / VS(\omega)) / (HB(\omega) / (VB(\omega))) \end{aligned} \quad (5)$$

Son olarak (5) bağıntısında ilgilenilen tüm frekanslarda;  $HB(\omega)/VB(\omega)=1$  olduğu kabulüyle, yüzeydeki hareketin yatay bileşenin düşey bileşen spektrumuna oranıyla yerel zemin etkisinin kestirilebileceği kabul edilmiştir. Metodun sınırları Lachetl ve Bard (1994)'te verilmiştir. Bu metoda yapılan tüm eleştirilere Nakamura (2019)'da "What is the Nakamura Method" isimli makalesiyle cevap verilmiştir. Detaylar için literatürde hem SPAC ve hem de H/V metodu ile ilgili çok sayıda yayın bulunabilir.



**Şekil 6.** (a) Sedimanter basen yapısı (Nakamura, 2000) (b) Nakamura (1989) tarafından önerilen mikrotremorların yayılımı ile ilgili basit model.

**Figure 6.** (a) Sedimentary basin structure (Nakamura, 2000) (b) Simplified model of microtremor propagation proposed by Nakamura (1989)

Bu çalışmadaki ağ ölçümleri SPAC yöntemi ile, 3 bileşen tek istasyon ölçümleri ise H/V Nakamura tekniği ile analiz edilmiştir. Ayrıca H/V modelleme programı olarak da Herrmann (2013)'de yayınladığı kod kullanılmıştır. Bu kod, tabakalı bir ortamda yayılan yüzey dalgalarının (Rayleigh ve Love) yatay ve düşey bileşenlerinin spektral oranlarının modellenmesine olanak tanımaktadır. Analizler sonucunda SPAC ve H/V yöntemi ile edilen bir boyutlu hız yapısı birlikte ters çözüm yapılarak modellerin doğruluğu arttırılmaya çalışılmıştır.

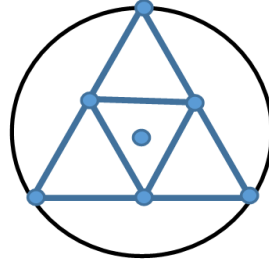
## 4. Bulgular

### 4. Findings

Mikrotremor Metodları, konvansiyonel sismik arama metodlarında olmayan iki paradigmaya dayanır. Bunlar (a) yer içine nüfuz eden yüzey dalgaları frekans bağımlıdır, dolayısıyla dispersiyon eğrisi tabakalı yeraltı modeline dönüştürülebilir ve (b) faz hızının frekans ile değişimi ağ işleme metodları kullanılarak ölçülebilir. Dolayısıyla bu metodlar (tek-istasyon veya ağ ölçmeleri) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere, “Uzaysal Oto-Korelasyon” (SPAC) metodunda kullanılan ortam sismik gürültüsü (Ambient noise) veya mikrotremor gözlemleri 0.1 Hz den onlarca Hz’e kadar geniş bir frekans aralığında ki yüzey dalgalarından oluşur. Yüzey dalgalarının dalga boyları (ve dolayısıyla derinlik duyarlılığı) 1 veya 2 m derinlikten başlayarak birkaç kilometre derinliğe kadar S-dalgası hız modelinin belirlenmesini sağlar. Enerji kaynağı olarak sadece ortam gürültüsünü kullanan pasif bir metottur. Uygulamada, genellikle, faz hızı dispersiyon eğrisini ve dolayısıyla da S-dalga hız yapısını tahmin etmek için az sayıda sismometre kullanarak (genellikle 2 ile 15 arasında) 2-boyutlu sismik ağlar kullanılır. Dispersiyon eğrisini tahmin etmek için çok sayıda metod önerilmiştir. SPAC metodu, bunlardan en eskisidir ve az sayıda sismometre gerektirmesi ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle en çok kullanılanıdır.

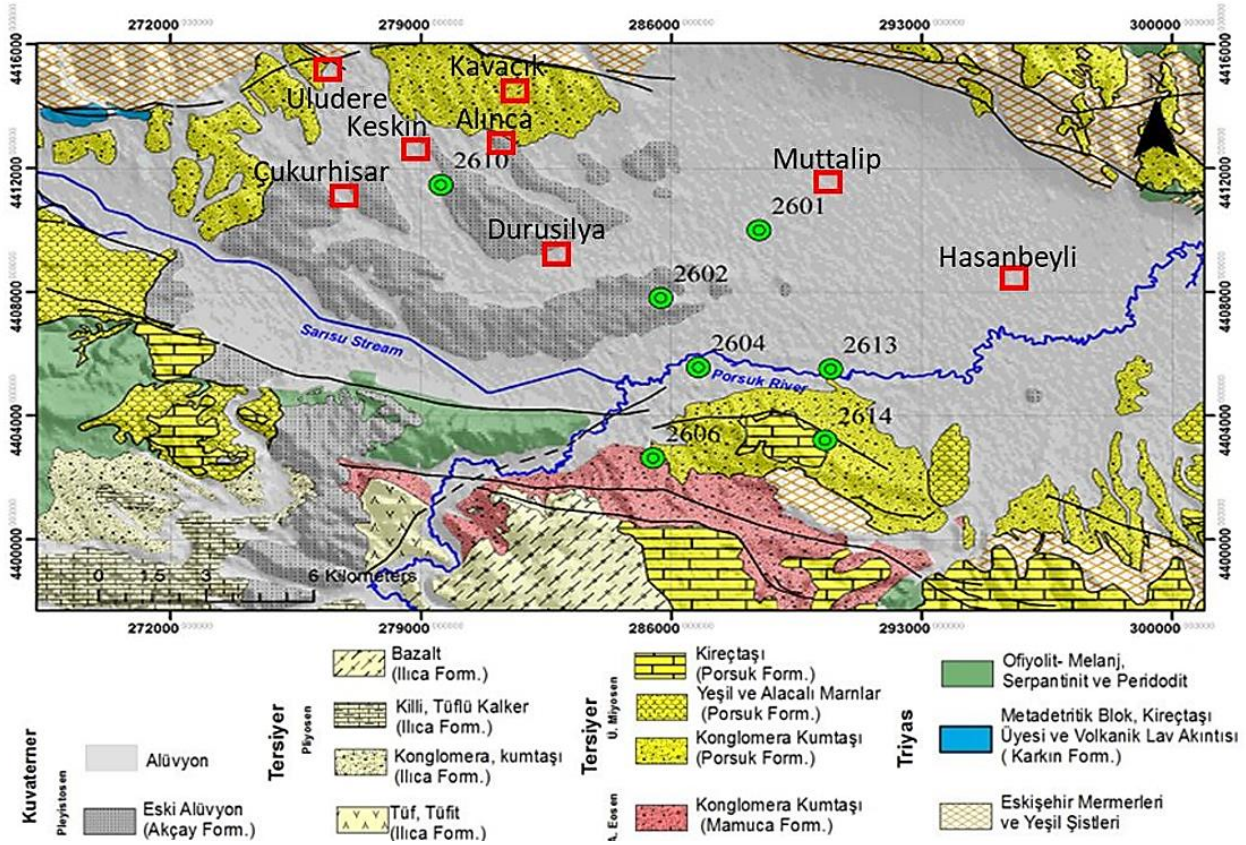
Bu çalışmada da 1-boyutlu S-dalgası hız yapısını tahmin etmek için SPAC metodu kullanılmıştır. Bunun için çeşitli yarıçaplarda iç içe iki dairesel dizilimde yedi alet kullanılmıştır. Dizilim şekli Şekil 6’da gösterilmiştir. Kullanılan aletler; 200 Hz örnekleme aralığına sahip 24-bit AD dönüştürücülü (analog-sayısal) sayısal kayıt üniteleri ile JEP-6A3 (2V/G) üç bileşen ve JEP- 6A3 (10V/G) sadece düşey bileşenli ivmeölçerler kullanmışlardır. Eş zamanlı ve aynı lokasyonlarda ise AD (Analog/Dijital) dönüştürücülü sayısal kayıt ünitelerini içinde barındıran yarı-geniş bant 30 sn’lik Guralp 6TD sismometreleri (hızölçerler) kullanmış ve örnekleme aralığı 100 Hz alınmıştır. Ölçüm süreleri, kısa yarıçaplı ağlar için 30-45 dakika ve büyük yarıçaplı ağlar için ise 60-90 dakika olarak alınmıştır.



**Şekil 7.** Ağ mikrotremor çalışmalarında SPAC metodunu uygulamak için kullanılan dizilim.

**Figure 7.** Sensor alignment to apply the SPAC method in microtremor studies.

Genel olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, 200 m’lik yarıçaplı ağlarda istasyonlar arasında yeterli uyumluluk (coherency) olmadığından 50 m, 100m ve 125m lik ağlar değerlendirilmiştir. 2017 yılında Eskişehir ovasında kurulmuş ve Anadolu Üniversitesi-AFAD ortaklığıyla çalıştırılmakta olan ivmeölçer istasyon yerlerinde yapılan mikrotremor ölçmelerinin lokasyonları ve ivmeölçer istasyon yerlerinde yapılan küçük ve büyük yarıçaplı mikrotremor ağ ölçmelerine ek olarak 2018 yılında da sekiz noktada daha küçük ve büyük yarıçaplı mikrotremor ağ ölçmeleri şekil 8’de gösterilmiş ve ölçmelerle ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.



**Şekil 8.** Mikrotremor-ağ ölçmelerinin yapıldığı tüm noktalar. Yeşil daireler ivmeölçer istasyonlarını ve kırmızı dörtgenler ise 2018 yılında yapılan diğer noktaları göstermektedir.

**Figure 8.** All points where microtremor measurements were made. Green circles indicate accelerometer stations and red rectangles indicate other points surveyed in 2018.

**Tablo 1.** Ağ ölçümlerinin yapıldığı noktalar hakkında açıklama tablosu

**Table 1.** Explanation table about the points where network measurements were made

İstasyon Adı	Ağ Boyutları (m)	Formasyon	Jeolojik Yaş
2601	200-100-50	Alüvyon	Kuvaterner
2602	200-100-50	Alüvyon	Kuvaterner
2604	125-50	Alüvyon	Kuvaterner
2606	200-100-50	Konglomera Kumtaşı	Orta üst Miyosen
2610	200-100-50	Alüvyon	Kuvaterner
2613	150-50	Alüvyon	Kuvaterner
2614	100-50	Konglomera Kumtaşı	Orta üst Miyosen
Uludere	24-12-8-4	Alüvyon	Kuvaterner
Keskin	24-12-8-4	Alüvyon	Kuvaterner
Alınca	24-12-8-4	Alüvyon	Kuvaterner
Kavacık	NA	Konglomera Kumtaşı	Orta üst Miyosen
Çukurhisar	100-50-24-12-8-4	Alüvyon	Kuvaterner
Durusilya	100-50	Alüvyon	Kuvaterner
Muttalip	100-50	Alüvyon	Kuvaterner
Hasanbeyli	100-50	Alüvyon	Kuvaterner

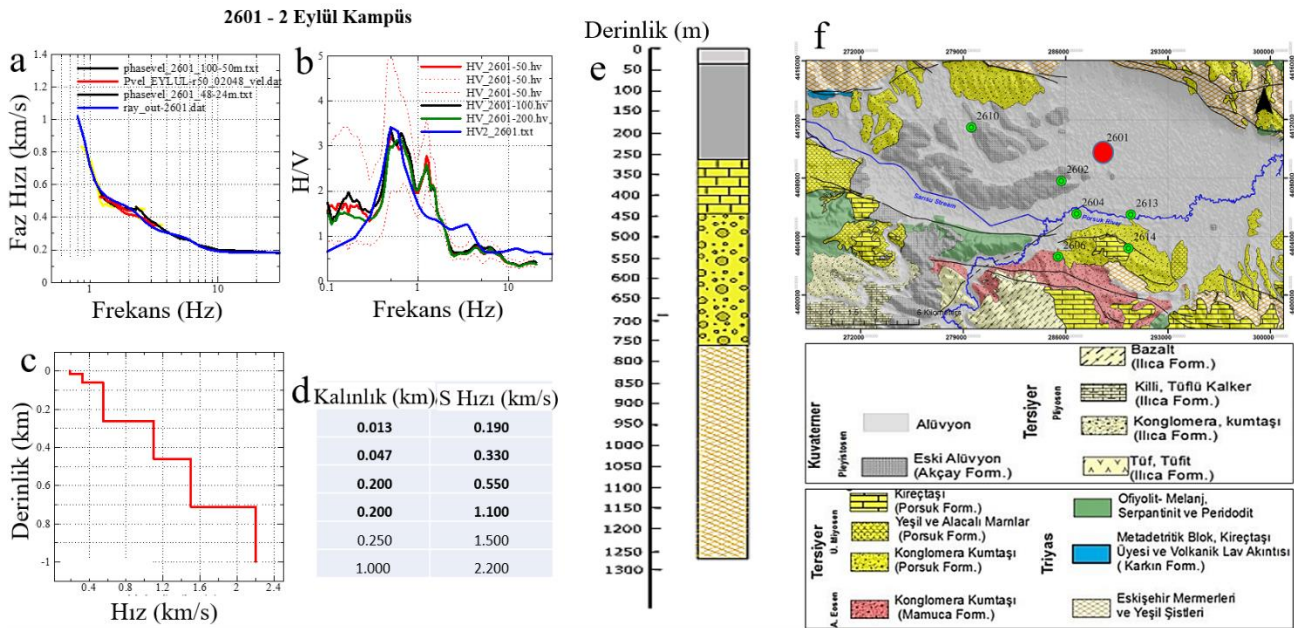
Modelleme yöntemi olarak; 30-45 dakikalık alınan veriler 40.96 sn'lik veya 81.92 sn'lik pencere ayrılmıştır. Bu pencerelerden elde edilen sonuçlar, ortalaması alınarak dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Giriş modeli olarak 3-tabakalı bir model ( $Vs1 < 300 \text{ m/sn}$ ;  $Vs2 \text{ } 200\text{-}400 \text{ m/sn}$  ve  $Vs3 > 400 \text{ m/sn}$ ) öngörülmüş ve genetik algoritma ile rms değerleri minimum oluncaya kadar iterasyona sokularak ters çözüm yapılmıştır.

Bundan sonraki kısımda, Şekil 8'de lokasyonları gösterilen ivmeölçer istasyonlarında yapılan mikrotremor ağ ölçmeleri sonuçları verilmiştir. Bu lokasyonlarda yapılan ölçmelerde, elde edilen verilerden SPAC metodu kullanılarak Rayleigh dalgaları dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Her bir ağ yarıçapı farklı derinlik ve frekans aralıklarına duyarlı olduğundan, elde edilen veriler ayrı-ayrı analiz edilmiş ve daha sonra da birleştirilerek

geniş bir frekans aralığında (1 Hz'den 30 Hz'ye kadar) her bir ivmeölçer istasyonu için dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra bu dispersiyon eğrilerinden ters çözümle bir boyutlu S-dalgası (Vs) hız profilleri tahmin edilmiştir.

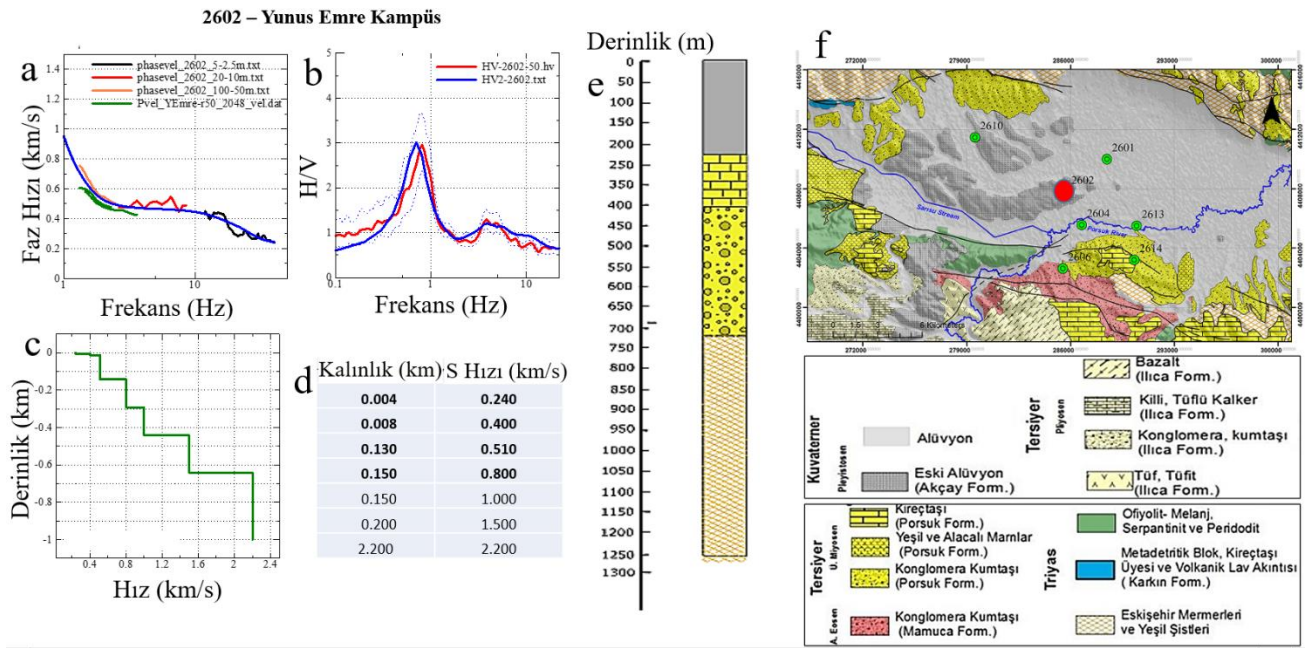
Dispersiyon eğrilerinden elde edilen Vs hız yapılarının doğrulanması için, merkezdeki sismometre kayıtlarının Düşey Bileşen/Yatay bileşen spektrumlarından frekans bağımlı H/V oran grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen bu grafiklerden, B. Herrmann'ın kodu kullanılarak (<http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/ComputerPrograms.html>) doğrudan modelleme yapılmıştır. Kod, sadece 1B heterojenliklerle karakterize edilen tabakalı bir ortamın yüzeyinde yayılan yüzey (Rayleigh ve Love) dalgalarına ilişkin yatay ve dikey spektral oranların doğrudan modellenmesine izin vermektedir. Daha sonra, hem SPAC'tan elde edilen ve hemde H/V'den elde edilen modeller karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, birleşik ters çözüm yoluyla (joint inversion) hem dispersiyon eğrisini hem de H/V eğrisini sağlayan Vs modeli sonuç model olarak alınmıştır

Sonuçlar aşağıda istasyon bazında verilmiştir (Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15). Bu şekillerdeki harf grupları, (a) dispersiyon eğrilerini (mavi hesaplanmış dispersiyon eğrisini, diğer renkler farklı yarıçaplı ağlardan elde edilen gözlemsel eğrileri göstermektedir), (b) H/V eğrisini (mavi hesaplanmış, diğer renkler +/-1 standart sapmalarıyla gözlemsel eğriler), (c) Vs hız-derinlik grafiğini, (d) tabaka kalınlığı-hız tablosunu, (e) jeolojik logu ve (f) bölgenin jeoloji haritasını ve ivmeölçer istasyonunun lokasyonunu göstermektedir. Yalnızca Şekil 15'te gösterilen noktada, ölçüm yapılan alan sert jeolojik formasyon üzerinde olduğundan (Kireçtaşları) SPAC ölçümleri bir sonuç vermemiş ve sadece H/V hesaplanabilmiştir.

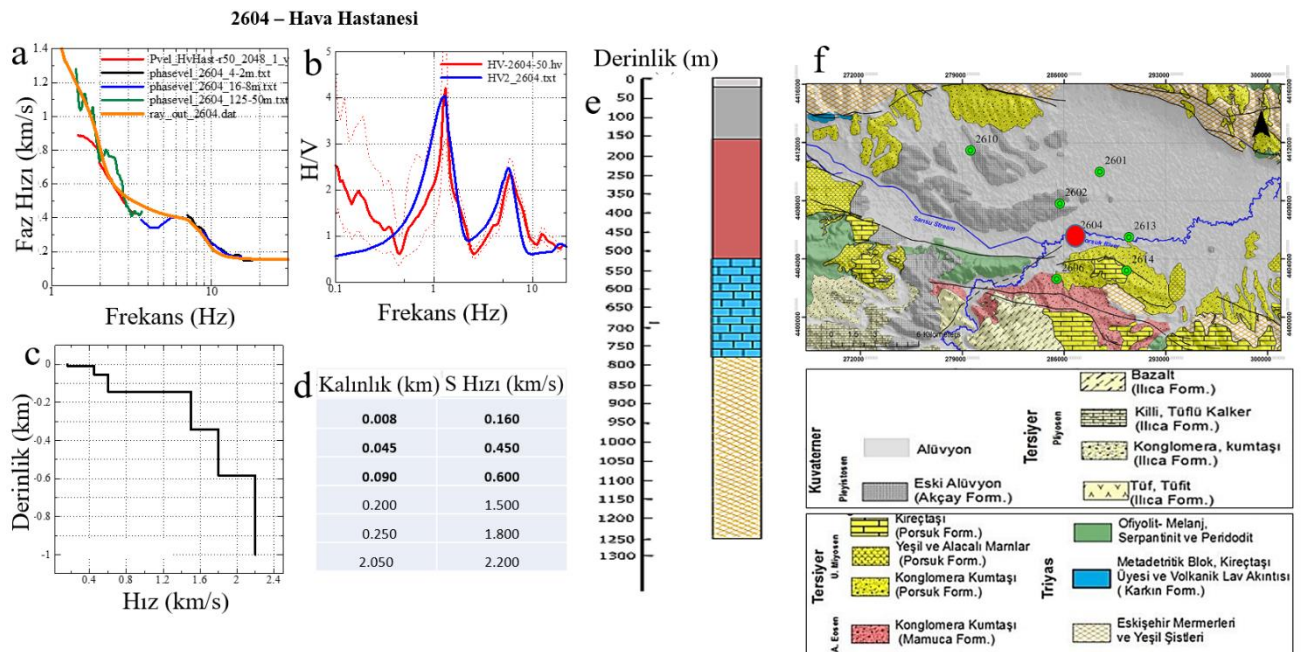


**Şekil 9.** Anadolu Üniversitesi 2-Eylül Yerleşkesinde 2601 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları

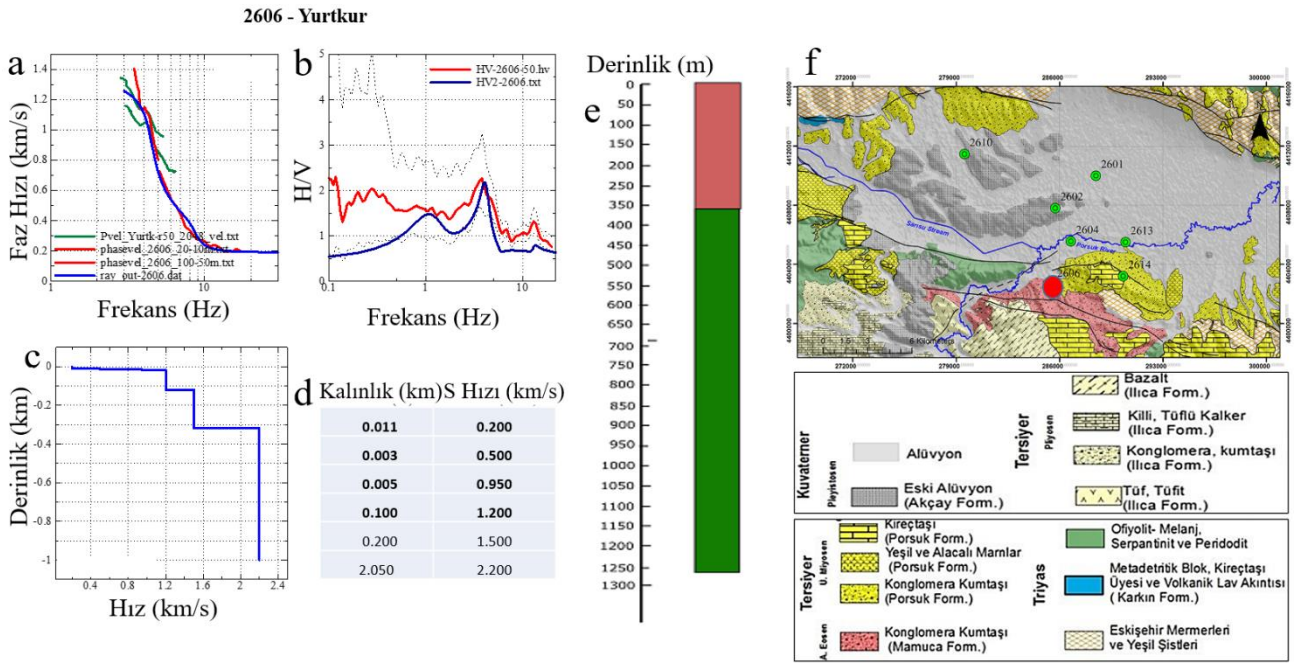
**Figure 9.** Results of the net measurements made at the accelerometer station 2601 at Anadolu University 2-September Campus



**Şekil 10.** Anadolu Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesinde 2602 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları  
**Figure 10.** Results of net measurements made at the accelerometer station point 2602 at Anadolu University Yunus Emre Campus

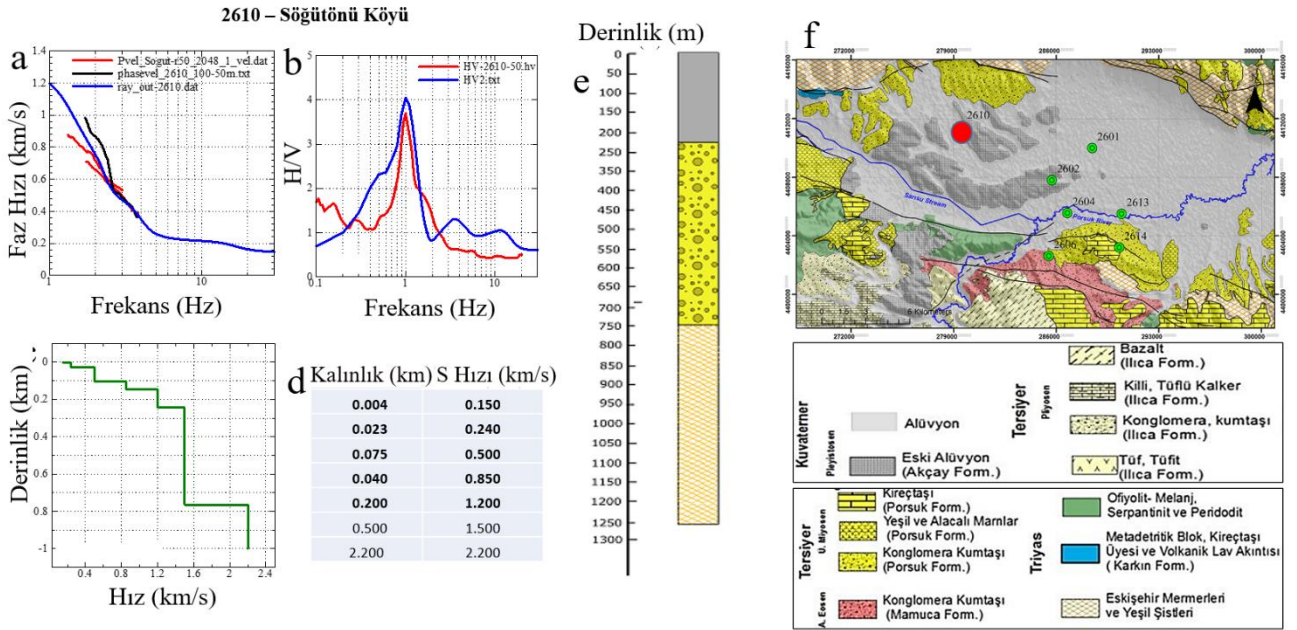


**Şekil 11.** Eskişehir Hava Hastanesinde 2604 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları  
**Figure 11.** Results of net measurements made at the accelerometer station point 2604 at Eskişehir Air Hospital



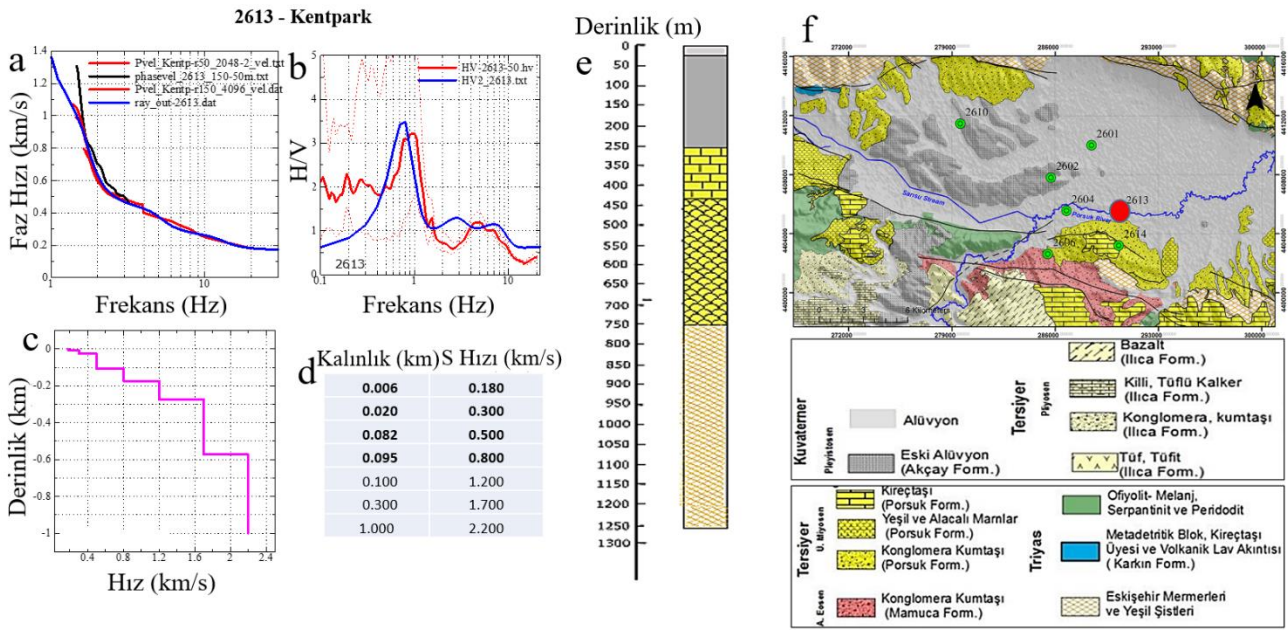
**Şekil 12.** Eskişehir Yurtkur bahçesinde 2606 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları

**Figure 12.** Results of net measurements made at accelerometer station 2606 in Eskişehir Yurtkur garden



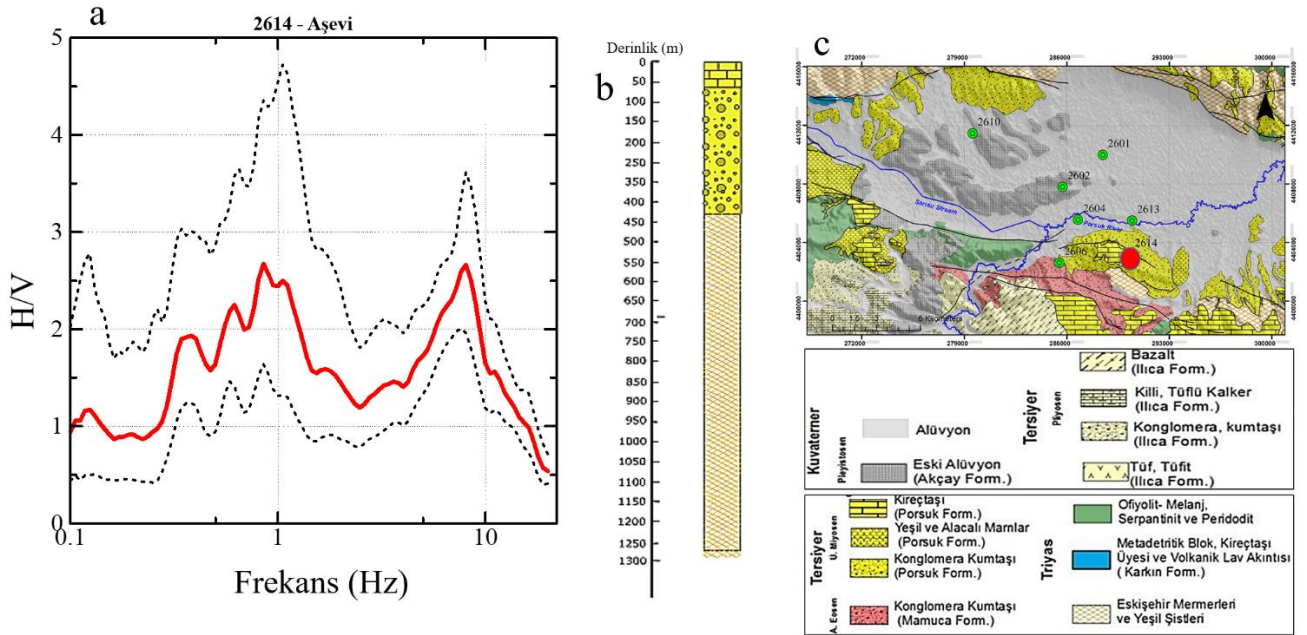
**Şekil 13.** Eskişehir Söğütönü köyünde 2610 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları

**Figure 13.** Results of net measurements made at accelerometer station 2610 in Eskişehir Söğütönü village



**Şekil 14.** Eskişehir Merkezinde Kentparkta 2613 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları

**Figure 14.** Results of the net measurements made at the accelerometer station point 2613 in Kentpark in the center of Eskişehir



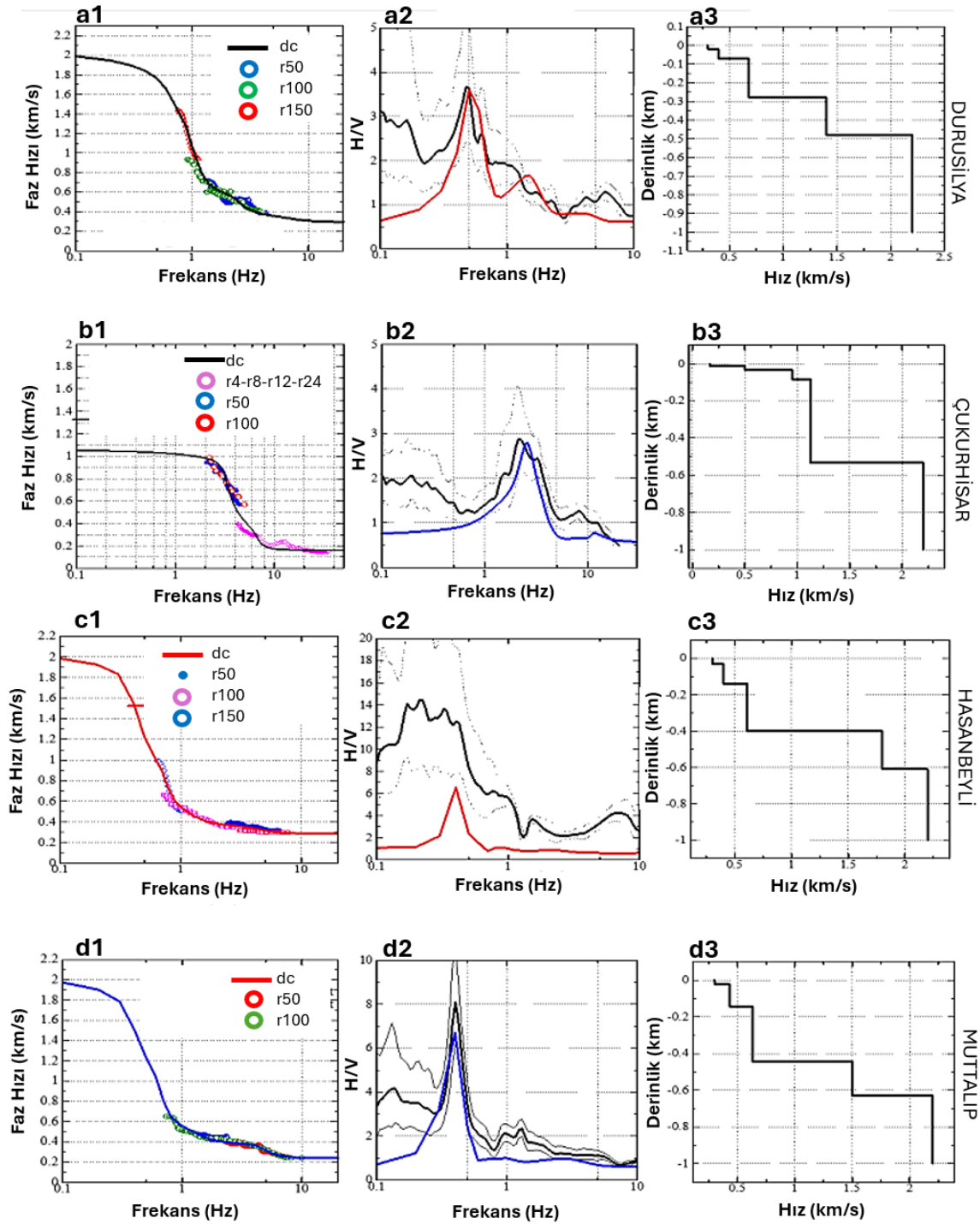
**Şekil 15.** Eskişehir Merkezinde Aşevinde 2614 no'lu ivmeölçer istasyon noktasında yapılan ağ ölçmelerinin sonuçları

**Figure 15.** Results of network measurements at accelerometer station 2614 in the Aşevinde in Eskişehir Center

Eskişehir havzasının S-dalgası yapısını daha iyi modelleyebilmek için, ivmeölçer noktalarında yapılan ölçmelere ek olarak sekiz noktada daha küçük veya büyük yarıçaplı ağ ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 8; kırmızı dörtgenler). Bu sekiz noktanın üçünde (Durusilya sitesi, Muttalıp köyü ve Hasanbeyli köyü) sadece büyük yarıçaplı ağlar kurularak (50m, 100m) ölçmeler yapılmış, Çukurhisar köyünde ise hem küçük (4m; 8m; 12m ve 24m) ve hem de büyük ağlar (50m-100m) kurularak mikrotremor ölçmeleri yapılmıştır. Bu noktalarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 16). Tablo 2'de ise dört noktadaki bir-boyutlu S dalgası hız yapıları sayısal olarak verilmiştir. Şekil 8'deki haritada görüldüğü gibi en kuzeyde yer alan basenin



dışındaki ve kenarlara doğru olan diğer 4 nokta için ise (Uludere, Keskin, Alınca, Kavacık) dispersiyon elde edilememiştir. Bunun nedeni olarak, anakayanın yüzeye çok yakın olması gösterilebilir.



**Şekil 16.** Ölçüm noktalarındaki (a1,b1,c1,d1) mikrotremor ölçmelerinden elde edilen dispersiyon (dc) eğrisi ve renkli halkalar ise hesaplanmış dispersiyon eğrilerini gösterir. (a2,b2,c2,d2) siyahlar gözlemsel, diğer renkler hesaplanmış H/V eğrilerini gösterir. (a3,b3,c3,d3) S-dalgı hızı-derinlik grafiklerini göstermektedir.

**Figure 16.** Dispersion (dc) curves obtained from microtremor measurements at the field point. (a1,b1,c1,d1) are shown by black lines, and colored rings represent calculated dispersion curves. (a2,b2,c2,d2) show observed H/V curves in black and calculated H/V curves in other colors. (a3,b3,c3,d3) show S-wave velocity-depth graphs.

**Tablo 2.** Durusilya, Çukurhiar, Muttalip ve Hasanbeyli noktalarında elde edilen bir boyutlu S-dalgası-derinlik tablosu.

**Table 2.** One-dimensional S-wave-depth table obtained at Durusilya, Çukurhiar, Muttalip and Hasanbeyli points.

Durusilya		Çukurhisar		Muttalip		Hasanbeyli	
Kalınlık (km)	Hız (km/s)	Kalınlık (km)	Hız (km/s)	Kalınlık (km)	Hız (km/s)	Kalınlık (km)	Hız (km/s)
0.020	0.300	0.012	0.170	0.022	0.300	0.030	0.300
0.050	0.400	0.020	0.500	0.120	0.430	0.110	0.400
0.210	0.680	0.050	0.950	0.300	0.630	0.260	0.610
0.200	1.400	0.450	1.125	0.188	1.500	0.210	1.800
1000	2.200	1000	2.200	1000	2.200	1000	2.200

## 5. Tartışma

### 5. Discussion

Dizilim (ağ) temelli mikrotremor ölçmeleri sonuçlarına bakıldığında küçük yarıçaplı dizilimlerde herhangi bir sorunla karşılaşılma ve iyi dispersiyon eğrileri elde edilmişse de büyük yarıçaplı ağ ölçmelerinde (200 m ve üzeri) çoğu noktada bir dispersiyon eğrisi elde edilememiştir. Bilindiği gibi dizilim temelli mikrotremor ölçme metodlarında, önemli varsayımlar olarak kullanılan tüm sensörlerin aynı jeolojik birimler üzerinde olduğu ve ayrıca yatay tabakalı bir ortam üzerinde yerleştirildiği kabul edilir. Ağ yarıçaplarının büyümesi bu varsayımların gerçekleştirilmesi olasılığını azaltmaktadır. Dolayısıyla büyük yarıçaplı ağ ölçmelerinden dispersiyon eğrilerinin elde edilememesi buna bağlanabilir. Her ne kadar büyük yarıçaplı ağlar oluşturulurken jeolojik birimler dikkate alınmaya çalışılmışsa da bazı noktalarda, özellikle ovanın bitimlendiği sınırlara yakın olan noktalarda, bundan kaçınılamamıştır.

Ayrıca, H/V metodunun ve dizilim temelli mikrotremor metodlarının ayrı-ayrı ters çözümlerinin çok çözümlü olması, H/V oranlarının ve Rayleigh dalgası temel modlarının dispersiyon eğrilerinin birleşik ters dönüşümü ile azaltılabilir. Başlangıç modellerine bağlı olarak, teorik ve gözlemsel dispersiyon eğrileri iyi bir uygunluk gösterse de çok farklı modeller elde edilebilir. Bu nedenle, bu çalışmada, dizilim temelli ölçmelerin yapıldığı noktalarda ayrıca H/V metodu da uygulanmış ve birleşik ters çözüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğu-batı ve güneybatı-kuzeydoğu yönlü profiller boyunca beraber görüntülendiğinde (Şekil 16 ve Şekil 17) Eskişehir ovasının doğuya doğru ve kuzey doğuya doğru derinleştiği görülmektedir.

Şekil 3'te gösterilen litolojik kesit incelenmiş ve ölçüm noktaları için elde ettiğimiz hızlarla ilgili yorumu yapılmıştır. 2 Eylül lokasyonunda (Şekil 9), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2) ve 300-1300 m arasında kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgede Vs-derinlik profilleri (Şekil 9c), alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), kireçtaşı tabakasında (Porsuk formasyonu) artan Vs hızları (~700-1000 m/s) ve derinlerde konglomera-kumtaşı ar dalanmasında (Porsuk formasyonu) yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

Yunus Emre lokasyonunda (Şekil 10), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2) ve 300-1300 m arasında kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgedeki Vs-derinlik profilleri (Şekil 10c), alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), kireçtaşı (Porsuk formasyonu) tabakasında artan Vs hızları (~700-1000 m/s) ve derinlerde kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanmasında yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

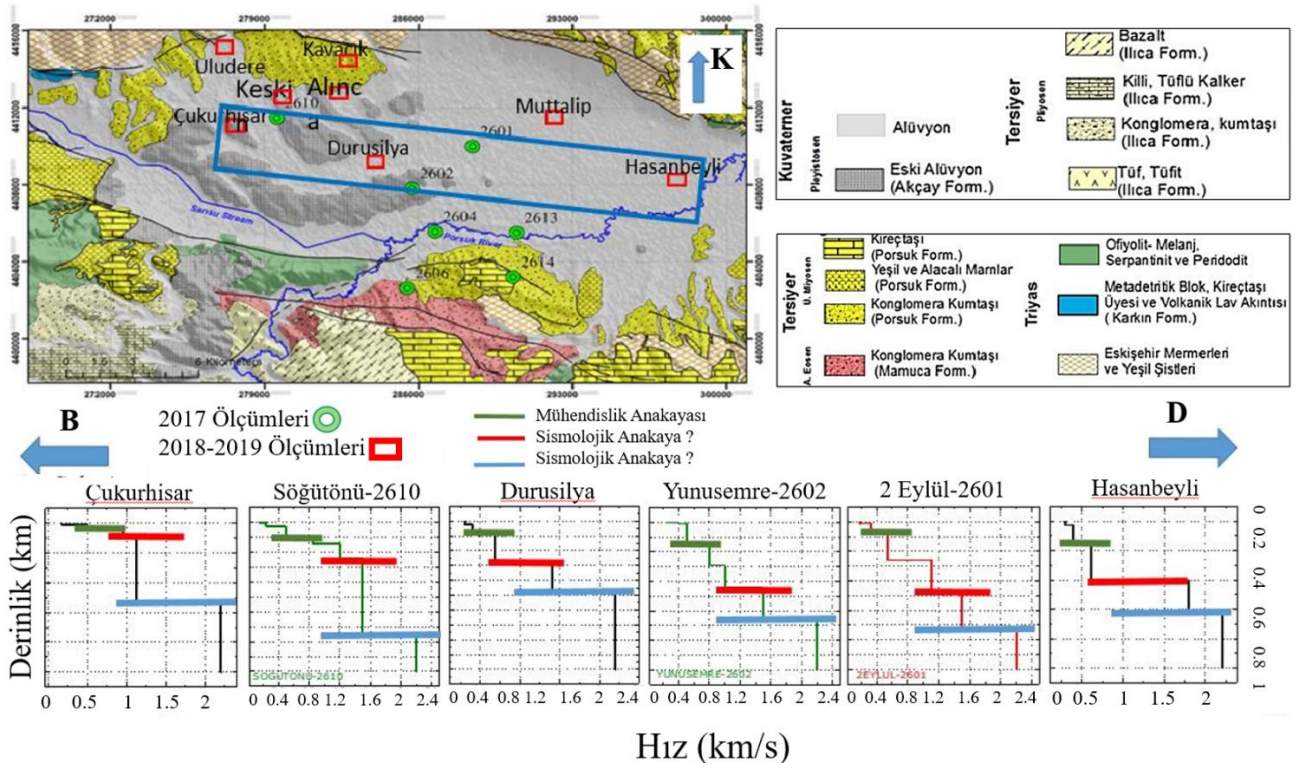
Hava Hastanesi lokasyonunda (Şekil 11), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-200 m arasında bazaltik tüf (PIBt), 200-300 m arasında bazalt (PIB) ve 300-1300 m arasında kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgede Vs-derinlik profilleri, alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), bazaltik tüf tabakasında artan Vs hızları (~500-700 m/s), bazalt tabakasında yüksek Vs hızları (~800-1000 m/s) ve derinlerde kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanmasında yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

Yurtkur lokasyonunda (Şekil 12), 0-50 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 50-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2) ve 300-1300 m arasında kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgede Vs-derinlik profilleri, alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), kireçtaşı tabakasında artan Vs hızları (~700-1000 m/s) ve derinlerde kiltası-marn-tüf-tüfit ar dalanmasında yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

Söğütönü lokasyonunda (Şekil 13), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2, ÜM3) ve 300-1300 m arasında kilaşı-marn-tüf-tüfit ardalanması (ÜM3) bulunur. Vs-derinlik profilleri, alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), kireçtaşı tabakasında artan Vs hızları (~700-1000 m/s) ve derinlerde kilaşı-marn-tüf-tüfit ardalanmasında yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

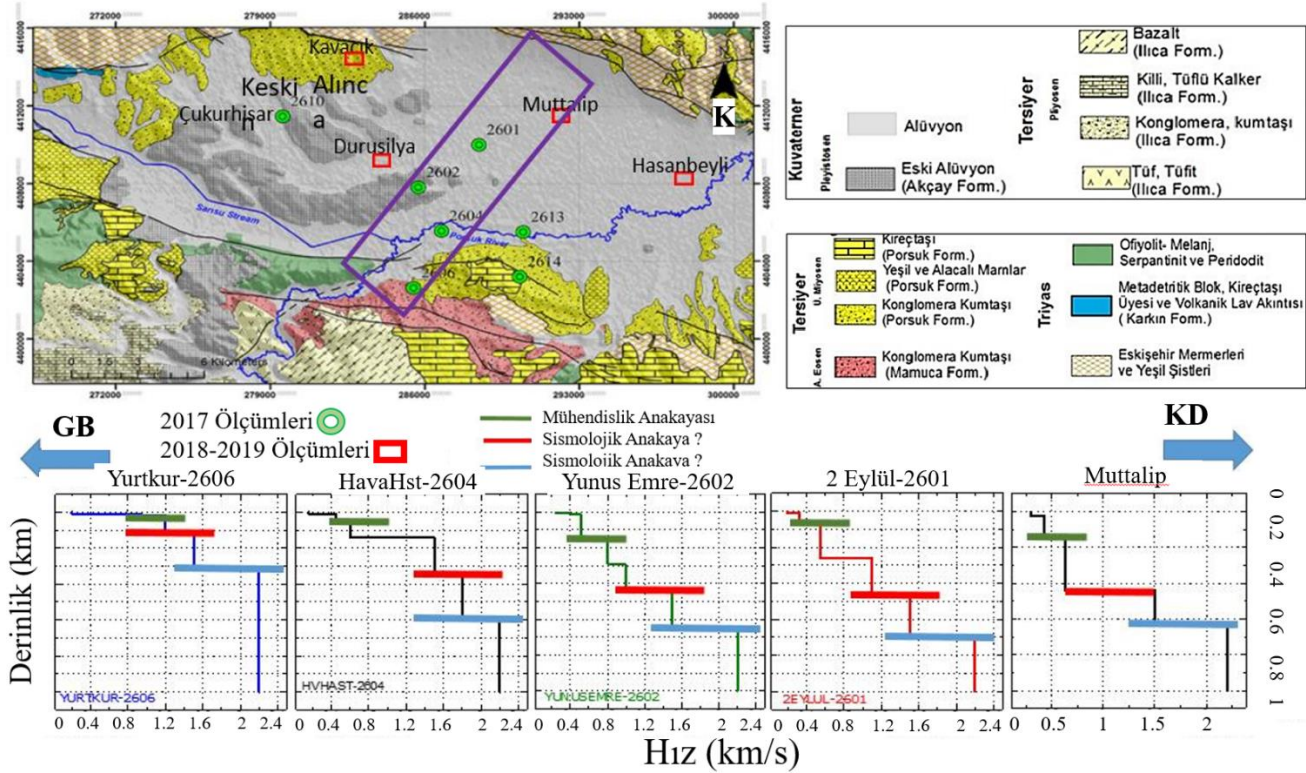
Kentpark lokasyonunda (Şekil 14), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2) ve 300-1300 m arasında kilaşı-marn-tüf-tüfit ardalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgede Vs-derinlik profilleri, alüvyonda düşük Vs hızları (~300-400 m/s), kireçtaşı tabakasında artan Vs hızları (~700-1000 m/s) ve derinlerde kilaşı-marn-tüf-tüfit ardalanmasında yüksek Vs hızları (~1200-1400 m/s) göstermektedir.

Aşevi lokasyonunda (Şekil 15), 0-100 m arasında alüvyon (QAL2, QAL1), 100-300 m arasında kireçtaşı (ÜM2) ve 300-1300 m arasında kilaşı-marn-tüf-tüfit ardalanması (ÜM3) bulunmaktadır. Bu bölgede Vs-derinlik profilleri oluşturulamamıştır. Çünkü sert jeolojik formasyon üzerinde yer alan bu nokta için SPAC yönteminden dispersiyon dalgası elde edilememiş ve bu sebeple ters çözüm işlemi ile derinlik kesiti elde edilememiştir.



**Şekil 17.** Doğu-Batı doğrultulu profil üzerinde seçilen SPAC ölçüm noktaları sonuçları. Tabaka kalınlıklarının batıdan doğuya doğru arttığı görülmektedir.

**Figure 17.** Results of selected SPAC measurement points on the east-west oriented profile. It is observed that layer thicknesses increase from west to east.

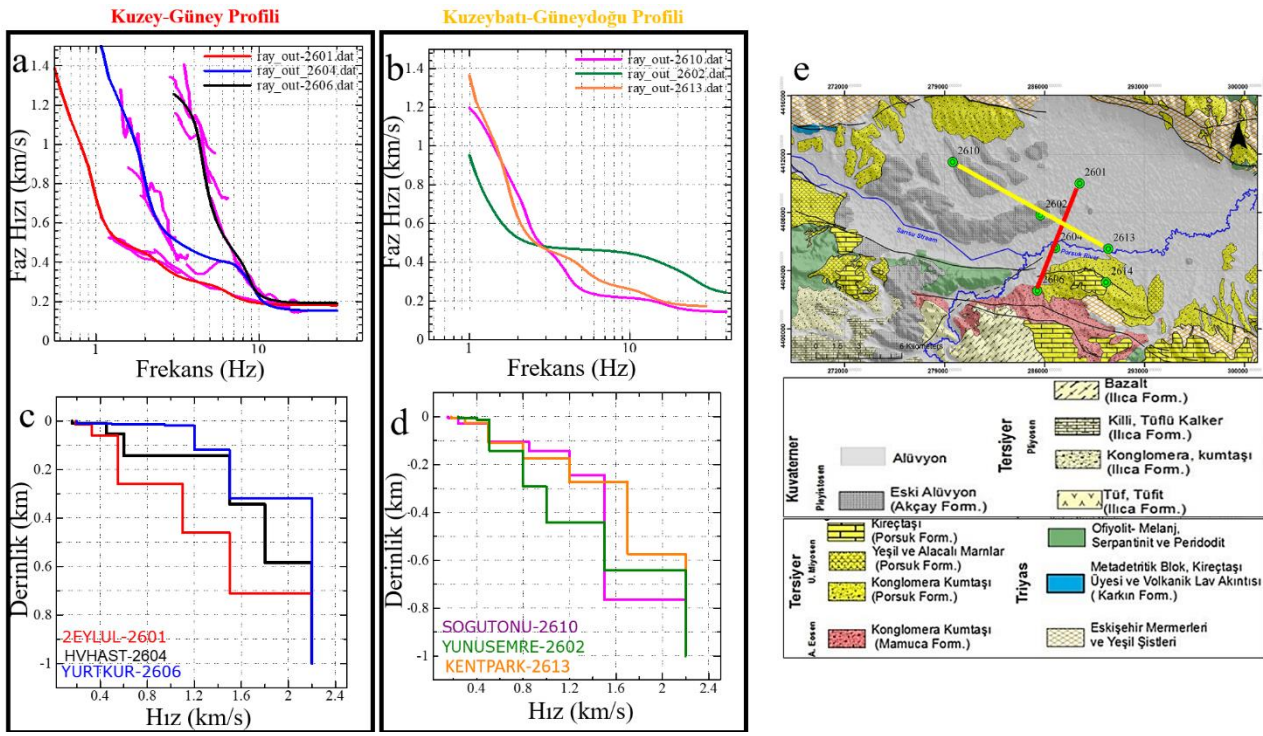


**Şekil 18.** Güneybatı - Kuzeydoğu doğrultulu profil üzerinde seçilen SPAC ölçüm noktaları sonuçları. Tabaka kalınlıklarının kuzeydoğuya doğru arttığı görülmektedir.

**Figure 18.** Results of selected SPAC measurement points on the southwest - northeast oriented profile. It is observed that the layer thicknesses increase towards the northeast.

Bölgede [Yamanaka vd. \(2018\)](#)'de yaptığı çalışmada sığ zemin katmanlarının sismik dalga büyütmelerinin üzerindeki etkisinin, 3 Hz'den yüksek frekanslarda baskın olduğu ve derin katmanların etkilerinin de 1 Hz'den daha düşük frekanslarda olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Yine başka bir çalışmada, anakaya derinliğinin en yüksek 1000 m ye kadar olduğu belirtilmiş ve 4-8 Hz arasında görülen ikinci piklerin bu çalışmada bulunan ve mühendislik anakayası olarak değerlendirdiğimiz tabakanın derinliklerine denk olduğu görülmüştür ([Tün vd., 2016](#)). Yaptığımız bu çalışmada anakaya derinliği 600-800 m olarak bulunmuş olup [Tün vd. \(2016\)](#)'nın sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

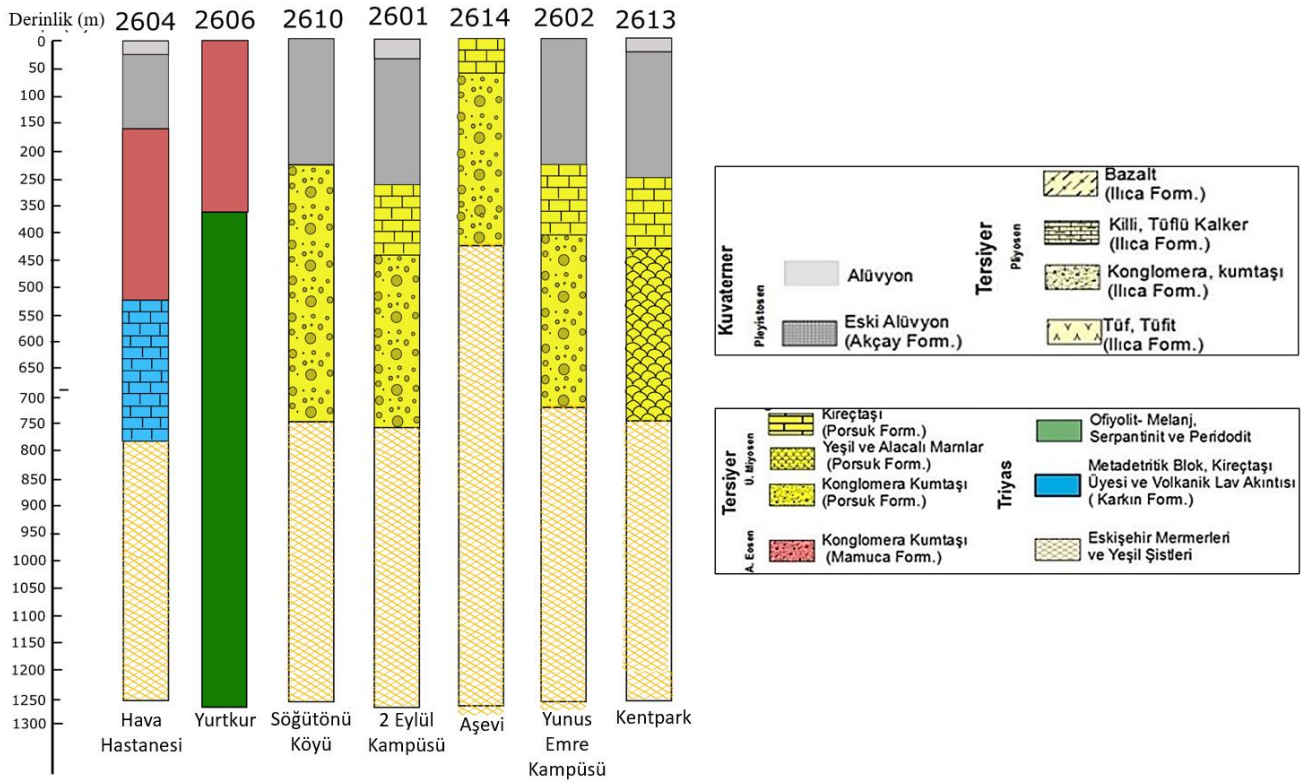
Ölçüm noktaları sayısının azlığı kesin bir değerlendirme yapmayı sınırlasa da, Şekil 17 ve Şekil 18'ya bakıldığında, yeni ve eski alüvyonların kalınlıklarının ve dolayısıyla mühendislik ve sismolojik anakaya derinliklerinin Eskişehir havzası içinde batıdan doğuya ve güneyden kuzey-kuzeydoğuya doğru arttığı görülmektedir. [Tün vd. \(2022\)](#) çalışmasında da aynı bulgular yer almış, eski ve yeni alüvyon kalınlıklarının Eskişehir havzasının doğusuna ve kuzeyine doğru arttığı bulunmuştur.



**Şekil 19.** 2017 yılında alınan ölçümlerin bir doğrultu düzleminde sonuçlarını gösteren grafikler (a) kırmızı hat (K-G) üzerindeki noktaların dispersiyon grafikleri (b) sarı hat (KB-GD) üzerindeki noktaların dispersiyon grafikleri (c) kırmızı hat üzerindeki noktaların Vs hız-derinlik grafiği (d) sarı hat üzerindeki noktaların Vs hız-derinlik grafiği (e) jeolojik harita

**Figure 19.** Graphs showing the results of 2017 measurements in a directional plane (a) dispersion graph of points on the red line (N-S) (b) dispersion graphs of points on the yellow line (NW-SE) (c) Vs velocity-depth graph of points on the red line (d) Vs velocity-depth graph of points on the yellow line (e) geological map

Şekil 19’de a ve c grafiklerinden de anlaşıldığı gibi güneyden kuzeye (kırmızı çizgi) basenin orta kesimine doğru gidildikçe kayma dalgası hızlarının 1800 m/s’lerden yaklaşık 1100 m/s’lere doğru azaldığı, b ve d grafiklerinde (sarı çizgi) ise basenin yeni alüvyon zemin üzerinde yer alan 2610 ve 2613 istasyonlarının 200 m derinliğe kadar aynı hızlarda olduğu, fakat eski alüvyon üzerinde yer alan 2602 istasyonunun daha düşük hızlarda olduğu hesaplanmıştır.



**Şekil 20.** 2017'deki ölçüm noktaları altındaki jeolojik kesitlerin toplu gösterimi

**Figure 20.** Summary of the geological cross-sections beneath the measurement points in 2017

Sismik hız verilerinin jeolojik formasyonların karakterizasyonunda sınırlı bir doğruluğa sahip olduğu için jeolojik loglar ile karşılaştırılması yaklaşık olarak yapılabilir. Bu çerçevede, Şekil 20'deki loglar ile bu çalışmada bulunan sismik hızlar karşılaştırıldığında mühendislik anakayasası eski alüvyon altında yer alırken, sismolojik anakaya da Porsuk formasyonu içinde yer alan marn, kireçtaşı ve kumtaşı birimleri altında yer aldığı söylenebilir.

## 6. Sonuçlar

### 6. Results

Yakın-yüzejeolojisinin yer hareketlerini ciddi bir şekilde büyütme potansiyeline sahip olduğu ve sismik tehlike değerlendirmelerinde çok önemli bir role sahip olduğu birçok araştırma ile ortaya konmuştur. Bu motivasyonla, Eskişehir ovasında ayrıntılı bir şekilde Vs-hız yapısını ortaya çıkarmak için pasif jeofizik ölçmeler gerçekleştirilmiştir. Bu metotlar ise tek-istasyon ve ağ/dizilim mikrotremor ölçmelerini kapsamıştır.

Eskişehir ovasının kuzey ve güney sınırlarına yakın noktalarda H/V ölçmelerinden elde edilen eğriler hemen hemen hiçbir pik değeri vermemiştir. Bu da anakayanın yüzeylendiğine işaret etmektedir. Ovanın ortalarına doğru ise H/V eğrileri keskin ve net değerler göstermiştir (0.5 Hz ile 1 Hz arasında) ki bu da sedimentler tabakalarla anakaya arasında yüksek bir empedans kontrastı olduğunu göstermektedir. Teorik transfer fonksiyonlarından bu piklerin mühendislik anakayasası yerine daha derindeki sismolojik anakayaya daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır.

Küçük ve büyük ağ/dizilim ölçmelerinden elde edilen verilerin analizi sonucunda; Sığ kısımlar için 100 m derinlikten başlayarak 200-250 m derinliklere ulaşan ve 500 m/sn den 800 m/sn hızlara varan ve mühendislik anakayasası olarak düşündüğümüz bir tabaka belirlenmiştir. Eskişehir ovası ise, ortalarına doğru en derin olarak 600-800 m'ye ulaşan ve ovanın batısında 1100 m/s den başlayarak doğuya doğru 1800 m/s'ye ulaşan Sdalgası hızlarına sahip sismolojik anakaya ile temsil edilmektedir.

Bu çalışmada yapılan mikrotremor çalışmalarından elde edilen ve sismolojik anakaya olarak düşünülen tabakanın derinlikleri ise batıdan doğuya ve güneyden kuzeye doğru artarak en derin yerde yaklaşık 800 m'ye

ulaşmaktadır. Yüzey dalgaları dispersiyon eğrilerinin ters çözümünden elde edilen ve sismolojik anakaya olarak nitelendirilen tabakanın Vs hızı 1200 m/sn ile 1800 m/sn arasında bulunmuştur.

Havza yapısının, ana kaya geometrisinin ve özellikle ana kayanın üzerinde bulunan katmanların kalınlığından kaynaklanan rezonans etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, zemin amplifikasyonunun doğru bir şekilde tahmin edilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu tür bilgiler, bölgesel sismik riskin değerlendirilmesi, sismik tehlike analizlerinin yapılması ve belirli bir coğrafi bölgenin sismik aktivite düzeyinin derinlemesine anlaşılması açısından zorunludur. Derinliklerdeki yapısal özelliklerin ve geometrinin, sismik dalgaların yayılması ve zeminin sismik dalgalarla nasıl etkileşime girdiği üzerinde belirgin bir etkisi bulunmaktadır. Bu etkileşim, sismik dalgaların amplifikasyonu ve dolayısıyla yüzeyde hissedilen sismik etkinin şiddeti üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Bu çalışma, tortul havza alanlarında, özellikle de alttaki jeolojik ve jeofiziksel yapıların karmaşıklığının ve çeşitliliğinin, yer hareketi amplifikasyonu ve sismik risk değerlendirilmesi üzerindeki etkilerini ön plana çıkarmaktadır. Eskişehir Havzası gibi alanlarda yapılan detaylı jeolojik ve jeofiziksel analizler, bu tür yapıların yer hareketi amplifikasyonu ve sismik tehlike tahminleri üzerindeki önemli rolünü ortaya koymaktadır. Bu nedenle, sismik tehlike analizleri ve risk değerlendirmeleri yapılırken, havza yapısının ve alttaki jeolojik yapıların detaylı bir şekilde incelenmesi, sismik risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında temel bir yönlendirici olarak hizmet etmelidir. Böylece, bölgesel ve yerel düzeyde sismik tehlikelerin daha doğru bir şekilde belirlenmesi ve bu tehlikelere karşı daha etkili önlemlerin alınması mümkün olacaktır.

### Yazar katkısı

#### Author Contribution

Mehmet Safa ARSLAN : Makalenin her aşaması ve değerlendirmelerinde katkı sağlamıştır.

Asım Oğuz ÖZEL : Makalenin her aşaması ve değerlendirmelerinde katkı sağlamıştır.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması

#### Conflict of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Açıklan, S., & Ocakoğlu, F. (2005). Şubat 1956 Eskişehir Depremi Hangi Faydan Kaynaklanmış Olabilir. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*.
- Aki, K. (1957). Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415-456.
- Altunel, E., & Barka, A. (1998). Neotectonic activity of Eskişehir fault zone between İnönü and Sultandere. *Geological Bulletin of Turkey*, 41(2), 41-52.
- Anderson, J., Bodin, P., Brune, J., Prince, J., Singh, S., Quaas, R., & Onate, M. (1986). Strong ground motion from the Michoacan, Mexico, earthquake. *Science*, 233(4768), 1043-1049. <https://doi.org/10.1126/science.233.4768.1043>.
- Asten, M. (1976). The use of microseisms in geophysical exploration. *PhD Thesis, Macquarie University*.
- Bard, P.-Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. *The effects of surface geology on seismic motion*, 3, 1251-1279.
- Campillo, M., & Paul, A. (2003). Long-range correlations in the diffuse seismic coda. *Science*, 299(5606), 547-549. <https://doi.org/10.1126/science.1078551>

- Canitez, N., & Üçer, S. B. (1967). Computer determinations for the fault-plane solutions in and near Anatolia. *Tectonophysics*, 4(3), 235-244. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(67\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(67)90032-7)
- Capon, J. (1970). Analysis of Rayleigh-wave multipath propagation at LASA. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(5), 1701-1731. <https://doi.org/10.1785/BSSA0600051701>
- Chevez-Garcia, F., & Bard, P. (1994). Site effects in Mexico City eight years after the September 1985 Michoacan earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13(4), 229-247. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0267-7261(94)90028-0)
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioglu, F. T., Başarır Baştürk, N., Kılıç, T., ... & Kurt, A. İ. (2018). Seismotectonic database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3277-3316. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9965-9>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). Active fault map of Turkey with explanatory text. General directorate of mineral research and exploration special publication series, 30.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Gok, E., & Polat, O. (2012). An assessment of the seismicity of the Bursa region from a temporary seismic network. *Pure and Applied Geophysics*, 169, 659-675. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0347-6>
- Gözler, M., Cevher, F., Ergül, E., & Asutay, H. J. (1996). Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. *Mineral Research and Exploration (MTA) Raporu*(9973).
- Gözler, M. Z., Cevher, F., & Küçükayman, A. (1985). Eskişehir civarınının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103(103,104).
- Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., & Akdeniz, E. (2013). Eskişehir yerleşim yerinde, CBS teknikleri kullanılarak geoteknik, yapı ve jeofizik bilgi sisteminin oluşturulması. *Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje*(080240).
- Hatayama, K., Zama, S., Nishi, H., Yamada, M., Hirokawa, Y., & Inoue, R. (2004). Long-period strong ground motion and damage to oil storage tanks due to the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Journal of the Seismological Society of Japan*, 57, 83-103. [https://doi.org/10.4294/zisin1948.57.2\\_83](https://doi.org/10.4294/zisin1948.57.2_83)
- Herrmann, R. B. (2013). Computer programs in seismology: An evolving tool for instruction and research. *Seismological Research Letters*, 84(6), 1081-1088. <https://doi.org/10.1785/0220110096>
- Horike, M. (1985). Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas. *Journal of Physics of the Earth*, 33(2), 59-96. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.33.59>
- Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3-4), 167-208. <https://doi.org/10.3166/ga.18.167-208>
- Koketsu, K., Hikima, K., Miyake, H., & Tanaka, H. (2005, 2005). *Source process and strong motions of the 2004 Niigata-Chuetsu earthquake (on 15/2/2005)*. <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chuetsu/chuetsu.html>
- Koketsu, K., & Miyake, H. (2008). A seismological overview of long-period ground motion. *Journal of Seismology*, 12(2), 133-143. <https://doi.org/10.1007/s10950-007-9080-0>
- Kudo, K. (1995). Practical estimates of site response state of art report. *Proc. 5th International Conf. Seismic Zonation*
- Kudo, K., & Sakaue, M. (1984). Oil-sloshing in the huge tanks at Niigata due to the Nihonkai-Chubu earthquake of 1983. *Bulletin of the Earthquake Research Institute-University of Tokyo*, 59, 361-382.
- Kudo, K., Sawada, Y., & Horike, M. (2004). Current studies in Japan on H/V and phase velocity dispersion of microtremors for site characterization. *Proc. 13WCEE, Paper*(1144).



- Lachetl, C., & Bard, P.-Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), 377-397. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.42.377>
- Lin, C.-M., Huang, J.-Y., Kuo, C.-H., & Wen, K.-L. (2020). Identification of engineering bedrock in Taiwan based on site amplification and velocity structures of strong-motion stations. *EGU General Assembly-Conference Abstracts*, 11988. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-11988>
- Matsushima, T. (1989). A few remarks of the scheme of observation and analysis in estimating deep geological structures by using long-period microtremors. *Geophysical Bulletin of Hokkaido University*, 52, 1-10.
- Midorikawa, S. (1993). Semi-empirical estimation of peak ground acceleration from large earthquakes. *Tectonophysics*, 218(1-3), 287-295. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90275-o](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90275-o)
- Miyakoshi, K., Horike, M., & Nakamiya, R. (2013). Long predominant period map and detection of resonant high-rise buildings in the Osaka basin, western Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(1), 247-257. <https://doi.org/10.1785/0120110334>
- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface* (0033-9008). (Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, Issue.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering,
- Nakamura, Y. (2019). What is the Nakamura method? *Seismological Research Letters*, 90(4), 1437-1443. <https://doi.org/10.1785/0220180376>
- Nazarova, S. S., & Uzdin, A. (2020). Setting peak ground accelerations for performance-based design of earthquake-resistant constructions. *Seismic instruments*, 56, 225-236. <https://doi.org/10.3103/s0747923920020085>
- Ocakoglu, F., Acikalin, S., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H., & Sonmez, H. (2007). Back-analysis of the source of the 1956 Eskişehir Earthquake using attenuation equation and damage data. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 353-360. <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0066-x>
- Ocakoglu, F., & Acikalin, S. (2010). Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia. *Journal of earth system science*, 119, 841-851. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0057-y>
- Ocal, N. (1959). Subat 1956 Eskişehir zelzelesinin makro-ve mikrosismik etudu. *ITU Sismoloji Enstitusu Yayini*.
- Okada, H., & Suto, K. (2003). *The microtremor survey method*. Society of Exploration Geophysicists. <https://doi.org/10.1190/1.9781560801740>
- Orhan, A., Seyrek, E., & Tosun, H. (2007). A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the province of Eskişehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(5), 607-614. <https://doi.org/10.5194/nhess-7-607-2007>
- Özsayin, E., & Dirik, K. (2007). Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(4), 471-492.
- Öztürk, K., Yaltirak, C., & Alpar, B. (2009). The relationship between the tectonic setting of the Lake Iznik basin and the middle strand of the North Anatolian Fault. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(2), 209-224. <https://doi.org/10.3906/yer-0803-4>
- Öztürk, S., Beker, Y., Sarı, M., & Pehlivan, L. (2021). Estimation of ground types in different districts of Gümüşhane province based on the ambient vibrations H/V measurements. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(4), 374-391. <https://doi.org/10.14744/sigma.2021.00026>
- Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y., & Mutlu, S. (2015). Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskişehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(6), 1123-1133. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1123-2015>
- Philip, S. E., & Santhi, M. H. (2020). Peak Ground Acceleration analysis using past earthquake data. *Journal of Physics: Conference Series*

- Pitarka, A., Al-Amri, A., Pasyanos, M., Rodgers, A., & Mellors, R. (2014). Long-period ground motion in the Arabian Gulf from earthquakes in the Zagros mountains thrust belt. *Pure and Applied Geophysics*, 172. <https://doi.org/10.1007/s00024-014-0858-z>
- Scherbaum, F., Hinzen, K.-G., & Ohrberger, M. (2003). Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne, Germany area using ambient vibrations. *Geophysical Journal International*, 152(3), 597-612. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2003.01856.x>
- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, B. G., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., & Aldaş, G. G. U. (2015). Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 1-20. <https://doi.org/10.3906/yer-1406-5>
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Temel, A., & Telsiz, S. (2010). Determination of main strand of a strike-slip fault by using subsidiary structures: Eskişehir Fault Zone as a case study. *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia Conference*
- Snieder, R., & Hagerty, M. (2004). Monitoring change in volcanic interiors using coda wave interferometry: Application to Arenal Volcano, Costa Rica. *Geophysical Research Letters*, 31(9). <https://doi.org/10.1029/2004gl019670>
- Sylvette, B.-C., Cécile, C., Pierre-Yves, B., Fabrice, C., Peter, M., Jozef, K., & Fäh, D. (2006). H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophysical Journal International*, 167(2), 827-837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2006.03154.x>
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Doğan, A., & Yıldırım, C. (2005). Eskişehir Fay Zonu ve deprem potansiyeli. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı, Bildiri Özleri Kitabı*, 11.
- Tan, Q., Li, Y., Wei, J., Han, J., & Luo, W. (2015). Influence of seismic ground motions with different frequency on super high-rise building structural seismic response. *Journal of Information & Computational Science*, 12(5), 1831-1843. <https://doi.org/10.12733/jics20105621>
- Tokay, F., & Altunel, E. (2005). Neotectonic activity of Eskişehir fault zone in vicinity of İnönü-Dodurga area. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 130(130), 1-15.
- Tun, M., Mutlu, S., & Pekkan, E. (2020). EstuNet: a new weak/strong-motion network with Geodatabase for Metropolitan Eskişehir and Bursa, West Anatolia, Turkey. *Turk. J. Earthq. Res*, 2(2), 193-208. <https://doi.org/10.46464/tdad.785892>
- Tün, M. (2013). *Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği* [Doktora, İstanbul Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Tün, M., Avdan, U., Kaplan, O., Güney, Y., Çabuk, A., Kaypak, B., Uyar Aldaş, G., Ecevitoglu, B., Esat, K., & Seyitoğlu, G. (2010). A new look to the Eskişehir Fault. 19th International Geophysical Congress & Exhibition, Ankara, Turkey
- Tün, M., Pekkan, E., & Mutlu, S. (2022). The depth of alluvial sediments and subsurface profiling along the Eskişehir Basin in Central Turkey using microtremor observations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(5), 169. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02676-1>
- Tün, M., Pekkan, E., Özel, O., & Güney, Y. (2016). An investigation into the bedrock depth in the Eskişehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. *Geophysical Journal International*, 207(1), 589-607. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw294>
- Usta, Y. B., & Sayıl, N. (2022). Estimation of site dynamic characteristics using ambient noise measurements in KTU campus, Trabzon, NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 125. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08887-2>
- Wapenaar, K., & Fokkema, J. (2006). Green's function representations for seismic interferometry. *Geophysics*, 71(4), SI33-SI46. <https://doi.org/10.1190/1.2213955>
- Yaltrak, C. (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, 190(1-2), 493-529. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(02\)00360-2](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(02)00360-2)

- Yamanaka, H., Özmen, Ö. T., Chimoto, K., Alkan, M. A., Tün, M., Pekkan, E., Özel, O., Polat, D., & Nurlu, M. (2018). Exploration of S-wave velocity profiles at strong motion stations in Eskisehir, Turkey, using microtremor phase velocity and S-wave amplification. *Journal of Seismology*, 22, 1127-1137. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9756-7>
- Yoshimoto, K., & Takemura, S. (2014). A study on the predominant period of long-period ground motions in the Kanto Basin, Japan. *Earth, Planets and Space*, 66, 1-7. <https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-100>

## Effectiveness of acetic and citric acid against *Staphylococcus aureus* contamination in parsley and dill

*Maydanoz ve dereotunda Staphylococcus aureus kontaminasyonuna karşı asetik ve sitrik asitin etkinliği*

Asiye USANMAZ<sup>1</sup> , Ahmet ERDOĞAN<sup>1</sup> , Alper BARAN\*<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, 25240, Erzurum

<sup>2</sup>Atatürk University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Public Health, 25240, Erzurum

• Received: 22.03.2024

• Accepted: 27.06.2024

### Abstract

Staphylococcal food intoxication from *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) species is an important food-borne disease that threatens public health in many countries. Products prepared with fresh vegetables that have not been heat treated and/or not sufficiently disinfected are particularly risky. In this study, the effects of various organic acid (acetic and citric acid) concentrations on *S. aureus* previously inoculated into parsley and dill vegetables were investigated at storage time of 0, 1, 3, 5, and 7 days. For this purpose, a total of 7 groups were formed: individually with 0.5% and 1.5% acetic and citric acid, as well as their combinations and control. The number of *S. aureus* was adjusted to  $10^2$  and  $10^6$  (log CFU/mL) numbers that known to produce toxins by spectrophotometric method. As a result of the study, acetic and citric acid were found to be more effective when combined in *S. aureus* inhibition. It was observed that this effect varies depending on the microbiological load, acid concentration and storage days of the vegetables. It was also determined that the organic acids used had a better effect on the parsley than the dill vegetable.

**Keywords:** Acetic acid, Citric acid, Dill, Parsley, *Staphylococcus aureus*

### Öz

*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) türlerinden kaynaklı stafilokokal gıda intoksikasyonu birçok ülkede halk sağlığını tehdit eden gıda kaynaklı önemli bir hastalıktır. Isıl işlem görmemiş ve/veya yeterince dezenfekte edilmemiş taze sebzelerle hazırlanan ürünler özellikle risklidir. Bu çalışmada, daha önce maydanoz ve dereotu sebzelerine inokule edilen *S. aureus*'un 0., 1., 3., 5. ve 7. depolama sürelerinde çeşitli organik asit (asetik ve sitrik asit) konsantrasyonlarının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla toplam 7 grup oluşturulmuştur: ayrı ayrı %0,5 ve %1,5 asetik ve sitrik asit ile bunların kombinasyonları ve kontrol. *S. aureus* sayısı spektrofotometrik yöntemle  $10^2$  ve toksin ürettiği bilinen  $10^6$  (log KOB/mL) sayısına ayarlanmıştır. Çalışma sonucunda asetik ve sitrik asitin *S. aureus* inhibisyonunda kombinasyon halinde kullanıldığında daha etkili olduğu bulunmuştur. Bu etkinin sebzelerin mikrobiyolojik yüküne, asit konsantrasyonuna ve saklama günlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca kullanılan organik asitlerin maydanoz sebzesine dereotu sebzесinden daha iyi etki ettiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Asetik asit, Sitrik asit, Dereotu, Maydanoz, *Staphylococcus aureus*

\*Alper BARAN; alper.baran@atauni.edu.tr

## 1. Introduction

Staphylococcal food poisoning is a significant public health concern caused by the ingestion of food contaminated with *Staphylococcus aureus* bacteria. *S. aureus* can contaminate foods in a variety of ways. *S. aureus* is a bacterium that can colonize the skin and mucous membranes of normal people and animals, and usually does not cause infection. However, when the foods are contaminated with the species that can produce enterotoxins of this microorganism, poisoning occurs depending on the consumption of food, if the conditions are suitable. This is known to occur due to the presence of the pathogen in the raw material and / or foodstuff, contamination of food from the equipment and improper storage conditions (Lehel et al., 2021; Onyeaka et al., 2024). One third of foodborne gastrointestinal diseases are thought to be caused by *S. aureus*. 23 different heat-resistant staphylococcal enterotoxins (SE), which have been produced by certain *S. aureus* strains and have been identified so far, are held responsible for staphylococcal food poisoning (Abolghait et al., 2020).

Vegetables are an essential component of a healthy diet, providing a plethora of nutrients and benefits to our overall well-being. However, they can also be a breeding ground for contamination if proper precautions aren't taken. On the other hand, the trend towards healthy foods with a low-calorie value and low weight gain caused the demand for salads to increase (Otto et al., 2020). The fact that these foods are consumed fresh and rich in vitamin content are among the reasons why they are preferred for healthy nutrition. The microbiological loads of fresh vegetables are high and the main reason for this is the use of contaminated irrigation water in agriculture. Contamination also occurs during transportation, storage and processing (Rahman et al., 2022). In this context, sandwiches and salads prepared with fresh vegetables contaminated with pathogenic microorganisms can cause food poisoning.

The disinfection of fresh green leafy vegetables is important in the light of all that is told. For this purpose, many disinfection methods are used. However, problems such as the disinfectants used to leave residue or inadequate disinfection depending on the surface properties were encountered (Mendoza et al., 2022). The washing process is a critical step in the processing of fresh vegetables to block microorganism's growth and maintain the food quality. However, frequent and repeated use of chemicals used in this method to remove microorganisms may cause pathogens to develop resistance (Park et al., 2013). The growing concern for the disinfectants used in this (Dandie et al., 2020) context has revealed the need to use more natural methods. To overcome this problem, the use of natural disinfectants has been tried. For this purpose, the use of organic acids has been in question. The antimicrobial effect of organic acids results from lowering the ambient pH and impairing the permeability of the cell membrane. In addition, since organic acids are weak acids, they can migrate from the microorganism membrane to the cytoplasm where they dissolve, lowering the pH of the cytoplasm and causing the bacteria to die (Ji et al., 2023). Organic acids such as acetic and citric acid used for these purposes are also used as food additives. These acids are often suitable for use in ready-to-eat foods in the form of vinegar and lemon juice (Karam et al., 2023; Lopes et al., 2022). Indeed, these organic acids have Generally Recognized As Safe (GRAS) status and are used in plant disinfection due to their antimicrobial effects (Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, 2013; Islam et al., 2022; Park et al., 2013).

*S. aureus* is the most common pathogen associated with food poisoning resulting from improper handling of ready-to-eat products such as vegetables (Tang et al., 2015). Although its antimicrobial effect is known, parsley, one of these vegetables, showed some bactericidal properties against all bacteria tested except *S. aureus*. A study reported that parsley extract has antibacterial activity against Gram-negative bacteria, including *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) and *Escherichia coli* (*E. coli*), but no inhibitory effect was observed against *S. aureus* (El Astal et al., 2004). In this context, it is understood that parsley does not have the ability to eliminate *S. aureus* by internal effect as a result of possible contamination. Dill, another important vegetable, has a significant potential for contamination by *S. aureus*. While the presence of more than log CFU/g of *E. coli* was reported in dill-flavored cheeses, the presence of *S. aureus* was reported only in dill ( $3.66 \pm 1.86$  log CFU/g), one of the ingredients used in its production (Petróczki et al., 2018). It is clear that there is a need to eliminate *S. aureus*, which may be a potential risk in the vegetables in question. As a matter of fact, the combination of natural technologies with antimicrobial/preservative effects is used in the food industry to protect food quality, especially in vegetables, and to destroy or control pathogens (Ijabadeniyi et al., 2020). Thus, the effects of various concentrations of acetic and citric acid on *S. aureus* were investigated in this study. For this purpose, parsley and dill plants were used. The effects of these acids on *S. aureus* have been observed for storage days.

## 2. Material and Method

### 2.1. Study design

The following experimental design has been created for the experiments to be carried out primarily. All experiments were done in three replicates for parsley and dill (Table 1).

**Table 1.** Experimental groups used in this study

Groups	Description
1	0.5% Acetic acid
2	1.5% Acetic acid
3	0.5% Citric acid
4	1.5% Citric acid
5	0.5% Acetic acid + 0.5% Citric acid
6	1.5% Acetic acid + 1.5% Citric acid
7	Control

Organic acids are prepared by taking into consideration the above concentrations. Citric acid was obtained from the local market (Bağdat Baharat, Turkey) and acetic acid was obtained from Merck (Merck, 100058, Darmstadt, Germany).

### 2.2. Preparation of samples

Fresh parsley and dill samples were obtained from central vegetable market in Erzurum, Turkey. Fresh parsley and dill bundles brought to the laboratory under a cold chain were washed with distilled water and cleaned from coarse dirt, then shaken to remove excess water and kept at room temperature for 30 min. It was then put in sterile polyethylene packages to prevent possible contamination.

### 2.3. Preparation of *S. aureus* culture

NCTC 10654 *S. aureus* strain was incubated in 100 mL Brain Heart Infusion (BHI) broth (Oxoid, Basingstoke, Hampshire, England) for 24 hours at 37 °C and then divided into 50 mL falcon tubes. These tubes were then centrifuged at x5000 g for 15 minutes. At the end of the centrifuge supernatant was discarded and the pellet was washed with 0.90% sterile saline. This process was repeated 3 times. Then, serial dilutions up to 10<sup>-6</sup> from the pellet in 0.90% sterile saline was taken and absorbance was measured with a spectrophotometer at a wavelength of 696 nm. Of the prepared dilutions up to 10<sup>-6</sup>, 0.1 mL was spread onto Baird Parker (BP) agar with egg yolk tellurite emulsion. The counting of microorganisms was performed after 24 hours incubation at 37 °C and the calibration curve was drawn and the formula ( $y = mx + c$ ) based on the number of bacteria × absorbance value was obtained by the data obtained from the spectrophotometric measurement. According to this formula, 10<sup>-2</sup> and 10<sup>-6</sup> bacteria numbers have been adjusted by making use of the equality (Equation 1) of

$$y=1.220x-0.043 \quad (1)$$

Here, y indicates the dilution factor and x indicates the absorbance value. It was matched with the dilution factor corresponding to the determined OD value, and then multiplied by our standard's log CFU/mL to calculate the number of microorganisms' present.

### 2.4. Inoculation of *S. aureus* to vegetable samples

The previously prepared inoculum was filled in polyethylene packages containing 250 g parsley and dill and 250 mL distilled water, and the vegetables were kept in this solution for 1 min. Then the water was drained and kept at 20 °C for 24 h.

## 2.5. Application of acetic acid and citric acid to vegetable samples inoculated with *S. aureus*

One of the polyethylene packages containing *S. aureus* inoculated vegetables was determined as a control, and the remaining packages were left for 10 min after adding the acids at the concentrations that we determined previously, and excess liquid was removed. Then vegetables in polyethylene bags were kept at +4 °C for 7 days.

## 2.6. Determination of count of *S. aureus* and growth inhibition level

Immediately after disinfection, 10 grams of samples were taken on days 0, 1, 3, 5 and 7 from samples stored at +4 °C and transferred to stomacher bags with filter containing 90 ml of sterile peptone water and homogenized on Stomacher for 1 min. 0.1 ml of suitable dilutions ( $10^{-1}$  to  $10^{-5}$ ) prepared from this homogenate were spread onto Baird Parker (BP) agar with egg yolk tellurite emulsion. Typical colonies (1-1.5 mm diameter, transparent, black glossy colonies) were counted following incubation condition at 37 °C for 24 hours. The results obtained have been converted to logarithmic values.

In addition to bacterial counts, growth inhibition levels (GILs) of *S. aureus* resulting from the action of organic acids were calculated using the following equation (Equation 2) applied by Sağdıç (2003):

$$GIL(\%) = \frac{(P_C - P_T)}{P_C} \times 100 \quad (2)$$

Here, PC and PT represent the number of *S. aureus* in samples exposed to control and organic acids, respectively.

## 2.7. Statistical analysis

The results obtained from the experiment were evaluated using the SPSS statistics program (Version 19, IBM). The Duncan's Multiple Range Test was used to determine the difference between the groups. Significance range was set at 0.05.

## 3. Results

The evaluation of the results obtained with the experiments was done separately for parsley and dill. As a result of the trials, *S. aureus* could not be detected in both parsley and dill samples that were inoculated with *S. aureus* at  $10^2$  inoculum level after acid applications. Therefore, the findings below are based on trials with  $10^6$  inoculum level.

According to the experimental design, the results of the organic acid application applied to parsley are given in Table 2. Accordingly, it was observed that the amount of *S. aureus* generally decreases, including from the first day to the 7th day, after the application of all acids individually and in combination. Considering the storage days, the continuous decrease in the amount of *S. aureus* in parsley samples with low concentrations (0.5%) of organic acid was observed to be higher between 0 and 1 days compared to other consecutive days. On the other hand, when the single and combine high concentrations of both acids (1.5%) were used, it was observed that the continuous decrease in parsley samples was higher between the 5th and 7th days compared to the other consecutive days. Indeed, the lowest bacterial population was observed in the 1.5% CA, 1.5% AA and 1.5% AA + 1.5% CA groups at a reduction on 1.76, 2.53, and 2.41 log, respectively. This reduction seen between days was found statistically significant compared to the control group ( $p < 0.05$ ) (Table 2).

Organic acid results applied to dill in accordance with the experimental design are given in Table 3. Accordingly, the amount of *S. aureus* after application of all acids individually and in combination has shown a generally variable character from the day of application. As can be seen from the values given in Table 3, it was observed that the continuous decrease in dill samples, where single and combine high concentrations (1.5%) of both acids were used, was higher between the 5th and 7th days compared to the other consecutive days. As a matter of fact, a decrease of 3.21 log was found in the 1.5% AA + 1.5% CA group compared to the initial inoculation level. This decrease observed between days was statistically significant compared to the control group ( $p < 0.05$ ) (Table 3).

**Table 2.** Antibacterial activity of acetic and citric acid against  $10^6$  log CFU/mL *S. aureus* on parsley

Groups	Storage days (log CFU/g)				
	0	1	3	5	7
0.5% AA	5.46±0.15 <sup>Cb</sup>	4.89±0.15 <sup>Ca</sup>	4.58±0.10 <sup>Bc</sup>	4.46±0.18 <sup>Ec</sup>	4.34±0.10 <sup>Dc</sup>
1.5% AA	5.03±0.11 <sup>Be</sup>	4.32±0.13 <sup>Bd</sup>	4.02±0.16 <sup>Ac</sup>	3.66±0.11 <sup>Cb</sup>	2.50±0.10 <sup>Aa</sup>
0.5% CA	4.80±0.15 <sup>ABc</sup>	4.39±0.18 <sup>Bb</sup>	4.16±0.10 <sup>Aa</sup>	4.37±0.13 <sup>Eb</sup>	4.02±0.15 <sup>Ca</sup>
1.5% CA	4.60±0.15 <sup>Ac</sup>	4.04±0.16 <sup>Ab</sup>	4.03±0.21 <sup>Ab</sup>	4.04±0.14 <sup>Db</sup>	2.84±0.11 <sup>Ba</sup>
0.5%+0.5% (AA+CA)	4.84±0.11 <sup>Bd</sup>	4.84±0.11 <sup>Cd</sup>	4.59±0.14 <sup>Bc</sup>	3.28±0.10 <sup>Ba</sup>	4.12±0.16 <sup>CDb</sup>
1.5%+1.5% (AA+CA)	4.94±0.13 <sup>Bd</sup>	4.67±0.10 <sup>Cc</sup>	4.35±0.11 <sup>Bb</sup>	2.43±0.11 <sup>Aa</sup>	2.53±0.17 <sup>Aa</sup>
Control	5.74±0.09 <sup>Da</sup>	6.41±0.07 <sup>Db</sup>	6.8±0.12 <sup>Cc</sup>	7.22±0.10 <sup>Fd</sup>	8.55±0.13 <sup>Ee</sup>

A–F, The same uppercase letters within the same column for each sample show that the results are not statistically significantly different ( $p>0.05$ ).

a–e, The same lowercase letters within the same row for each sample show that the results are not significantly different ( $p>0.05$ ).

AA, Acetic Acid; CA, Citric Acid.

The result was expressed as mean ± standard deviation

It was observed that there were irregular increases and decreases in both parsley and dill during the storage period. This may be due to competition with *S. aureus* due to activation and/or inactivation of natural microbial flora found in vegetables. Another scenario is that the irregular shape of the plants affected the ability of the bacteria to attach to the tested plants.

**Table 3.** Antibacterial activity of acetic and citric acid against  $10^6$  log CFU/mL *S. aureus* on dill

Groups	Storage days (log CFU/g)				
	0	1	3	5	7
0.5% AA	5.13±0.06 <sup>Cc</sup>	3.59±0.02 <sup>Ba</sup>	5.15±0.03 <sup>Dc</sup>	5.26±0.06 <sup>Dd</sup>	4.58±0.07 <sup>Db</sup>
1.5% AA	4.47±0.08 <sup>Be</sup>	3.04±0.06 <sup>Ab</sup>	2.43±0.16 <sup>Aa</sup>	3.53±0.07 <sup>Bc</sup>	3.90±0.12 <sup>Bd</sup>
0.5% CA	5.02±0.06 <sup>Cc</sup>	4.71±0.22 <sup>Eb</sup>	4.57±0.06 <sup>Cab</sup>	4.39±0.08 <sup>Ca</sup>	4.35±0.04 <sup>Ca</sup>
1.5% CA	5.30±0.15 <sup>Dd</sup>	4.20±0.15 <sup>Da</sup>	5.21±0.13 <sup>Dd</sup>	5.02±0.06 <sup>Cc</sup>	4.78±0.17 <sup>Db</sup>
0.5%+0.5% (AA+CA)	5.30±0.08 <sup>Dd</sup>	4.00±0.13 <sup>Ca</sup>	5.24±0.12 <sup>Dd</sup>	4.92±0.12 <sup>Cc</sup>	4.68±0.02 <sup>Db</sup>
1.5%+1.5% (AA+CA)	4.28±0.12 <sup>Ad</sup>	3.72±0.06 <sup>Bc</sup>	4.12±0.16 <sup>Bd</sup>	3.48±0.15 <sup>Ab</sup>	1.92±0.14 <sup>Aa</sup>
Control	5.46±0.08 <sup>Da</sup>	6.50±0.06 <sup>Fb</sup>	6.66±0.12 <sup>Eb</sup>	7.10±0.09 <sup>Ec</sup>	7.70±0.12 <sup>Ed</sup>

A–F, The same uppercase letters within the same column for each sample show that the results are not statistically significantly different ( $p>0.05$ ).

a–f, The same lowercase letters within the same row for each sample show that the results are not significantly different ( $p>0.05$ ).

AA, Acetic Acid; CA, Citric Acid.

The result was expressed as mean ± standard deviation

#### 4. Discussion

Although different studies have been conducted in the food industry to control pathogens in foods, effective chemical methods to reduce the microbial load associated with fresh produce such as vegetables are not widespread. In different studies in the literature, most of the studies aimed at reducing the pathogen load have not been implemented on an industrial scale. In this context, it is necessary to ensure the applicability of scientific studies in the industrial field (Mostafidi et al., 2020). On the other hand, *S. aureus*, one of the gram-positive microorganisms, is relatively resistant to the methods used, and therefore this study investigated the potential of using organic acid-based agents for its mitigation in two selected vegetables (parsley and dill).

The effects of acetic and citric acid applications on the number of *S. aureus* in parsley and dill samples were found at different levels. Combined use of high doses of acetic and citric acid has significantly reduced the number of microorganisms in parsley and dill samples. It has been reported that the acetic and citric acid applications were more effective on the decreasing of number of *S. aureus* in Tabbouleh salad (Al-Rousan et al., 2018). The combination with 1.4% citric acid or 0.3% acetic acid has been reported to lead to a 3.2 log CFU/g reduction in the number of *S. aureus* in this study on the 7th day of storage at 4 °C.



According to our best knowledge, studies examining the effects of these organic acids on the presence of *S. aureus* in vegetables are limited. In a study, it was stated that *Escherichia coli* O157: H7 growth had the highest inhibition effect on the first day of storage in those treated with basil leaf with 2% of different organic acids (acetic, lactic and citric) (Valiolahi et al., 2019). Osaili et al. (2015) reported that the number of *S. aureus* in eggplants stored at 4 °C decreased with increasing citric acid concentration and reached > 3.0 log CFU/g on the 15th day. The result in question matches our data. On the other hand, the most striking result is that *S. aureus*, which is found in plant samples at low inoculum level, is completely inhibited in the presence of organic acids (low/high concentration and/or combine). It has been reported that 1% and 2% acetic acids applied to *Salmonella enteritidis* inoculated into strawberries cause approximately 1 logarithmic decrease (Lepaus et al., 2020). Wu et al. (2000) reported that dipping and keeping all the parsley leaves in vinegar with an acidity of 5.2% for 5 minutes caused 6 log reduction in the number of *Shigella sonnei* (the number before the study was 7.07). In addition, it has been stated that parsley leaves have a 5-minute exposure with vinegar, whose acidity is 7.6%, and that the number of pathogens has decreased very much, even to a level that cannot be counted (<0.6 log). In another study on this subject, a significant decrease in the amount of *Escherichia coli* (1.3 log CFU/g) was observed in lettuce washed for two minutes with 0.5% acetic acid, and it was reported that this reduction did not change even when the acetic acid concentration was increased to 1% (Käferstein & Abdussalam, 1999). Mols and Abee (2011) reported that acetic acid promotes the formation of reactive oxygen species that can cause cell death of *Bacillus subtilis*. In our current study, this may be associated with the presence of this condition as a possible mechanism of the inhibitory effect of acetic acid on *S. aureus*.

One of the important results obtained in this study is that acetic acid is more effective than dill in parsley in decreasing the number of *S. aureus*. This situation is thought to be caused by antimicrobial substances in the structure of parsley. In previous studies with parsley (*Petroselinum crispum*), it has been reported that the leaf extracts of the plant have a strong antimicrobial effect (Ali-Shtayeh et al., 2000). It has been reported that tartaric acid, one of the organic acids, has an antimicrobial effect against *S. aureus* in freshly cut asparagus lettuce when combined with plasma-activated water. This effect is probably associated with the penetration of organic acid into the bacterial cell membrane and therefore increasing osmotic stress and/or inhibition of the synthesis of biomolecules in living organisms (Wu et al., 2024).

Organic acids destroy the cell membrane, causing the formation of a more acidic environment in the intercellular environment. Therefore, it inhibits the necessary metabolic reactions of microorganisms. In this case, accumulation of toxic anions and inhibition of cell growth can occur (Parish et al., 2003). This feature is influenced by some factors such as cell membrane permeability, undissociated acids, chain lengths and environmental conditions. In our current study, binary organic acid combinations showed significant effects on the reduction of *S. aureus*. This can be said to arise from external factors such as pH and heat shock stress, as explained in the previous sentence, impairing membrane functionality and inhibition of cell growth.

Organic acids have begun to be used as alternative and natural compounds for food antimicrobial activity due to their low cost and effectiveness. Although their use in high concentrations can have caustic and toxic effects, typical dilutions of use are considered not to cause irritation and toxicity (Deng et al., 2020). Acetic and citric acid have low toxicity and are widely used as pH regulators and pharmaceutical agents. Moreover, the antimicrobial activities of these acids against different types of microorganisms have been shown in studies (Červenka et al., 2004; Olaimat et al., 2017; Turhan et al., 2022). In this study, their bactericidal effects on *S. aureus* in real foods were observed. While a limited effect was observed individually for both organic acids they have been found to be more effective when used in combination with a synergistic effect.

## 5. Conclusion

It is known how important natural nutrition is today. Food additives and their suitability for health are discussed. All these discussions will be effective in continuing the searches on this subject by ensuring that the use of organic substances in the processing of foods remains current. Based on this study, different organic acids and their concentrations can also be tried to prevent the development of pathogenic microorganisms in vegetables. In addition, automation can be facilitated by establishing a system in food establishments, using organic acids in order to economically remove possible contaminations from *S. aureus* in vegetables

## Acknowledgement

This project was supported by Ataturk University Unit of Scientific Projects Project no: FHD-2017-6175, thus the authors thank Atatürk University for this financial support.

## Author contribution

A.U.: contributed to conceptualization of the study, data analysis and collection, and manuscript preparation; read and approved the final manuscript; and served as principal author. A.E.: contributed to conceptualization of the study, data analysis, and manuscript preparation and read and approved the final manuscript. A.B.: contributed to preparation and critical review of the manuscript and read and approved the final manuscript.

## Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

## Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Abolghait, S. K., Fathi, A. G., Youssef, F. M., & Algammal, A. M. (2020). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolated from chicken meat and giblets often produces staphylococcal enterotoxin B (SEB) in non-refrigerated raw chicken livers. *International Journal of Food Microbiology*, 328, 108669. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108669>
- Al-Rousan, W. M., Olaimat, A. N., Osaili, T. M., Al-Nabulsi, A. A., Ajo, R. Y., & Holley, R. A. (2018). Use of acetic and citric acids to inhibit *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium and *Staphylococcus aureus* in tabbouleh salad. *Journal of Food Microbiology*, 73, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.001>
- Ali-Shtayeh, M. S., Yaniv, Z., & Mahajna, J. (2000). Ethnobotanical survey in the Palestinian area: a classification of the healing potential of medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1-2), 221-232. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00316-0](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00316-0)
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2013). Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control*, 29(1), 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.073>
- Dandie, C. E., Ogunniyi, A. D., Ferro, S., Hall, B., Drigo, B., Chow, C. W. K., Venter, H., Myers, B., Deo, P., Donner, E., & Lombi, E. (2020). Disinfection options for irrigation water: Reducing the risk of fresh produce contamination with human pathogens. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(20), 2144-2174. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1704172>
- Červenka, L., Malíková, Z., Zachová, I., & Vytrásová, J. (2004). The effect of acetic acid, citric acid, and trisodium citrate in combination with different levels of water activity on the growth of *Arcobacter butzleri* in culture. *Folia microbiologica*, 49(1), 8-12. <https://doi.org/10.1007/BF02931638>
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Pan, Z., Vidyarthi, S. K., Xu, J., Zielinska, M., & Xiao, H. W. (2020). Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(15), 2481-2508. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649633>
- El Astal, Z. Y., Ashour, A. A., & Kerrit, A. (2003). Antimicrobial activity of some medicinal plant extracts. *West African Journal of Pharmacology and Drug Research*, 19, 16-21. <https://doi.org/10.4314/wajpdr.v19i1.14727>
- Ijabadeniyi, O. A., Mbedla, A., & Ajayeoba, T. A. (2020). Microbiological quality and antimicrobial efficacy of combined oregano essential oil and acetic acid on fresh lettuce. *Italian Journal of Food Science*, 32(2), 399-409. <https://doi.org/10.14674/IJFS-1566>

- Islam, M. A., Amin, S. M. N., Brown, C. L., Juraimi, A. S., Uddin, M. K., & Arshad, A. (2022). Determination of the most efficient household technique for the reduction of pesticide residues from raw fish muscles. *Foods*, *11*(9), 1254. <https://doi.org/10.3390/foods11091254>
- Ji, Q.-Y., Wang, W., Yan, H., Qu, H., Liu, Y., Qian, Y., & Gu, R. (2023). The effect of different organic acids and their combination on the cell barrier and biofilm of *Escherichia coli*. *Foods*, *12*(16), 3011. <https://doi.org/10.3390/foods12163011>
- Käferstein, F., & Abdussalam, M. (1999). Food safety in the 21st century. *Bulletin of the World Health Organization*, *77*(4), 347.
- Karam, L., Ghonim, F., Dahdah, P., Attieh, G., Al-Ahmad, S., Ghonim, S., & Osaili, T. (2023). Beyond chemical preservatives: enhancing the shelf-life and sensory quality of ready-to-eat (rte) hummus with vinegar and other natural antimicrobials. *Foods*, *12*(15), 2947. <https://doi.org/10.3390/foods12152947>
- Lehel, J., Yaucat-Guendi, R., Darnay, L., Palotás, P., & Laczay, P. (2021). Possible food safety hazards of ready-to-eat raw fish containing product (sushi, sashimi). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *61*(5), 867-888. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749024>
- Lepaus, B. M., Rocha, J. S., & Sao Jose, J. F. B. d. (2020). Organic acids and hydrogen peroxide can replace chlorinated compounds as sanitizers on strawberries, cucumbers and rocket leaves. *Food Science and Technology*, *40*(Suppl. 1), 242-249. <https://doi.org/10.1590/fst.09519>
- Lopes, S. M., da Silva, D. C., & Tondo, E. C. (2022). Bactericidal effect of marinades on meats against different pathogens: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(27), 7650-7658. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1916734>
- Mendoza, I. C., Luna, E. O., Pozo, M. D., Vásquez, M. V., Montoya, D. C., Moran, G. C., Romero, L. G., Yopez, X., Slazar, R., Romero-Pena, M., & León, J. C. (2022). Conventional and non-conventional disinfection methods to prevent microbial contamination in minimally processed fruits and vegetables. *LWT- Food Science and Technology*, *165*, 113714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113714>
- Mols, M., & Abee, T. (2011). *Bacillus cereus* responses to acid stress. *Environmental microbiology*, *13*(11), 2835-2843. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02490.x>
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, *103*, 321-332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.009>
- Olaimat, A. N., Al-Nabulsi, A. A., Osaili, T. M., Al-Holy, M., Ayyash, M. M., Mehyar, G. F., Jaradat, Z. W., & Ghoush, M. A. (2017). Survival and inhibition of *Staphylococcus aureus* in commercial and hydrated tahini using acetic and citric acids. *Food Control*, *77*, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.022>
- Onyeaka, H., Ghosh, S., Oibileke, K., Miri, T., Odeyemi, O. A., Nwaiwu, O., & Tamasiga, P. (2024). Preventing chemical contaminants in food: Challenges and prospects for safe and sustainable food production. *Food Control*, *155*, 110040. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110040>
- Osaili, T. M., Al-Nabulsi, A. A., Jaradat, Z., Shaker, R. R., Alomari, D. Z., Al-Dabbas, M. M., Alaboudi, A. R., Al-Natour, M. Q., & Holley, R. A. (2015). Survival and growth of *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* in eggplant dip during storage. *International Journal of Food Microbiology*, *198*, 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.025>
- Otto, A. S., Davis, B., Wakefield, K., Clarkson, J. J., & Jeffrey Inman, J. (2020). Consumer strategies to improve the efficacy of posted calorie information: how provincial norms nudge consumers to healthier consumption. *Journal of Consumer Affairs*, *54*(1), 311-341. <https://doi.org/10.1111/joca.12272>
- Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garrett, E. H., Farber, J. N., & Busta, F. F. (2003). Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *2*(s1), 161-173. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00033.x>
- Park, K. M., Baek, M., Kim, H. J., Kim, B. S., & Koo, M. (2013). Susceptibility of foodborne pathogens isolated from fresh-cut products and organic vegetable to organic acids and sanitizers. *Journal of Food Hygiene and Safety*, *28*(3), 227-233. <http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2013.28.3.227>

- Petróczi, F., Woode, B. K., Törös, G., Nagy, N., Béri, B., & Peles, F. (2018). Microbiological status of bulk tank milk and different flavored gomolya cheeses produced by a milk producing and processing plant. *Acta Agraria Debreceniensis*, 75, 73-78. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/75/1649>
- Rahman, M., Alam, M.-U., Luies, S. K., Kamal, A., Ferdous, S., Lin, A., Sharior, F., Khan, R., Rahman, Z., Parvez, S. M., Amin, N., Hasan, R., Tadesse, B. T., Taneja, N., Islam, M. A., & Ercumen, A. (2022). Contamination of Fresh Produce with Antibiotic-Resistant Bacteria and Associated Risks to Human Health: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 360. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010360>
- Sağdıç, O. (2003). Sensitivity of four pathogenic bacteria to Turkish thyme and oregano hydrosols. *LWT - Food Science and Technology*, 36(5), 467-473. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00037-9)
- Tang, J., Zhang, R., Chen, J., Zhao, Y., Tang, C., Yue, H., Li, J., Wang, Q., & Shi, H. (2015). Incidence and characterization of *Staphylococcus aureus* strains isolated from food markets. *Annals of microbiology*, 65, 279-286. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0859-2>
- Turhan, E. U., Polat, S., Erginkaya, Z., & Konuray, G. (2022). Investigation of synergistic antibacterial effect of organic acids and ultrasound against pathogen biofilms on lettuce. *Food Bioscience*, 47, 101643. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101643>
- Valiolahi, M., Najafi, M. A., Eskandani, M. A., & Rahnama, M. (2019). Effects of organic acid alone and in combination with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NaCl on Escherichia coli O157:H7: An evaluation of antioxidant retention and overall acceptability in Basil leaves (*Ocimum basilicum*). *International Journal of Food Microbiology*, 292, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.010>
- Wu, F. M., Doyle, M. P., Beuchat, L. R., Wells, J. G., Mintz, E. D., & Swaminathan, B. (2000). Fate of *Shigella sonnei* on parsley and methods of disinfection. *Journal of Food Protection*, 63(5), 568-572. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-63.5.568>
- Wu, W., Zhang, J., Li, T., Hu, Z., Huang, S., Lin, M., Xie, Y., & Yu, Z. (2024). Antimicrobial effect of plasma-activated water combined with tartaric acid against *Staphylococcus aureus* and its application on fresh-cut asparagus lettuce. *Food Bioscience*, 104293. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104293>

## Bir kamu binasının binaların yangından korunması yönetmeliği çerçevesinde incelemesi: Örnek bir uygulama

*Investigation of a public building from the viewpoint of the fire safety building regulations: A case study*

İbrahim ÇAVUŞOĞLU\*<sup>1</sup>, Hale IŞIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 17.04.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 27.06.2024

### Öz

Türkiye'de, tarih boyunca bina yangınları sıklıkla yaşanmış, ciddi kayıplara neden olmuş ve bu durum günümüzde de devam etmektedir. Ancak, yangın güvenlik önlemlerinin alınmasıyla bu kayıpların büyük ölçüde önlenebileceği bilimsel bir gerçektir. Ülkemizde 2007'de çıkarılan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" (BYKHY) ile mevcut binaların bu yönetmeliklere uygun hale getirilmesi ve yeni binaların bu standartlara göre inşa edilmesi, bina yangınlarının büyük ölçüde engellenmesine yardımcı olabilir. Güvenli bir çalışma sistemi için, tüm yangından korunma sisteminin periyodik olarak test edilmesi gerekir, böylece sistem acil bir durumda daha iyi çalışır. Bu çalışmada, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi (MDBF) binasının yönetmelikte belirtilen kriterlere uygunluğu 14 farklı başlıkta incelenmiştir. Ayrıca eksiklik olan başlıklarda Fine Kinney metodu uygulanarak risk analizi gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonrasında binanın 5 başlıkta yönetmelikte belirtilen kriterleri karşıladığı, diğer 9 başlıklarda ise bazı eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Yapılan risk analizi özellikle kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, kazan dairesi, dış kaçış merdivenleri ve hidrant sistemi gibi alanların çok yüksek riskler içerdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma bir kamu binasında belirlenen çok yüksek ve yüksek risk seviyelerinin azaltılması veya kabul edilebilir düzeye indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması hususunda vurgu yapmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Binalarda yangın, Fine kinney metodu, Risk analizi, Yangından korunma yönetmeliği

### Abstract

In Turkey, building fires have occurred frequently throughout history, causing serious losses and still continuing. However, it is a scientific fact that these losses can be largely prevented by taking fire safety measures. In our country, with the "The Fire Safety Building Regulation" (BYKHY) issued in 2007, bringing existing buildings into compliance with these regulations and constructing new buildings according to these standards can help prevent building fires to a great extent. For a safe working system, the whole fire protection system needs to be tested periodically so that the system works better in case of an emergency. In this study, the compliance of Gümüşhane University Faculty of Engineering and Natural Sciences (MDBF) building with the criteria specified in the regulation was examined under 14 different heading lists. In addition, risk analysis was carried out by applying Fine Kinney method in the headings where deficiencies were detected. After the examinations, it was determined that the building meets the criteria specified in the regulation in 5 headings and there are some deficiencies in the other 9 headings. The risk analysis revealed that especially areas such as escape stairs, emergency lighting, boiler room, external escape stairs and hydrant system contain very high risks. This study emphasises that necessary precautions should be taken to reduce the very high and high risk levels identified in the building or to reduce them to an acceptable level.

**Keywords:** Fire in buildings, Fine kinney method, Risk analysis, Fire safety building regulation

\*İbrahim ÇAVUŞOĞLU; cavusogluibrahim@hotmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Barınma ihtiyacının temel bir gereklilik olduğu düşünüldüğünde, günümüz teknolojileri sayesinde farklı yapı öğelerinin karmaşık bileşenlerle bir araya gelerek büyük ölçekli yapılarda birleştirilebildiği bir yapılaşma süreci başlamaktadır. Bu süreçte, insanlar doğayı etkiledikçe, binalar ve bu binaların sakinleri çeşitli felaketler ve tehlikelerle karşılaşabilirler. Yangın gibi, kısa sürede büyük zararlara yol açabilen ve yaşamı tehlikeye atan bir felaket, bu nedenle büyük bir öneme sahiptir (Kaban, 2022).

Gelişen yapı teknolojileri ve yangın güvenlik standartlarının göz önünde bulundurulması, bina inşaatında yangın riskini minimize etmek için kritik bir öneme sahiptir. Daha geniş alanlara daha yüksek binaların inşa edilmesi, enerji kaynaklarının yoğun kullanımı, yanmaz özellikli dış cephe malzemelerinin tercih edilmemesi ve güvenlik önlemlerinin ihmal edilmesi yangınla karşılaşma riskini artırmaktadır (Dokur, 2019; Yaman & Demirel, 2020). Yangın, tamamen engellenebilecek bir risk değildir. Fakat binalar henüz inşa aşamasındayken pasif ve sonrasında uygulanacak aktif yangın güvenlik önlemleri ile olası bir yangın riski büyük ölçüde kontrol altına alınabilir düzeyde olur. Bu önlemlerin alınması sayesinde hem maddi kayıpların hem de can kayıplarının önüne geçmek mümkün hale gelir. Aksi takdirde büyük felaketlere yol açarak birçok insan için telafisi mümkün olmayan kayıplara sebebiyet verebilir (Kılıç, 2003).

Yangın kayıtları, dünya genelinde Uluslararası Yangın ve Kurtarma Hizmetleri Birliği (International Association of Fire and Rescue Services, CTIF) tarafından tutulmakta ve her yıl 70 ülkenin yangın verileri yayınlanmaktadır. Ancak, ülkemiz bu ülkeler arasında yer almamaktadır. Türkiye'de yangın kayıtlarının merkezi bir sistemde toplanmaması, meydana gelen yangınlar ve yangınlardan etkilenen kişi sayılarının istatistiksel olarak sağlıklı bir şekilde incelenmesini engellemektedir. Bununla birlikte, bazı illerimizin belediyeleri yangın kayıtlarını kendi bünyelerinde tutmaktadır. Örneğin, İstanbul'da 2015-2020 yılları arasında toplam 128.878 yangın meydana gelmiştir. Bu yangınların 82.297'si konut, fabrika, araç ve diğer bina yangınları gibi yapısal yangınlardan oluşmaktadır (İBB, 2022). Artvin ilinde 2013-2017 yılları arasında toplam 105 adet bina yangını meydana gelmiş ve bu yangınlar tüm yangınların %65'ini oluşturmuştur (Kara, 2018). Giresun ilinde ise 2011-2016 yılları arasında toplam 842 adet yangın meydana gelmiş olup, bu yangınların %35'i bina yangınlarıdır (Kara, 2017).

Türkiye tarihinde bazı yangın felaketleri, tarihi miras kaybı veya can kaybı açısından büyük üzüntüye neden olmuştur. Örneğin, Fatih Sultan Mehmet tarafından yaptırılan Kapalıçarşı'da 26 Kasım 1954'te tarihinin en büyük yangını çıkmış ve yangın 489 itfaiyecinin katılımıyla 28 gün sonra söndürülebilmştir. Elektrik kontağının neden olduğu bu yangında, çarşı içindeki 1364 dükkân ve çarşı dışındaki 30 dükkân kullanılamaz hale gelmiş ve o dönemin tutarıyla 15 milyon lira maddi zarar oluşmuştur (Kılıç, 2013). Daha yakın tarihte meydana gelen yangınlardan biri, 29 Kasım 2016'da Adana'nın Aladağ ilçesindeki bir yurttaki elektrik kaynaklı olarak çıkmış ve yangın merdiveninin kilitli olması nedeniyle 11 öğrenci ve 1 öğretmen hayatını kaybetmiş, 22 öğrenci yaralanmıştır. Bir diğer felaket ise 1 Ağustos 2018'de Konya'nın Taşkent ilçesinde saat 04.15'te LPG tankından sızan gazın bir öğrencinin elektrik düğmesine basmasıyla patlaması sonucu gerçekleşmiştir. Patlama sonucunda 3 katlı yurt binası tamamen yıkılmış, 1 öğretmen ve 17 öğrenci hayatını kaybetmiş, 29 öğrenci ise yaralanmıştır. Bu veriler, ülkemizde yangın olaylarının sıklıkla yaşandığını ve bu olaylarda ciddi can kayıplarının meydana geldiğini göstermektedir.

Binalarda yangın güvenliği, mimarlar ve mühendislerin ortak disiplin anlayışıyla, aktif ve pasif önlemler olarak bilinen çeşitli güvenlik tedbirlerinin alınmasıyla sağlanmaktadır. Pasif önlemler, binanın mimari projesinin tasarım aşamasında entegre edilen ve binanın yaşam süresi boyunca bulunan güvenlik önlemleridir. Aktif önlemler ise yangın güvenliği için mimari projenin tasarım aşamasında veya sonradan eklenen, yangın anında işlev gören belirli güvenlik önlemleridir ve pasif önlemleri desteklemeyi amaçlar (Demirel vd., 2017; Yaman & Demirel, 2020). Uluslararası ve yerel yönetmelikler de aktif ve pasif yangından korunma sistemlerinin, tipik olarak birine veya diğerine ya da ikisinin karma kombinasyonuna dayanan çeşitli savunma etkilerine dayanmaktadır. İki sistem temelde yangından korunma bileşenlerinin ikamesi rolünü yerine getirmek ister, yani birinin kullanımına odaklanarak ve öne çıkararak, diğer sistem unsurunu arka plana itmeyi veya aşırı durumlarda ihmal etmeyi amaçlar (Djunaidi vd., 2018; Gergö vd., 2018).

Gelişmiş ülkeler, yangına karşı halkın can güvenliğini sağlama konusunda ciddi sorumluluklar üstlenmiş ve bunu mevzuatlarına yansıtılmışlardır. Ülkemizde de son yıllarda bu alanda önemli adımlar atılmış, 2002'de

"Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)" yayımlanmıştır ve daha sonrasında 2007 ve 2009'da iki kez güncellenmiş, en son 2021'de 4825 karar sayılı düzenlemeyle son halini almıştır (BYKHY, 2007). Yeni inşa edilecek binalar için tasarım aşamasında projelerin, ilgili yönetmeliklere uygun olarak hazırlanması gerekmektedir; aynı şekilde mevcut binaların tadilatları veya eklemeleri yapılırken de bu yönetmelikler dikkate alınmalıdır, böylece binalar güvenli bir yapıya kavuşur (Başdemir & Demirel, 2010; Demirel vd., 2017).

Genellikle ülkemizde yapılan binalarında aktif ve pasif yangından korunma sistemleri asgari düzeyde olduğu gözlenmektedir ve birkaç bileşen standartlara ve yönetmeliklere uygun olarak yeterince uygulanmamaktadır. Güvenli bir çalışma sistemi için, tüm yangından korunma sisteminin periyodik olarak test edilmesi gerekir, böylece sistem acil bir durumda iyi çalışır. Özellikle ofis binalarında yangından korunma sistemlerinin düzenli olarak denetlenmesi ve bakımının yapılması önemlidir. Bu çalışmada, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi binası BYKHY'de yer alan 14 başlıkta incelenmiş ve yönetmelikte belirlenen hükümlere uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca değerlendirme sonucu eksiklikler tespit edilen başlıklarda Fine Kinney metodu kullanılarak bir risk analizi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

Bu çalışmada; Gümüşhane Üniversitesinde Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi (MDBF) binası inceleme alanı olarak seçilmiştir. İncelemeye konu olan Fakülte binası BYKHY hükümlerince değerlendirilmiş ve sonrasında risk analizine tabi tutulmuştur.

### 2.1. İnceleme alanı

#### 2.1.1. Study area

Çalışmanın yapıldığı yer Gümüşhane ili merkezde yer alan Gümüşhanevi kampüsü içerisinde bulunan MDBF binasıdır. Fakültenin yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir. Fakülte binası zemin kat ile birlikte 7 kattan oluşmaktadır. Zemin katta laboratuvarlar, kantin ve teknik personel odaları mevcutken diğer katlarda sınıflar, amfiler, öğrenci araştırma laboratuvarları, çok amaçlı salon (sinema salonu), bilgisayar laboratuvarları, akademik ve idari personel odaları bulunmaktadır. MDBF binası toplam 21.300 m<sup>2</sup>'lik alanda hizmet vermektedir. Ayrıca Fakülte binasını inceleme tarihinde toplam 146 akademik personel ile 827 öğrenci kullanmaktadır (MDBF, 2022).



**Şekil 1.** Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi binası  
**Figure 1.** Gümüşhane University Faculty of Engineering and Natural Sciences building

### 2.2. Metod

#### 2.2.1. Method

Tez çalışması kapsamında incelenmek için seçilen Gümüşhane Üniversitesi MDBF binası BYKHY'de yer alan ve aşağıda belirtilen 14 başlıkta incelenmiştir. İncelenen başlıklar; Acil çıkış kapıları, Kaçış yolları, Kaçış merdivenleri, Acil durum aydınlatması, Acil durum yönlendirmesi, Yangın kompartımanları, Yangın duvarları, Kazan daireleri, Dış kaçış merdivenleri, Asansörler, Sabit boru tesisatı ve yangın dolapları, Hidrant

sistemi, Yağmurlama sistemi ve Taşınabilir söndürme cihazları şeklindedir. İnceleme sonucunda binada belirlenen kriterlerde mevcut risklerin tespiti yapıp, BYKHY'e uygunluğu değerlendirilmiştir.

İş sağlığı ve güvenliği, kazaların önlenmesinde temel bir unsur olan risk değerlendirmeleri ile yakından ilişkilidir. Doğru risk değerlendirme yöntemlerinin seçilmesi, etkili sonuçlar elde edebilmek için kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda, seçilen yöntemin kurumun yapısına uygun olması ve uygulamanın kolaylığını artırması da önemlidir (Ayyıldız, 2017). Bu nedenle, tespit edilen riskler Fine Kinney modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Risklerin sayısal olarak derecelendirildiği, anlaşılır ve basit ve kolay uygulanabilen ve bunun yanında kantitatif sonuçlar veren bir risk analizi yöntemi olmasından dolayı Fine Kinney metodu bu çalışmada seçilmiştir. İş ortamındaki potansiyel tehlikeleri kazaya yol açmadan tespit etmek ve risk skorlarına göre öncelikli olarak ele alıp iyileştirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Fine Kinney yöntemi, üç parametre kullanarak risk skorlarını ve önleyici eylem planlarını oluşturur. Genel olarak risk skoru, olayın meydana gelme olasılığı, belirlenen tehlikelerin frekansı ve şiddetinin çarpımı ile hesaplanır (Eşitlik 1).

$$Risk\ Skoru = O \times F \times \S \quad (1)$$

Burada;  $O$  olayın meydana gelme olasılığını,  $F$  tehlike frekansı ve  $\S$  ise tehlikenin şiddetini temsil etmektedir. Olasılık, bir zararın gerçekleşme ihtimalidir ve 0.2 ile 10 arasında puanlarla ölçülmektedir (Tablo 1). Aşağıdaki tabloda, olasılık değerlerinin hangi kategoriye ait olduğu belirtilmiştir (Kuş, 2019). Frekans, zaman içinde bir tehlikeye maruz kalma sıklığını ifade eder ve 0.5 ile 10 arasında puanlarla derecelendirilir (Tablo 2) (Bayram, 2021). Tehlikenin insan ve/veya çevre üzerindeki tahmini zararını belirten bir ölçü olan şiddet, ölüm riskini içeriyorsa puanlamada bu durumun dikkate alınması gerekir (Kuş, 2019). Şiddet değerlendirmesi, Tablo 3'te olduğu gibi 1'den 100'e kadar derecelendirme yaparak gerçekleştirilir. Fine Kinney yönteminde değerlendirmede ise Tablo 4'te verilen skala kullanılmaktadır (Karakuzu, 2018):

**Tablo 1.** Olasılık değeri

*Table 1. Probability value*

Olasılık değeri	Olasılık kategorisi
0.2	Beklenmez
0.5	Beklenmez fakat mümkün
1	Mümkün fakat düşük olasılık
3	Mümkün
6	Oldukça mümkün
10	Kesinlikle beklenir

**Tablo 2.** Frekans değeri

*Table 2. Frequency value*

Frekans değeri	Frekans kategorisi
0.5	Çok seyrek (yılıda bir veya daha seyrek)
1	Seyrek (yılıda birkaç defa)
2	Sık değil (ayda bir veya birkaç defa)
3	Ara sıra (haftada bir veya birkaç defa)
6	Sık (günde bir veya birkaç defa)
10	Hemen hemen sürekli (bir saatte birkaç defa)

**Tablo 3.** Şiddet değeri

*Table 3. The factor severity*

Şiddet değeri	Kategori	Açıklama
1	Ramak kaza	Zarar yok
3	Küçük hasar	Yaralanma, dâhili ilk yardım
7	Önemli hasar	Yaralanma, dış tedavi, iş günü kaybı
15	Kalıcı hasar	Sakatlık, uzuv kaybı, iş kaybı
40	Ölüm	Ölüm
100	Toplu ölüm	Birden fazla ölüm, kalıcı hasar



**Tablo 4.** Risk değeri  
*Table 4. The risky value*

Risk değeri	Kategori	Açıklama
$R \geq 400$	Çok yüksek risk	Hemen gerekli önlemler alınmalıdır.
$200 \leq R < 400$	Yüksek risk	Kısa dönemde (birkaç ay içerisinde) iyileştirilmelidir.
$70 \leq R < 200$	Önemli risk	Dikkatle izlenmeli ve uzun dönemde (yıl içerisinde) iyileştirilmelidir.
$20 \leq R < 70$	Olası risk	Gözetim altında tutulmalıdır. Kontrol yöntemleri geliştirilmelidir.
$R < 20$	Kabul edilebilir risk	Mevcut koruma önlemlerine devam edilmelidir.

### 3. Bulgular / Bulgular ve tartışma

#### 3. Results / Results and discussion

#### 3.1. Yönetmelik hükümlerine göre bina verileri

##### 3.1. Building data according to the regulation

Bu bölümde MDBF binası yönetmelikte belirtilen 14 başlıkta incelenmiş, elde edilen bulgular verilmiş ve değerlendirilmiştir.

##### 3.1.1. Acil çıkış kapıları

###### 3.1.1. Emergency exit doors

MDBF binası incelenmiş ve binadaki kapıların ölçüleri Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca binadaki çıkış kapısı ve sınıf kapısı görüntüsü Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu tür binalarda yönetmelikler, kaçış yolu kapılarının genişliğinin en az 80 cm, yüksekliğinin ise en az 200 cm olması gerektiğini belirtmektedir. Bina güvenliği için kaçış yolu kapılarının kullanıcıların hareketini engellememesi, önünde herhangi bir engel bulunmaması ve kilitli olmaması gerekir (Kaya, 2019). Ayrıca, yönetmelikte kullanıcı yükünün 50'yi aştığı binalarda kapıların kaçış yönüne doğru açılması gerektiği belirtilmektedir.

**Tablo 5.** MDBF binası acil çıkış kapı ölçüleri

*Table 5. MDBF building emergency exit door dimensions*

Kapı Genişliği	158 cm
Kapı Yüksekliği	200 cm

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre, kapıların mevzuat hükümlerine genel olarak uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bazı sınıf kapılarının kapı kanadının zemine sabitlenmesi (Şekil 2b), acil durumlarda kapı genişliğinin artırılmasını engellemektedir. Bu durumun, olası bir yangın sırasında kapılardan çıkışları engelleyebilecek bir potansiyel taşıdığı söylenebilir. Bu verilere göre, acil çıkış kapılarında yönetmelik hükümlerine göre tamamlanması gereken bazı eksiklikler olduğu sonucuna varılabilir.



**Şekil 2.** MDBF binası acil çıkış kapıları a) çıkış kapısı, b) sınıf kapısı

*Figure 2. MDBF building emergency exit doors a) exit door, b) classroom door*

### 3.1.2. Kaçış yolları

#### 3.1.2. Emergency escape route

MDBF binası kaçış yolları ile ilgili görseller Şekil 3'te gösterilmiştir. BYKHY'e madde 31'e göre kaçış yolları, "binanın herhangi bir noktasından yer seviyesindeki zemine kadar ulaşan engelsiz yol" olarak tanımlanmaktadır (BYKHY, 2007). Binaların risk sınıfı ve kullanım amacına bağlı olarak, tahliye ve kaçış yollarıyla ilgili standart bilgiler mevcuttur. Eğer bir binada tek yönden kaçış mümkünse, bir mahalden çıkış mesafesi en fazla 6-12 m olmalıdır ve yangın merdivenine ulaşmak için toplam mesafe 12-18 m olmalıdır. Birden fazla çıkış yolu olduğunda ise bu değerler sırasıyla 12-24 m ve 25-45 m olmalıdır (Kılıç & Beceren, 2003).

Binalardaki yangın olaylarında, insanların yangın anında güvenli bir şekilde tahliye edilmesi ve alınan tüm yangın güvenlik önlemlerinin kaçışı kolaylaştırmak için ele alınması kritik bir konudur (Bilge, 2019). Yangın anında insanların güvenli bir şekilde yangından kaçmasını sağlamak ve aynı zamanda yangın yerine gelen itfaiyecilerin müdahalesi için kaçış yollarının ve yangın merdiveninin uygunluğu son derece önemlidir. Yapılan bina incelemesinde birden fazla kaçış olmakla birlikte bir mahalden çıkışa olan mesafe en fazla 27.65 m olarak ölçülmüş ve ölçülen kaçış yolu mesafelerinin ilgili standartlara (12-24 m) uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kullanım sınıfı ve kullanıcı sayısı göz önüne alındığında aydınlatma düzeyi, koridor genişliği ve zemin malzemesinin uygunluğu da gözlemlenmiştir.



Şekil 3. MDBF binası kaçış yolları a) 1. kat kaçış yolu b) 3. kat kaçış yolu

Figure 3. MDBF building emergency escape route a) 1st floor escape route b) 3rd floor escape route

### 3.1.3. Kaçış merdivenleri

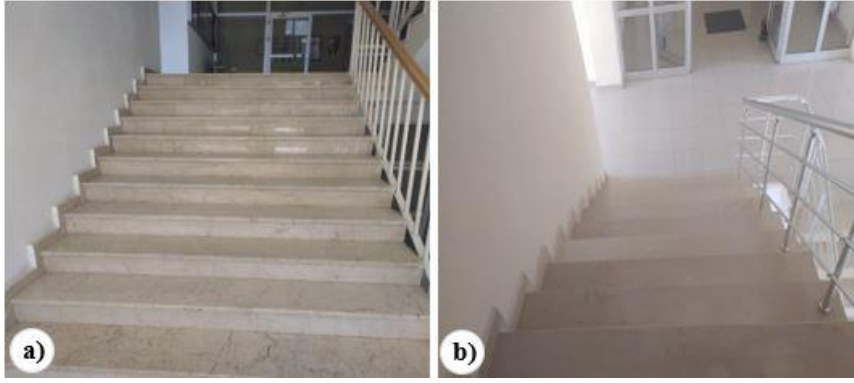
#### 3.1.3. Escape stairs

Geçmişteki yangınlar, kaçış merdivenlerindeki eksiklikler ve hataların büyük çoğunluğundan kaynaklanan can kayıplarını açıkça göstermektedir. Bu yüzden kaçış merdivenlerinin uygun modellenmesi oldukça önemlidir (Yılmaz, 2018). Yönetmeliklere göre, kaçış merdivenleri başladığı kottan zemine kadar kesintisiz bir şekilde uzanmalıdır. Binanın kullanım sınıfı ve kullanıcı sayısı hesaplanarak en az iki kaçış merdiveni doğrudan bina dışına açılmalıdır. Ayrıca, kaçış merdivenlerinin zemini kaymaz malzemeden olmalı ve merdiven basamak yüksekliği 175 mm'den fazla, basamak genişliği ise 250 mm'den az olmamalı şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 6. MDBF binası kaçış merdiveni ve kapı ölçüleri

Table 6. MDBF building's escape staircase and door dimensions

İncelenen Alan	Sonuç (cm)
Merdiven Genişliği	188 cm
Merdiven Basamak Sayısı	11 adet
Merdiven Basamak Yüksekliği	16 cm
Merdiven Basamak Genişliği	33 cm
Tırabzan Boyu	87 cm
Kapı Genişliği	158 cm
Kapı Yüksekliği	200 cm



**Şekil 4.** MDBF binası kaçış merdivenleri a) 1. kat kaçış merdiveni b) 2. kat kaçış merdiveni  
**Figure 4.** MDBF building escape stairs a) 1st floor escape stairs b) 2nd floor escape stairs

MDBF binasındaki kaçış merdiveni ve kapı ölçüleri tespit edilmiş olup, bu veriler Tablo 6'da sunulmuştur. Ayrıca, 1. ve 2. kat için kaçış merdivenlerine ait görseller Şekil 4'te gösterilmiştir. Yapılan ölçümler yönetmelikte belirtilen hükümlerle karşılaştırıldığında, MDBF binasının kaçış merdiveni ölçülerinin yönetmelik şartlarına uygun olduğu görülmüştür. Ancak, kaçış merdivenlerinde kaymaz bantların bulunmaması gibi giderilmesi gereken bir eksiklik tespit edilmiştir.

### 3.1.4. Acil durum aydınlatması

#### 3.1.4. Emergency lighting

Acil durum aydınlatma sistemleri, normal aydınlatmanın kesildiği durumlarda otomatik olarak devreye girerek güvenli bir aydınlatma sağlayan sistemlerdir (Jazayeri, 2007; Yıldırım, 2009). Yönetmeliklere göre, bina kullanıcı sayısı 200'den fazla ise acil durum aydınlatması normal aydınlatmanın kesilmesi durumunda en az 120 dakika, 200'den az ise en az 60 dakika süreyle devam etmelidir. Kaçış yolları üzerindeki aydınlatma ünitelerinin sağladığı aydınlatma seviyesi, tüm yüzeylerde 1 lux altına düşmemelidir. Acil çalışma süresinin sonuna doğru ise bu oran en az 0.5 lux olmalıdır. Aydınlatma seviyesinin en yüksek ve en düşük olduğu noktalar arasındaki oran en fazla 1/40 olmalıdır (BYKHY, 2007).

Bu bilgiler ışığında, MDBF binasının acil durum aydınlatması yerinde incelenmiş, ancak fakülte binasında aydınlatma şiddetiyle ilgili ölçüm verilerinin mevcudiyetine rastlanmamıştır. Bina kullanıcı sayısı 200'den fazla olduğundan dolayı acil durum aydınlatmalarının en az 120 dk süreyle devam etmesi gerekir. Ancak binada acil durum aydınlatmalarının böyle bir özelliklerinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan incelemede, koridorda bulunan bir aydınlatma armatürünün montajında, Şekil 5'te görüldüğü gibi tavan bütünlüğünün eksik olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, binadaki bazı aydınlatma cihazlarının yönetmelik hükümlerine uygun olmadığını ve eksikliklerin olduğunu göstermektedir.



**Şekil 5.** MDBF binasının acil durum aydınlatması  
**Figure 5.** Emergency lighting of the MDBF building

### 3.1.5. Acil durum yönlendirmesi

#### 3.1.5. Emergency case guides

Bir binada birden fazla çıkış bulunduğunda, acil çıkışları kolayca bulmak için yönlendirmeler gereklidir. Bu yönlendirmeler, normal aydınlatmanın kesildiği durumlarda hizmet vermelidir (Güngör & Akgün, 2010). Eğer kullanıcı sayısı 200'den fazlaysa, en az 120 dakika süreyle çalışmalıdır; diğer durumlarda ise en az 60 dakika süreyle hizmet vermelidir. Acil durum yönlendirmeleri, yeşil zemin üzerine beyaz renkte olmalıdır ve "ACİL ÇIKIŞ" ibaresi ile belirtilmelidir. Normal çıkışlar için ise "ÇIKIŞ" yazısı bulunmalıdır. Ayrıca, bu yönlendirmelerin zeminden yüksekliği 200 ila 240 cm arasında olmalıdır.

MDBF binası acil durum yönlendirme tabelaları, Şekil 6'da sunulmuştur. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, fakültenin acil durum yönlendirmelerinin her alandan rahatlıkla görülebilecek şekilde olduğu, yönlendirme yakınlarında karışıklığa yol açabilecek herhangi bir tabela bulunmadığı ve yönetmelikte belirtilen ölçülere uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. MDBF binası acil durum yönlendirmesi  
Figure 6. MDBF building emergency case guides

### 3.1.6. Yangın kompartımanı

#### 3.1.6. Fire compartment

Yangın kompartımanları, yangın sırasında alevlerin ve dumanın kontrolsüz bir şekilde yayılmasını engelleyen yapılar olarak kabul edilir. Bu yapılar, en az 90 dakika boyunca ateşe dayanıklı malzemelerden imal edilirler ve pasif yangın korumasının temel unsurlarından birini oluştururlar (İnce, 2016; Kutsal, 2019). Yönetmelikler, yangın kompartımanlarının tam olarak duman geçirmez ve ateşe dayanıklı olabilmesi için, kompartımanları çevreleyen bileşenlerin birleşim noktalarında ve kompartımanlar arasında hiçbir boşluk olmamasını gerektirdiğini belirtmektedir. MDBF binasında yapılan incelemeler sonrasında ve yetkililerden edinilen bilgiler ışığında binada herhangi bir yangın kompartımanının olmadığı belirlenmiştir.

### 3.1.7. Yangın duvarları

#### 3.1.7. Fire walls

Pasif güvenlik önlemlerinden olan yangın duvarları, yangın riskini azaltmada önemli bir rol oynar. Bu yapılar, yangın sırasında duman ve alevlerin yayılmasını engellemek için tasarlanır ve en az 90 dakika boyunca ateşe dayanıklıdır (BYKHY, 2007). Yangın duvarları oluşturulan güvenli bölgelerde insanların tahliyesini beklerken ve itfaiye personelinin tahliye çalışmalarını yaparken yardımcı olur. Bu duvarlarda hiçbir açıklık olmamalı ve varsa, pencere ve kapılar da yangına dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır. Ancak, MDBF binasında bu koruyucu duvarların olmadığı belirlenmiştir.

### 3.1.8. Kazan dairesi

#### 3.1.8. Boiler room

Yönetmeliğe göre kazan daireleri, binanın diğer bölümlerden en az 120 dakika yangına dayanıklı malzemelerle bölünerek ayrılmalıdır (Genç & Pekey, 2014). Bu dairelerin kapıları, yangın merdiveni veya kaçış yoluna doğrudan açılmamalı, farklı bir yere yönlendirilmelidir. Kapılar kendiliğinden kapanabilir olmalı ve yangına karşı en az 90 dakika dayanıklı, duman geçirmez malzemeden yapılmalıdır. Ayrıca, kazan dairelerinde sıvı dökülmesi durumunda tahliye için bir kanal sistemi olmalı ve en az bir yangın söndürme cihazı bulunmalıdır.



**Şekil 7.** MDBF binası kazan dairesi görünümü  
**Figure 7.** MDBF building's boiler room

İnceleme sonrasında binanın kazan dairesinin yangına dayanıklı malzemelerle komşu diğer bölümlerden ayrıldığı görülmüştür. Bununla birlikte kazan dairesinin kaçış yolu üzerinde olmadığı, kapılarının yangına dayanıklı ve duman geçirmez malzemeden imal edildiği ve farklı alanlara açıldığı belirlenmiştir. Ancak bu kapıların kendiliğinden kapanabilir olmadığı görülmüştür. Yine kazan dairesinde kullanılmayan bazı malzemelerin Şekil 7'de de görüldüğü gibi biriktirildiği görülmüştür. Bu durumun binanın olası yangın esnasında riskli olabileceği ve uygun olmadığı, kazan dairesi kapılarının ise kendiliğinden kapanabilir olması gerekliliği belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak kazan dairesinin ölçülerinin ve malzemelerinin yönetmelikte belirtilen şartlara uygun olduğu ancak alanın kullanımının ve kapıların kendiliğinden kapanabilir olması yönünden yönetmeliğe göre eksik olduğu belirlenmiştir.

### 3.1.9. Dış kaçış merdivenleri

#### 3.1.9. External escape stairs

Yangın veya acil durumlarda insanların bina içinden kolayca tahliye edilebilmesini sağlayan, çatıdan zemine kadar uzanan ateşe dayanıklı merdivenlerdir. Yüksek binalarda bu merdivenler bina içinde düz bir şekilde yer almalı ve dairesel olmamalıdır (Avlar & Yıldırım, 2020). Üç kat veya daha yüksek binalarda Z şekilli yangın merdivenleri kullanılmalıdır (Şekil 8).



**Şekil 8.** Örnek bir dış kaçış merdiveni görüntüsü (Alamy n.d.)  
**Figure 8.** An appropriate external escape staircase (Alamy n.d.)

Merdiven basamaklarında kaymayı önleyici malzeme kullanılmalı ve basamaklar belirli ölçülere sahip olmalıdır. Ancak, MDBF binasında dışarıya kaçıışı sağlayacak yangın merdiveni (dış kaçış merdiveni) bulunmamaktadır. MDBF binası 7 katlı olup 21.300 m<sup>2</sup> lik bir alanda hizmet vermektedir. Meydana gelebilecek bir yangın esnasında binanın tahliyesinin kolay bir şekilde gerçekleştirilmesi için en az 2 dış kaçış merdiveninin olması gerekmektedir.

### 3.1.10. Asansörler

#### 3.1.10. Elevators

Yönetmeliklere göre, binalarda aynı asansör kuyusuna 3'ten fazla asansör yerleştirilmemeli ve eğer binada 4 asansör kullanılacaksa her iki asansör arasında yangına karşı en az 60 dakika dayanıklı malzemenin bölme olmalıdır. Binalardaki tüm asansör kabinleri ve kuyuları, en az 60 dakika yangına dayanıklı ve yanmaz malzemelerden yapılmalıdır (Tulunay, 2010). Acil durumlarda asansörler, kapıları açık şekilde beklemeli ve diğer çağrıları kabul etmeden öncelikle acil çıkış katına gitmelidir (Korgal, 2022). MDBF binası incelendiğinde, aynı katta iki asansör olduğu, acil durumlarda kapıların açık beklediği ve asansör kabinlerinin ilgili yönetmeliklere uygun olarak yapıldığı ve denlendiği tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. MDBF binası asansörleri  
Figure 9. MDBF building's elevators

### 3.1.11. Sabit boru tesisatı ve yangın dolapları

#### 3.1.11. Fire cabinets

Bina içindeki potansiyel yangınlara müdahale etmek için tasarlanan sabit boru tesisatı ve yangın dolapları bulunmaktadır. 60 metre uzunluğu aşan yapılarda, yangın dolabı ve itfaiye su bağlantısı zorunludur ve herhangi bir noktadan su verme bağlantısına olan mesafe 60 metrelik sınırdan fazla olamaz. Tesisatta kullanılan tüm hortumlar itfaiye standartlarına uygun olarak 50 veya 60 mm çapında olmalıdır (BYKHY, 2007). Yangın dolapları, küçük yangınlara müdahale etmek için su hattı bağlantısı sağlanmış ve duvara monte edilmiş sabit ünitelerdir. Bu dolaplar her kat için en fazla 30 metre arayla yerleştirilmelidir ve mümkünse koridor çıkışlarına ve merdiven sahanlıklarına yakın, görünür bir konumda bulunmalıdır. Ayrıca, yangın dolaplarının düzenli aralıklarla yetkili kişiler tarafından bakımının yapılması gerekmektedir (Kaya, 2019; Çataklı, 2022).



Şekil 10. MDBF binası yangın dolapları  
Figure 10. Fire cabinets in the MDBF building

MDBF binası incelemesinde, yangın dolaplarının her katta düzenli aralıklarla ve yönetmelikte belirtilen mesafelere uygun bir şekilde yerleştirildiği belirlenmiştir. Ayrıca, bu yangın dolapları, merdiven sahanlıklarına ve koridor çıkışlarına yakın stratejik noktalara konumlandırılmıştır (Şekil 10). Dahası, belirlenen periyotlarda yangın dolaplarının bakımının yapıldığı ve hortumların itfaiye standartlarına uygun çapta olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, yangın dolaplarının yönetmeliklere uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.1.12. Hidrant sistemi

#### 3.1.12. Hydrant system

Bina içinde müdahale edilemeyen yangınlara dışarıdan müdahaleyi sağlayan sistemler hidrant sistemleri olarak adlandırılır. Hidrantlar, yangının dışarıdan söğütülmesi ve çevreye sıçramasının önlenmesinde kritik bir rol oynar ve yer altı ile yerüstü olmak üzere iki ana tür şeklindedirler. Bu sistemler, TS 2281 standartlarına uygun olarak tasarlanır ve toplam tasarım alanı 5000 metrekareden fazla olan ve çeşitli kullanım alanlarına sahip binalarda zorunludur. Hidrant sistemlerinin su akış hızı dakikada 1900 litre olmalıdır, ancak tehlike sınıfına göre bu hız artırılabilir. Hidrantlar, bina çevresini tamamen kapsayacak ve itfaiyenin binaya yaklaşımını engellemeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Hidrantlar arasındaki mesafe, risk seviyesine göre değişir: çok riskli bölgelerde 50 m, riskli bölgelerde 100 m, orta riskli bölgelerde 125 m ve az riskli bölgelerde 150 m olmalıdır. Hidrantların binaya olan uzaklığı ise 5 ila 15 metre arasında olmalıdır (Yıldız & Çelik, 2020).

MDBF binası 85.42.01 Nace Koduyla bilinir ve az tehlikeli sınıfta yer almaktadır. MDBF binasının hidrant sistemi Şekil 11'de görülmektedir. Yapılan kapsamlı incelemelerden, hidrant sisteminin yönetmelikte belirtilen mesafelere uygun olmadığı, sadece bir su bağlantı sisteminin ve bu sistemin binanın yan duvarında asılı olduğu belirlenmiştir. Dahası, mevcut hidrant sisteminin akış hızı hakkında yetkililerce bilgi bulunmadığı ve bu konuda daha önce bir tespit olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenlerle, MDBF binasının duvarında bulunan hidrant sisteminin çalışıp çalışmadığının bilinmemesi ve bazı mesafelerin yönetmeliklere uygun olmaması sonucu riskli bir durumun varlığı söz konusudur. Bu durumda yönetmelik hükümlerine göre hidrant sisteminde eksikliklerin varlığı belirlenmiştir.



Şekil 11. MDBF binası yangın dolapları  
Figure 11. Fire cabinets in the MDBF building

### 3.1.13. Yağmurlama sistemi

#### 3.1.13. Sprinkler system

Yağmurlama sistemleri, bina içindeki yangınların hızlı bir şekilde algılanması ve söndürülmesini sağlayan önemli bir sistemdir (Kaya, 2019). Yağmurlama sistemleri, özellikle A ve C sınıfı yangınlarda tercih edilir ve korunan alanın genellikle 9 ila 21 metrekare arasında olduğu bilinir. Yönetmeliklere göre, bina yüksekliği 30.50 m'yi aşan konut dışındaki tüm binalarda, bina yüksekliği 51.50 m'yi aşan konutlarda, toplam alanı 600 m<sup>2</sup>'den büyük kapalı otoparklarda ve diğer belirtilen yerlerde yağmurlama sistemi zorunludur (BYKHY, 2007). Bu sistemlerin, yangının büyümesine neden olabilecek malzemelerin bulunduğu alanlara yerleştirilmemesi önemlidir. Ayrıca, küçük çaplı yangınlarda hasar gören yağmurlama sistemlerinin acilen onarılması ve su bağlantı vanalarının sürekli olarak açık kalmasının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, düzenli kontrollerin yapılması hayati önem taşır (Başdemir & Ağaoglu, 2021).

MDBF binası incelemesinde, sprinklerlerin her katta odalarda ve koridorlarda belirtilen sayı ve aralıklara uygun olarak yerleştirildiği ve su püskürterek koruduğu alanların 9 ila 21 metrekare arasında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, Şekil 12'de görüldüğü gibi, bazı yağmurlama sistemi kapaklarının kapalı olduğu ve düzenli bakımlarının belirlenen aralıklarla yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumda yönetmeliklere göre eksiklik var olduğu ve iş sağlığı ve güvenliği standartlarına uygun olmadığı değerlendirilmektedir.



**Şekil 12.** MDBF binasının yağmurlama sistemi  
*Figure 12. Sprinkler system of the MDBF building*

### 3.1.14. Taşınabilir söndürme cihazları

#### 3.1.14. Portable fire extinguishers

Taşınabilir söndürme cihazları, yangınların erken aşamalarında müdahale etmek için önemli bir araçtır. Ancak, bu cihazların etkili olabilmesi için düzenli bakım ve uygun içerik önemlidir. Her yıl TS ISO 11602-2 standardına göre kontrol edilmeli ve dört yılda bir içindeki madde değiştirilerek hidrostatik testler yapılmalıdır. Bu süreçte, söndürme tüplerinin yerine geçici olarak yenilerinin bırakılması gerekebilir (Kaya, 2019; Yıldız, 2020). Söndürme cihazlarının içeriği, buldukları ortamın risk durumuna göre belirlenir. Katı madde yangınları için genellikle kuru kimyevi tozlu veya sulu cihazlar tercih edilirken, sıvı madde yangınları için kuru kimyevi tozlu, karbondioksitli veya köpüklü cihazlar kullanılır. Gaz yangınlarına karşı kuru kimyevi tozlu veya karbondioksitli cihazlar etkilidir, metal yangınları için ise kuru metal tozlu cihazlar tercih edilir (Başdemir & Ağaoglu, 2021). Taşınabilir söndürme cihazlarının yerleştirilmesi de önemlidir. Cihazlar, herkes tarafından görülebilecek ve kolayca ulaşılabilir yerlere konulmalıdır. Yangın dolapları dışında, görüşün engellenmediği ve ısı kaynaklarından uzak noktalarda bulunmalıdır. Ayrıca, cihazların yerden yüksekliği zeminle arasında 90 cm'yi geçmemeli ve duvara asma aparatı ile kolayca erişilebilir olmalıdır.



**Şekil 13.** MDBF binası taşınabilir söndürme cihazları  
*Figure 13. Portable fire extinguishers in the MDBF building*

MDBF binasının her katında bulunan taşınabilir söndürme cihazlarına ait görüntü Şekil 13'te sunulmuştur. Binada yapılan incelemelere göre, cihazların aynı tip olduğu ve son kullanım tarihlerinin yapılan kontrol tarihine göre henüz geçmediği belirlenmiştir. Söndürme cihazlarının basınç göstergelerinin uygun seviyede ve cihazların kuru kimyevi tozlu 21A-113-C tipinde olduğu tespit edilmiştir. Yönetmelikte belirtildiği gibi duvara montaj için askı aparatlarının olduğu, kolayca erişilebilir halde ve aynı zamanda herhangi bir ısı kaynağının



yakınında olmadıkları belirlenmiştir. Katlarda her 16 metre mesafede ve zeminden uygun yükseklikte taşınabilir söndürme cihazları konumlandırılmışlardır. Ayrıca, MDBF binasında bu cihazların kullanımıyla ilgili eğitim almış personeller bulunmakta ve acil durumlarda bu personeller cihazların kullanımından sorumludur. Bu veriler doğrultusunda, MDBF binası taşınabilir söndürme cihazlarının yönetmeliklere uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.2. Risk analizi sonuçları

#### 3.2. Risk analysis results

Çalışmada MDBF binası BYKHY’de belirlenen 14 başlıkta incelenmiş ve 5 başlıkta yönetmelik hükümlerine uygun olduğu, diğer 9 başlıkta ise bazı eksiklikler tespit edilmiştir. Eksiklikler tespit edilen acil çıkış kapıları, kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, yangın kompartımanı, yangın duvarları, kazan dairesi, dış kaçış (yangın) merdivenleri, hidrant sistemi ve sprinkler (yağmurlama) sistemi gibi bölümler üzerinde olası tehlike ve riskler tespit edilmiş ve risk analizine tabi tutulmuştur.

#### 3.2.1. Tehlike ve riskler

##### 3.2.1. Hazards and risks

Yapılan incelemelerde acil çıkış kapıları, kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, yangın kompartımanı, yangın duvarları, kazan dairesi, dış kaçış (yangın) merdivenleri, hidrant sistemi ve sprinkler (yağmurlama) sistemindeki tehlikeler saptanmış ve bu tehlikelerin sonucunda oluşabilecek risk durumları belirlenmiştir (Tablo 7). Tehlikeler, sınıflarda, koridorlarda, kazan dairelerinde ve bina dışındaki alanlarda yapılan kontrollerle tespit edilmiştir. Risk analizine göre, en yüksek risk durumu ölüm iken, en düşük risk durumu ise yaralanma olarak belirlenmiştir. Ayrıca, düşme, bayılma, zehirlenme, dumandan etkilenme, kafa travması gibi risk durumlarının oluşabileceği de tespit edilmiştir.

**Tablo 7.** MDBF binasında olası tehlike ve risk durumları

*Table 7. Possible hazard and risk situations in the MDBF building*

Birim	Tehlike	Risk
Acil çıkış kapıları	Bazı sınıf kapılarının bir kanadının zemine çivilenmiş olması	Düşme, yaralanma
Kaçış merdivenleri	Merdivenlerde kaymaz bant olmaması	Düşme, yaralanma, ölüm
Acil durum aydınlatması	Aydınlatma armatürünün tavana bağlantısının yetersiz olması	Kafa travması, yaralanma, ölüm
Yangın kompartımanı	Yangın kompartımanının olmaması	Dumandan etkilenme
Yangın duvarı	Yangın duvarlarının olmaması	Dumandan etkilenme
Kazan dairesi	Kazan dairesinde istiflenmiş kullanılmayan malzemelerin olması, zemininin girintili çıkıntılı olması	Zehirlenme, ölüm, düşme, yaralanma
Dış kaçış merdivenleri	Dış kaçış merdiveni olmaması	Yanma, zehirlenme, dumandan etkilenme, ölüm
Hidrant sistemi	Hidrant sisteminin olmaması	Zehirlenme, yaralanma, ölüm
Sprinkler sistemi	Sprinkler sistemi kapağının kapalı olması	Zehirlenme, bayılma

#### 3.2.2. Risk analizi

##### 3.2.2. Risk analysis

Yapılan incelemeler doğrultusunda Fine Kinney risk analizi yöntemi kullanılarak risk skorları belirlenmiştir (Tablo 8). Bu analize göre, kazan dairesi ve dış kaçış merdivenleri 3000 risk skoruna sahiptir. Hidrant sistemi için risk skoru 1800, kaçış merdivenleri için 900, aydınlatma için 480, sprinkler sistemi için 240, kazan dairesi için 80, yangın kompartımanları ve duvarları için 45, kaçış kapıları için ise 42 olarak değerlendirilmiştir.

#### 3.2.3. Alınması gereken önlemler

##### 3.2.3. Precautions to be taken

Yapılan risk analiz sonrasında yüksek ve çok yüksek risk seviyelerinin azaltılması veya kabul edilebilir düzeye indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşır. Bu önlemlerin uygulanması ve tedbirlerin hayata geçirilmesiyle potansiyel can, mal ve iş kayıplarının önlenmesine katkı sağlar. MDBF binası için yapılan risk

analiz sonrasında risk tespit edilen 9 birim için çok yüksek, yüksek ve olası risk seviyelerinin azaltılması veya kabul edilebilir düzeye indirilmesi için alınması gereken önlemler Tablo 9'da belirtilmiştir.

**Tablo 8.** MDBF binası için risk skoru ve şiddet derecesi

*Table 8. Risk score and severity rating for MDBF building*

Birim	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Şiddet Derecesi
Acil çıkış kapıları	3	2	7	42	Olası Risk
Kaçış merdivenleri	10	6	15	900	Çok Yüksek Risk
Acil durum aydınlatması	6	2	40	480	Çok Yüksek Risk
Yangın kompartımanları	3	1	15	45	Olası Risk
Yangın duvarı	3	1	15	45	Olası Risk
Kazan dairesi	10	3	100	3000	Çok Yüksek Risk
Dış kaçış merdivenleri	10	3	100	3000	Çok Yüksek Risk
Hidrant sistemi	6	3	100	1800	Çok Yüksek Risk
Sprinkler sistemi	3	2	40	240	Yüksek Risk

Bu çalışmada MDBF binasının yangın güvenliğiyle ilgili detaylı bir inceleme yapıldı ve çeşitli riskler tespit edildi. Özellikle acil çıkış kapıları, kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, yangın kompartımanı, yangın duvarı, kazan dairesi, dış kaçış merdivenleri, hidrant sistemi ve sprinkler sistemindeki bazı eksikliklerin iş sağlığı ve güvenliği açısından sakıncalı olduğu belirlendi. Örneğin, merdivenlerde kaymaz bantların bulunmaması veya sınıf kapılarının tam olarak açılmaması, acil durumlarda tahliyeyi zorlaştırabilir ve riskleri artırabilir. Ayrıca, aydınlatma armatürlerinin zayıf bağlantıları ve sprinkler sistemindeki kapakların kapalı olması gibi faktörler de ciddi tehlikeler oluşturabilir. Binada dış kaçış merdivenlerinin eksik olması da acil tahliye durumlarında insanların güvenliğini riske atabilir. Bu nedenle, bu tür eksikliklerin giderilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması, binanın genel güvenliğini artırmak ve yangın veya diğer acil durumlarda olası riskleri en aza indirmek için hayati önem taşımaktadır.

**Tablo 9.** MDBF binasında riskli bölgeler için alınması gereken önlemler

*Table 9. Precautions to be taken for risky areas in the MDBF building*

Birim	Alınacak Önlemler
Acil çıkış kapıları	Çivilenen kapı kanatlarının çivileri sökülerek, kapı kanatlarının ikisinin de kolayca açılması sağlanıp, çıkış kapasitesinin artırılması sağlanmalıdır.
Kaçış merdivenleri	Tüm basamaklara kaymaz bant yapıştırılarak her türlü kayarak düşmelerin önüne geçilmelidir.
Acil d. aydınlatması	Armatürün tavana bağlantısının sağlamlaştırılarak, düşme ihtimalinin ortadan kalmasını sağlanmalıdır.
Yangın kompartımanı	Bina yüksekliği 21.50 m'den fazla olan konut harici binalarda ve bina yüksekliği 30.50 m'den fazla olan konut binalarında belirtilen yüksekliklerden daha yukarıda olan katlarında en çok üç kat bir yangın kompartımanı olarak düzenlenir. Bu minvalde bir yangın kompartımanı düzenlenmeli.
Yangın duvarı	Bitişik nizam yapıları birbirinden ayıran yangın duvarları, yangına en az 90 dakika dayanıklı olarak projelendirilir. Yangın duvarlarının cephe ve çatılarda göstermeleri gereken özellikler ilgili maddelerde belirtilmiştir.
Kazan dairesi	Kazan dairesinde herhangi bir yangın ihtimaline karşı hiçbir yanıcı malzemenin istifine izin verilmemelidir. İstiflenen malzemelerin en kısa sürede tahliyesi sağlanmalıdır. Kazan dairesi tabanına sıvı yakıt dökülmemesi için gerekli tedbir alınır ve dökülen yakıtın kolayca boşaltılacağı bir kanal sistemi yapılır
Dış kaçış merdivenleri	BYKHY hükümlerinde belirlenen şartlara sahip olan binalarda dış kaçış (yangın) merdiveni yapılması zorunludur.
Hidrant sistemi	Yapıların yangından korunmasında, ilk müdahalede söndürülemeyen yangınlara dışarıdan müdahale edebilmek için mümkün olduğunca yapının veya binanın bütün çevresini kapsayacak şekilde tesis edilecek hidrant sistemi bünyesinde yerleştirilecek hidrantların, itfaiye ve araçlarının kolay yanaşabileceği ve bağlantı yapabileceği şekilde düzenlenmesi gerekir.
Sprinkler sistemi	Olası bir yangın esnasında hem alarm sisteminin çalışabilmesi hem de sulu söndürme sisteminin çalışabilmesi için sprinkler sistemin kapaklarının açık vaziyette olması gerekmektedir.

## 4. Sonuçlar

### 4. Conslusions

Bu çalışmada, Gümüşhane Üniversitesi MDBF binası, BYKHY’te belirlenen 14 başlık altında incelenerek yönetmeliğe uygunluğu değerlendirildi. İncelemede 9 başlıkta yönetmeliklere göre eksiklik bulunan alanlar, Fine Kinney metodu kullanılarak risk analizine tabi tutuldu. Çalışmada yapılan değerlendirme ve risk analizi sonuçları aşağıdaki şekildedir:

- Binanın kaçış yolları, acil durum yönlendirmesi, asansörler, sabit boru tesisatı ve yangın dolapları, taşınabilir söndürme cihazları gibi 5 başlık altında yönetmelik hükümlerine uygun olduğu belirlendi.
- Banada acil çıkış kapıları, kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, kazan dairesi, hidrant sistemi ve yağmurlama sistemi (sprinkler) başlıklarında yönetmelik hükümlerine göre bazı eksiklikler tespit edildiği ancak bazı düzenlemeler ve kontroller yapılması halinde bu alanlarda da yönetmeliklere uygunluk sağlanabileceği tespit edildi.
- Yangın kompartımanları, yangın duvarları ve dış kaçış merdivenleri başlıklarında ise binada tamamen eksiklikler bulunduğu belirlendi.
- Kaçış merdivenleri, acil durum aydınlatması, kazan dairesi, dış kaçış merdivenleri ve hidrant sistemi gibi alanların risk analizi sonucunda çok yüksek risk grubunda olduğu ve acil önlemlerin alınması gerekliliği ortaya çıktı.
- Yağmurlama sistemi (sprinkler) yüksek risk grubunda yer alırken, kaçış kapıları, yangın kompartımanları ve yangın duvarlarının olası risk grubunda olduğu belirlendi.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında İbrahim ÇAVUŞOĞLU danışmanlığında yürütülen “Binaların Yangından Korunması Yönetmeliği Çerçevesinde Mevcut Bir Kamu Binasının İncelenmesi” isimli Yüksek Lisans Tezinden üretilen bu çalışmada; İbrahim ÇAVUŞOĞLU metodoloji, analiz ve yazım ve Hale IŞIK veri toplama ve yazım aşamalarına katkıda bulunmuştur.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz. Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

### Kaynaklar

#### References

- Aksoy, R., Coşkun, G., & Soyhan, H.S. (2019). Büro binaları acil tahliye senaryolarının simülasyon destekli oluşturulması, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7-3, 541-549. <https://doi.org/10.21541/apjes.480926>
- Alamy (n.d). External fire escape staircase stock photos and images, <https://www.alamy.com/stock-photo/external-fire-escape-staircase.html?sortBy=relevant>
- Avlar, E., & Yıldırım, H.S. (2020). Dış kaçış merdivenlerindeki risklerin yeni bir model önerisiyle analizi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35:2, 871-885. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.571161>

- Ayyıldız, G. (2017). *Atık su arıtma tesisinde risk analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Başdemir, H., & Ağaoğlu, M. N. (2021). Yüksek konut binalarında yangın güvenlik önlemleri ile ilgili bir analiz. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, (13), 12-21.
- Başdemir, H., & Demirel, F. (2010). Binalarda pasif yangın güvenlik önlemleri bağlamında bir literatür araştırması, *Politeknik Dergisi*, 13(2), 101-109.
- Bayram, H. (2021). *Fine Kinney metodu ile risk analizi: Trabzon limanı örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bekem Kara, İ., (2017). Giresun ili yangın istatistiklerinin incelenmesi (2011-2016), *Afet ve Risk Dergisi*, Cilt:7, Sayı:2, 96-105.
- Bekem Kara, İ., (2018). 2013-2017 yılları arasında Artvin il merkezinde meydana gelen bina yangınlarının incelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, Cilt: 4 Sayı: 2, 105-112.
- Bilge, B. (2019). Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında iç mekan tasarım yaklaşımı –yeniden işlevlendirilen tarihi Bandabuliyâ binası kaçış yolları değerlendirmesi, *Megaron*, 14 (3), 397-409. <https://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON-13008-ARTICLE-BILGE.pdf>
- Binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik (BYKHY). (2007). *T.C. Resmi Gazete* (26735, 27 Kasım 2007).
- Çataklı, E., (2022). *Binalarda mevcut yangın güvenlik önlemlerinin değerlendirilerek yangın güvenliğini artıracak parametrelerin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demirel, F., Tavman G., & Yaman M. (2017). Gazi üniversitesi yeni mimarlık fakülte binasının “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” bağlamında incelenmesi. *Uluslararası Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi (TÜYAK)* (sayfa:311-321), İstanbul.
- Djunaidi, Z., Tuah, N. A. A., & Rafifa, G. (2018). Analysis of the active and passive fire protection systems in the government building, Depok City, Indonesia. *KnE Life Sciences*, 4(5), 384–398. <https://doi.org/10.18502/cls.v4i5.256>.
- Dokur, İ. (2019). *Eğitim amaçlı binalarda yangın tehlikesinin risk analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Genç, R., & Pekey H. (2013). Endüstriyel tesislerde ortaya çıkabilecek yangın risklerinin bir değerlendirmesi: Kocaeli örneği, *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi (EJOIR)*, Cilt:2, Özel Sayı, 55-66.
- Gergő É., László B., & Sándor, R. (2018). The effects of the actively used reactive and passive fire protection systems established by innovative fire protection methods for whole life-cycle of buildings, *Műszaki Kotonai Közlöny*, 4, 47-58.
- Güngör, B., & Akgün, T. (2010). Acil aydınlatma ve yönlendirme sistemlerinin DALI arabirimi ile yönetimi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)* (sayfa:234-238), Bursa.
- İnce, A. (2016). *Hastanelerde yangın güvenliği ve tahliye gerekleri üzerine bir irdeleme* [Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, İstatistikler 2020, (2022, 5 Nisan), [https://itfaiye.ibb.gov.tr/img/\\_14442614122020\\_.pdf](https://itfaiye.ibb.gov.tr/img/_14442614122020_.pdf)
- Jazayer M., (2007). *Acil durum aydınlatması kaçış yolu aydınlık düzeyi minimum değerlerinin deneysel incelemesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kaban, İ. (2022). *Sağlık yapılarında pasif yangın güvenlik önlemlerinin ulusal ve uluslararası mevzuatlara göre incelenmesi ve bir sağlık yapısı örneğinde değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Karakuzu, C. (2018). *Yol inşaatlarında risk analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Esenyurt Üniversitesi].
- Kaya, O. (2019). *Yüksek binalarda yangın ve yangın güvenlik önlemlerinin modellenerek incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kılıç, A., & Beceren, K. (1999). Mimari tasarımda yangın güvenliği, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* (sayfa:737-746), İzmir.
- Kılıç, A., (2013). Kapalı çarşılarda yangın güvenliği, *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, Sayı:160, 8-10.
- Kılıç, M., (2003). Yapılarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 59-70.
- Korgal, D. (2022). Yüksek binalarda alınması gereken yangın güvenliği önlemlerinin BYKHY ve diğer yönetmelikler yönünden incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu* (sayfa:154-171), İzmir.
- Kuş, E. (2019). *Elektrik panolarında yangınlara karşı Fine Kinney yöntemi ile risk analizi yapılması* [Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Kutsal, H. (2019). *Okul öncesi eğitim yapılarında pasif yangın güvenlik önlemleri* [Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- MDBF-Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi 2021 Mali Yılı Birim Faaliyet Raporu. (2022, 2 Ocak). <https://muhendislik.gumushane.edu.tr/media/uploads/muhendislik/files/2021-yili-birim-faaliyet-raporu.pdf>
- Tulunay, D. (2010). Asansörlerde yalıtımlı yangın kapılarının önemi, *Asansör Sempozyumu* (sayfa: 1-9), İzmir.
- Yaman, M., & Demirel, F. (2020). Cephelerde yangın güvenlik önlemleri ve mevzuatların karşılaştırmalı analizi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 88-108.
- Yıldırım, S. (2009). *Acil durum aydınlatmasında kullanılmak üzere ışık kaynağı olarak ışık yayan diyot kullanan bir armatür tasarımı* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Yıldız, Z., & Çelik, G. (2020). Bir üniversite araştırma hastanesinin aktif yangın güvenlik önlemlerinin değerlendirilmesi, *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 15(2):100-112.
- Yılmaz H. S. (2018). *Kaçış merdivenlerinin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

## Poliamit 6/Mika kompozitlerin mekanik ve tribolojik performansına mika katkı oranının etkisi

*The effect of mica filler content on the mechanical and tribological performance of Polyamide-6/Mica composites*

Hüseyin ÜNAL<sup>\*1</sup> , Salih Hakan YETGİN<sup>2</sup> , Veysel Furkan ÜNAL<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/Mersin

<sup>3</sup>Johannes Kepler University, Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Linz, AUSTRIA

• Geliş tarihi / Received: 14.03.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.07.2024

### Öz

Elektrik endüstrisinde çalışan bazı parçalardan elektriksel yalıtkanlık, mekanik performans ve aşınma direnci özellikleri beklenildiği için gerekli performansı sağlayabilecek, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında mika katkılı PA6 (PA6-M) kompozitleri üretilmiştir. PA6-M kompozitleri önce çift vidalı olarak tasarlanan bir compound makinesinde granül formda üretilmiştir. Sonrasında ise enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılarak mekanik ve tribolojik test numuneleri basılmıştır. Üretilen kompozit test numunelerinin mekanik ve tribolojik performansları incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme, çentikli izod darbe ve sertlik testleri yapılmıştır. Triboloji deneyleri pim-disk aşınma test cihazında, kuru şartlar altında ve ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Triboloji deneyleri 0,6 m/s hızda ve üç farklı yükte (60N, 120N ve 180N) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, PA6 polimer ana matrisine mika ilavesi ile üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımı, elastiklik modülü ve sertlikte artış göstermiştir. Buna ilaveten darbe mukavemeti, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri ise azalmıştır. Ayrıca, triboloji deneylerinde çalışılan tüm malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri yükün artırılması ile birlikte azalmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Aşınma, Mekanik özellikler, Mika, PA6, Sürtünme

### Abstract

Since electrical insulation, mechanical performance and wear resistance properties are expected from some parts working in the electrical industry, PA6 (PA6-M) composites filled with 10, 20 and 30 wt% mica have been produced to provide the required performances. PA6-M composites were first produced in granule form in a compounding machine designed as twin screw. Afterwards, mechanical and tribological test specimens were molded using injection moulding method. The mechanical and tribological performances of the composite test specimens were investigated. Tensile, notched Izod impact and hardness tests were performed to determine mechanical properties. Tribological tests were carried out in a pin-disc wear test rig under dry conditions and at ambient temperature. Tribological tests were carried out at a speed of 0.6 m/s and three different loads (60 N, 120 N and 180 N). As a result of the experiments, the tensile strength, modulus of elasticity and hardness of the composite materials produced with the addition of mica filler to the PA6 polymer base matrix increased. In addition, impact strength, wear rate and coefficient of friction values decreased. Moreover, friction coefficient and wear rate values of all materials studied in tribological experiments decreased with increasing load.

**Keywords:** Friction, Mechanical properties, Mica, PA6, Wear

\*Hüseyin ÜNAL; unal@sakarya.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Son yıllarda endüstrinin birçok alanında geleneksel malzemelerin yerini polimer malzemeler tercih edilmektedir. Özellikle mühendislik plastikleri sınıfında yer alan PA polimeri, mükemmel mekanik özellik, yüksek aşınma direnci, kendinden yağlamalı özelliğe sahip olması ve sessiz çalışması gibi özellikleri nedeniyle otomotiv, elektrik, elektronik, paketleme, tekstil ve makine sektörü uygulamaları gibi farklı sektörlerde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Ancak, çatlak hassasiyeti, düşük ısıl sapma sıcaklığı, yüksek nem alma özelliği, ölçüsel kararsızlık ve pahalı olması kullanım alanını sınırlamaktadır. Bazı araştırmacılar, cam elyaf, karbon elyaf, aramit elyaf gibi mukavemet artırıcı katkılarla ya da cam bilya, kaolin, vollastonit, mika, talk gibi inorganik dolgu/katkı maddeleri kullanarak elde ettikleri PA6 esaslı kompozitler ile bu zayıf özellikleri geliştirmeye çalışmışlardır (Bose vd., 2006; Subburamamurthy vd., 2020; Kodal vd., 2015; Ünal vd., 2023).

Mika, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerde tabakalı yapıya sahip alüminasilikat mineralidir. Muskovit ve flogopit, en yaygın ve ticari olarak temin edilebilen mika türleridir. Tabakalar arasındaki bağlar talk mineralinden daha güçlüdür. Yapısında, alüminyum, potasyum, magnezyum, demir, sodyum, flor ve lityum gibi elementler de mevcuttur. Su, asitler (hidroflorik ve konsantre sülfürik asit hariç), alkaliler, geleneksel çözücüler, yağlar ile reaksiyona girmek için tamamen inert ve kararlıdır, ayrıca atmosfer şartlarından neredeyse etkilenmez. Mika, yüksek dielektrik mukavemeti, uniform dielektrik sabiti ve kapasite mukavemeti kombinasyonunun tek örneğidir. Yüksek elektrik direncine, düşük sıcaklık katsayısına ve kapasitansa sahiptir. Mika cinsine göre 600 °C ile 900 °C arasında sıcaklık direncine sahiptir. Düşük ısı iletkenliğine ve süper termal kararlılığa sahiptir (Bose vd., 2006; Alghamdi, 2019; Deshmukh vd., 2011; Merve vd., 2021; Sahai & Pawar, 2017; Asyadi vd., 2013; Verbeek & Christopher, 2012; Altay vd., 2021). Mika, 172 GN/m<sup>2</sup> gibi yüksek elastiklik modülüne sahiptir (Deshmukh vd., 2011). Ayrıca mika, cam ve karbon elyaflara göre polimer ana matrisine ilave edildiğinde daha düşük maliyetli kompozitler elde edilmektedir. Geçmişten günümüze kadar mika katkılı polimer kompozitlerin gerek mekanik özellikleri gerekse termal ve tribolojik özellikleri üzerine literatürde bazı çalışmaların yapıldığı gözlenmiştir (Lichao vd., 2016; Asyadi vd., 2013; Sahai & Pawar, 2017; Altay vd., 2021). Asyadi vd. (2013) %70 polikarbonat (PC)/%30 Akrilo-nitril-bütadien-stiren (ABS) karışımına ilave ettikleri %10, 20 ve 30 oranlarında işlem görmüş (silan'lı) ve işlem görmemiş mika katkısının mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. PC/ABS karışımına ilave edilen mika ile birlikte kompozitlerin çekme dayanımı, kopma uzaması ve darbe dayanımı azalmıştır. İşlem görmüş mika ile PC/ABS kompozitlerin çekme dayanımı, kopma uzaması, eğilme dayanımı ve darbe özellikleri artmıştır. Tomar ve Maiti (2010) hacimsel olarak 0.14'e kadar mika katkılı poli-bütillen-tereftalat (PBT)/poli-akrilonitril-bütillen-akrilat-stiren (ABAS) kompozitlerinin çekme ve darbe özelliklerini incelemişlerdir. Mika katkısı ile birlikte kompozitlerin çekmedeki elastiklik modülü ve çekme dayanımının arttığı kopma uzamasının ise azaldığı belirtilmiştir. Matrisin plastik deformasyonunun engellenmesi ve matrisin rijitliğinin artması sebebi ile mika miktarına bağlı olarak darbe dayanımının azaldığı belirtilmiştir. Sahai ve Pawar (2017) ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25 oranlarında işlem görmüş ve işlem görmemiş mika katkılı poli-fenilen-oksit (PPO) polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, polimer kompozitlerin ergime akış indeksi, darbe dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde azalma görülürken eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülünün arttığı belirtilmiştir. İşlem görmüş mika katkılı kompozitlerde mikanın dağılımının homojen olduğu, matris-katkı yapışmasının daha iyi olduğu ve sonuçta mekanik özelliklerin iyileştiği belirtilmiştir. Deshmukh vd. (2011) farklı partikül boyutu, yüzey alanı ve oranlarındaki mika katkılı poli-vinil-klorür (PVC) esaslı kompozit malzemelerin elektriksel ve mekanik performanslarını araştırmışlardır. Artan mika katkı oranı ile kompozit malzemelerin elastiklik modülü ve sertliği artarken çekme dayanımı ve kopmadaki % uzama değeri azalmıştır. Dielektrik özellikleri de artan mika katkı oranı ile artmıştır. Mekanik ve dielektrik özellikler, silan ile işlem görmüş mika katkılı PVC kompozitlerinde daha yüksek elde edilmiştir. Altay vd. (2021) %40 talk, mika, kalsit ve feldspar katkılı polipropilen (PP) kompozitlerin reolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Talk ve mika katkılı PP kompozitlerin eğilme dayanımı artarken talk katkılı kompozitlerin reolojik özellikleri kalsiyum karbonat katkılı kompozitlerden daha fazla etkilenmiştir. Mineral katkılı PP kompozitlerin vicat yumuşama sıcaklığının arttığı belirtilmiştir. Talk katkılı PP kompoziti hariç diğer kompozitlerde termal genleşme katsayısının azaldığı belirtilmiştir. Kalsit, mika veya feldspar katkılı PP kompozitlerin daha yüksek darbe dayanımı göstermesi sebebiyle otomotiv sektöründe talk katkılı PP kompozitlere alternatif olabileceği belirtilmiştir. Alghamdi (2019) %5, 10, 20 ve 30 oranında mika ilaveli ABS kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. %30 mika katkılı kompozitlerin eğmedeki elastiklik modülü, çekmedeki elastiklik modülü ve eğilme dayanımı sırasıyla %130, %55 ve %28 oranlarında artmıştır. Kopma uzaması %77 oranında, darbe dayanımı ise %75 oranında azalmıştır. Artan mika katkı oranı

camsı geçiş sıcaklığını pek etkilememiştir. [Merve vd. \(2021\)](#) %2, 4, 6, 8, 15, 30 oranlarında mika katkılı alev geciktiricili polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Mika ilavesi ile çekmedeki elastiklik modülü artarken çekme dayanımı azalmıştır. Mika miktarına bağlı olarak termal kararlılığın arttığı alev geciktirici katkı olmadan ise mikanın termal özellikler üzerine pek etkisi olmadığı belirtilmiştir. [Farzaneh ve Tcharkhtchi \(2011\)](#) ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile ürettikleri %40 oranında mika katkılı PP polimer kompozitlerin viskoelastik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, mika katkılı PP kompozitlerin depolama ve kayıp modüllerinin arttığı ancak camsı geçiş sıcaklığının değişmediği belirtilmiştir. [Subburamamurthy vd. \(2020\)](#) %5-10-15-20 oranlarında talk, kaolin, mika ve kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) katkılı PA6 kompozitlerin özelliklerini inceledikleri çalışmada, mineral esaslı katkıları ile birlikte çekme dayanımının ve rijitliğin arttığı belirtilmiştir. %15 oranında talk katkı içeriğinde ve bu malzemeyi takiben %15 kaolin ve %20 mika içeriklerinde mekanik özelliklerin önemli oranda iyileştiği belirtilmiştir. [Akçakale ve Bülbül \(2017\)](#) hacimsel olarak %11, 22 ve 33 oranlarında vollastonit ve mika katkılı doğal kauçuk (NR)/stiren-bütadien-kauçuğu (SBR) karışımının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, vollastonit ve mika katkıları ile birlikte kopma uzaması, çekme dayanımı, yorulma direnci ve birim maliyet azalırken sertlik, yoğunluk ve abrasif kayıplar artmıştır. [Bose ve Mahanwar \(2004\)](#) farklı oranlarda (ağırlıkça % 5-40) ve farklı partikül boyutlarında mika mineral katkısı kullanarak kompozit üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin termal, elektriksel ve mekanik, özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit bünyesindeki mika katkı oranının artmasına bağlı olarak kompozitlerin çekme mukavemeti, çekme modülü, eğme mukavemeti, eğme modülü değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak kompozitlerin % uzama ve darbe mukavemetinin ise düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, mika partikül boyutuna bağlı olarak kompozitin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinin arttığını belirtmişlerdir. [Bose vd. \(2006\)](#) yaptıkları diğer bir çalışmada modifiyesiz (%5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40), titanate (anyonun hem titanyum hem de oksijen içerdiği bir tuz) ve silan modifiyeli (%25) mika katkılı PA6 kompozitlerin mekanik, termal ve dielektrik performanslarını araştırmışlardır. Çalışmaları neticesinde, %25 mika katkısı ile kompozitin eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerleri artarken çekme ve darbe dayanımı değişmemiştir. Titanate modifiyeli kompozitlerin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri artarken silan modifiyeli kompozitlerin darbe özellikleri ve ısıl sapma sıcaklıkları (HDT) artmıştır. Bağlayıcı ajan miktarı ile kopma uzaması ve dielektrik dayanım değerleri azalmıştır. [Gan vd. \(2001\)](#) ağırlıkça katkılı poli-aril-eter-eton (PAEK) kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı oranlarda (% 0-40) mika inorganik katkı kullanmışlardır. PAEK/mika kompozitindeki mika katkı oranının artırılması ile PAEK/mika kompozitinin çekme mukavemetinin ve çekme modülünün arttığı ancak kopma uzamasının azaldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada farklı proses şartları da incelenmiştir. Bu proses şartlarından birisi de uygulanan yük türüdür. Yükün değişimi aşınma deneylerinde farklı sonuçlara neden olmaktadır. Yapılan çalışmada PAEK/mika kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerinin yükün artırılması ile arttığı gözlenmiştir. 50 N yükte sürtünme katsayısı ile aşınma oranının pek değişmediği gözlenmiştir. Ancak yükün 100N veya 200 N' a çıkarılması durumunda %20 mika katkılı PAEK kompozitine kadar sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerinin azaldığını gözlenmiştir. % 30 ve %40 oranında mika katkılı PAEK kompozitlerin hem sürtünme katsayısı hem de aşınma oranı değerleri artmıştır. PAEK/mika kompozitindeki mika katkı oranı kompozit malzemenin rijitliğini artırmıştır. Bunun sonucunda ise mika katkılı PAEK kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. [Unal vd. \(2014\)](#) %10, %20 ve %30 oranında mika ilaveli PA6 polimer kompozitlerin tribolojik performanslarını araştırmışlardır. Triboloji deneylerinde pim-disk aşınma cihazı kullanmışlardır. %30 mika ilaveli PA6 kompoziti ve %30 cam elyaf takviyeli PA6 polimer esaslı kompozit malzemeleri disk olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada hem karşı disk malzemenin hem de mika katkı oranının etkisi incelenmiştir. Deneylerde aşınma yükleri 20N, 30N ve 40N olarak seçilmiştir. Hız 0.5 m/s kayma yolu ise 1500 m olarak belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda her iki kompozit karşı disk malzemelere karşı yapılan deneylerde PA6 polimeri bünyesindeki mika oranının artması ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Buna ilaveten aşınma deneylerinde yükün artırılması ile PA6/mika kompozitlerin sürtünme ve aşınma değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. [Demir \(2013\)](#) ise mika ilaveli PA6 kompozit (PA6+%20Mika) ile cam elyaf ilaveli polisülfon (PSU+%20CE) kompozitlerin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Deneylerde AISI 316L paslanmaz çelik ve % 30 cam elyaf takviyeli poli-fenilen-sülfid (PSU+%30CE) olmak üzere iki farklı karşı disk kullanılmıştır. Deneyler 10-30 N yüklerde ve 0.5 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. AISI 316L paslanmaz çelik karşı diske karşı PA6+%20Mika ve PSU+%20CE kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri azalmıştır. Ancak PPS+30CE diske karşı çalışılması sonucunda sürtünme katsayısının pek değişmediği gözlenirken aşınma oranı değerlerinin ise hafif arttığı tespit edilmiştir. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda elektrik sektöründe kullanılan bazı mühendislik plastiklerinin elektriksel olarak yalıtkan olması istenmektedir. Mika katkısı polimerlerde elektriksel yalıtkanlık özelliği istenen alanlarda kullanılmaktadır. Elektrik endüstrisinde



kullanılan plastiklerden elektriksel yalıtkanlık yanında çalışma ortamına bağlı olarak aşınma direnç özelliği de istenmektedir. Literatürde elde edilen araştırmalar ışığında bu iki özelliği buluşturan mika takviyeli bir polimer kompozit üretmek amaçlanmıştır. Bu sebeple mühendislik polimeri olmasından yani mekanik özelliklerinin yüksek olmasından dolayı Poliamit-6 polimeri seçilmiştir. Bunun için PA6/mika kompozitlerin üretilmesi için bu çalışmanın yapılmasına ve formülasyonun oluşturulmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında mika katkılı PA6 kompozitleri üretilmiştir. Bunun için önce ekstrüzyonla granül üretilmiş ardından ise enjeksiyonla kalıplama tekniği ile test numuneleri basılmıştır. Kompozit malzemelerin hem mekanik hem de tribolojik performansları incelenmiştir. Çekme, darbe ve sertlik deneyleri ile mekanik özellikler belirlenirken triboloji testleri ile PA6 kompozitlerin aşınma ve sürtünme performansları belirlenmiştir. Aşınma deneyleri kuru kayma şartları altında ortam sıcaklığında pim-disk aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit 2000 m kayma yolu, 0.6 m/s kayma hızında 60, 120 ve 180 N gibi üç farklı yük kullanılarak gerçekleştirilmiş olup deneysel çalışmalar sonucunda hem proses şartlarının etkisi hem de mika katkı oranının mekanik ve aşınma performanslarına etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Bu çalışmada, Domopolimer firmasından temin edilen Domomid ticari kodlu PA6 polimeri matris malzeme olarak kullanılmıştır. Knarrevik, Norveç firmasından temin edilen ortalama 10 µm partikül boyutunda ve yoğunluğu 2.84 g/cm<sup>3</sup> olan mika katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. PA6-M kompozitlerin granül üretimi bir ikiz vidalı ekstrüzyon makinasında (Vida çapı: 75, L/D:32) gerçekleştirilmiştir. Mekanik ve triboloji test numuneleri üretiminde, ekstrüzyonda üretilen mika ilaveli granüller kullanılmış ve enjeksiyonla kalıplama tekniği ile basılmıştır. Ekstrüzyon ısıtıcı sıcaklıkları 220 °C - 250 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekstruderde üretilen granüller test numuneleri basılmadan önce 80 °C 4 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulan PA6-M kompozitleri enjeksiyon kalıplama yöntemi ile basılmıştır. Standartlara uygun olarak hazırlanmış çelik kalıpta çekme, darbe ve triboloji test numuneleri basılmıştır. Enjeksiyon makinası ısıtıcı sıcaklıkları 220 °C - 250 °C arasında ayarlanmıştır. Enjeksiyon makinasında enjeksiyon basıncı 180 bar olarak seçilmiştir. Kompozit malzemelerin çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak yapılmıştır. Testler, Zwick Roell Z020 marka ve model çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri, oda sıcaklığında ve 10 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır. Darbe deneyleri ASTM D256 Metot-A standardına uygun olarak yapılmıştır. Çentikli izod darbe numuneleri kullanılarak testler Zwick B5113 marka test cihazında yapılmıştır. Sertlik testleri ASTM D2240 standardına uygun olarak Shore D sertlik ölçme yöntemiyle yapılmıştır. Mekanik testler için en az üçer adet test numunesi kullanılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Sertlik ölçümlerinde en az 10 ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeyler JSM 6060LV kodlu JEOL marka taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı kullanılarak analiz yapılmıştır. Kırık yüzey görüntüleri incelenmeden önce numune yüzeyleri 40A° kalınlığında altın ile kaplanmıştır. Tablo 1’de çalışmada kullanılan malzemeler ve kısaltmaları, Şekil 1’de ise PA6-M kompozitlerin şematik çalışma planı gösterimi verilmiştir. Tablodaki kompozisyonların hazırlanmasında elektrik sektöründe çalışan bazı parçalardan beklenen elektriksel yalıtkanlık, mekanik performans ve aşınma direnci özellikleri dikkate alınmıştır. Beklenen performansı sağlayabilecek muhtemel kompozisyon ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında mika katkılı olacak şekilde tasarlanmış ve (PA6-M) kompozitler üretilmiştir.

**Tablo 1.** PA6 ve PA6-M kompozitlerinin kompozisyonları ve proses şartları.

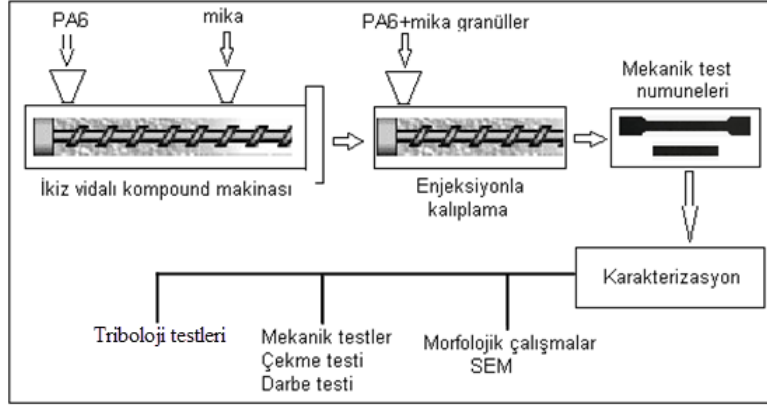
**Table 1.** Compositions and process conditions of PA6 and PA6-M composites.

Sıra No	PA 6	Mika	Kısaltma	Proses şartları
1	100	-	PA6	Çift vidalı compound makinası ısıtıcı sıcaklık aralığı: 220-250 °C
2	90	10	PA6-10M	Enjeksiyon makinası ısıtıcı sıcaklık aralığı: 220-250 °C
3	80	20	PA6-20M	Enjeksiyon basıncı:180 bar
4	70	30	PA6-30M	

Tribolojik deneyler, pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihazında, bir kola sabitlenmiş 5 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda bir polimer pim mevcuttur. Aynı zamanda bir elektrik motorundan aldığı hareketle dönen bir disk vardır. Şekil 2’de pim-disk cihazının şematik resmi verilmiştir. AISI 316L paslanmaz çelik disk, karşı disk malzeme olarak kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne minimize etmek için hem pim polimer yüzeyleri hem de karşı çelik disk yüzeyleri zımparalanmıştır (1200 no). Her bir test öncesi yüzeyler

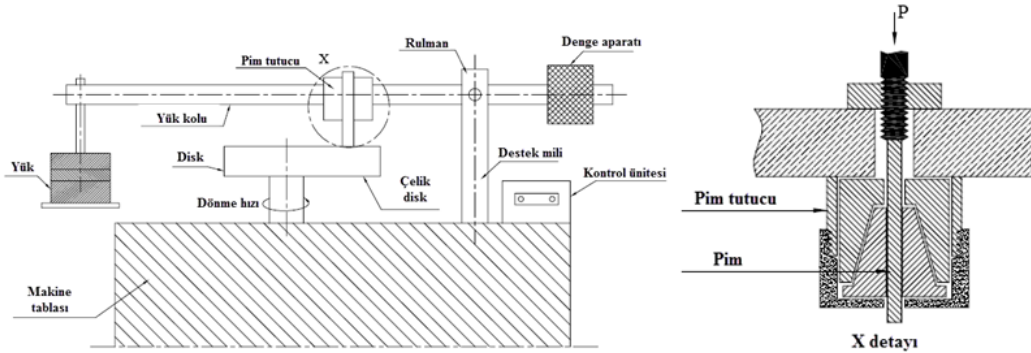
asetonla temizlenmiştir. Tablo 2’de tribolojik deney şartları verilmiştir. Aşınma oranının tespiti için pim numunelerin aşınma testi öncesi 0,0001 gr hassasiyetli Precia marka bir hassas terazide ağırlığı ölçülmüş ( $m_1$ ), sonra deney sonrası aşınan pim numunesinin ağırlığı ( $m_2$ ) ölçülmüştür. Deney öncesi ve sonrası ağırlık farkı ( $m_1 - m_2$ )= $\Delta_m$  alınarak pim numunenin yoğunluğuna, kayma yoluna ve normal yüke bölünmesiyle denklem 1’de verilen formülle hesaplanmıştır. Formülde AO: aşınma oranı,  $\rho$ : pim numunenin yoğunluğu, L: kayma yolu,  $F_n$ : normal yükü temsil etmektedir.

$$AO = \frac{\Delta_m}{\rho * L * F_n} \quad (1)$$



Şekil 1. PA6-M kompozit üretimi için şematik çalışma planı gösterimi.

Figure 1. Schematic plan for the production of PA6-M composites.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan pim-disk aşınma test cihazı ve pim tutucu aparatı.

Figure 2. Pin-disk wear test device and pin holder apparatus used in the experiments.

Tablo 2. Triboloji deney şartları.

Table 2. Conditions of tribology tests.

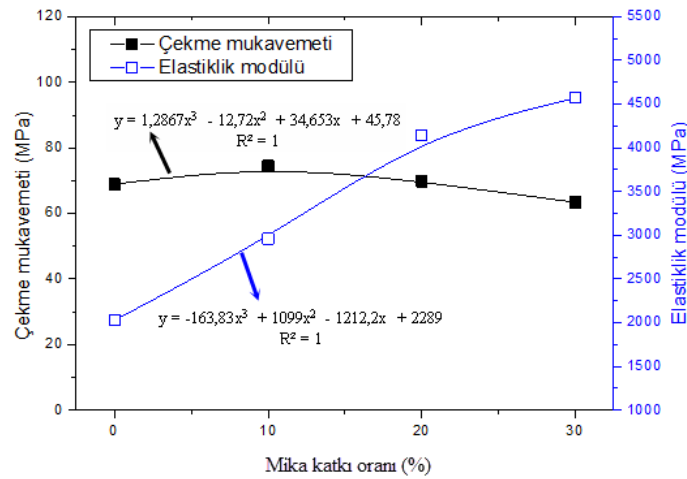
Test parametreleri	Birimi	Test şartları
Kayma yolu	(m)	2000
Çalışma sıcaklığı	(°C)	22±
Kayma hızı	(m/s)	0.6
Uygulanan yük	(N)	60, 120, 180

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Şekil 3’te katkısız PA6 polimeri ile PA6-M kompozitlerin çekme mukavemeti ve elastiklik modülü değerlerinin mika katkı oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Katkısız PA6 polimerinin çekme mukavemeti 68.92 MPa iken PA6-10M ve PA6-20M kompozitlerin çekme mukavemeti sırasıyla 74.4 MPa ve 69.77 MPa elde edilmiştir. PA6-30M kompozitin ise çekme mukavemeti 63.34 MPa elde edilmiştir. Katkısız PA6 polimeri ile karşılaştırıldığında PA6-10M ve PA6-20M kompozitlerin çekme dayanımı sırasıyla %8.02 ve %1.23 oranlarında artarken PA6-30M kompozitin çekme dayanımı %8.80 oranında azalmıştır. Elastiklik modülü değerleri incelendiğinde ise artan mika miktarına bağlı olarak elastiklik modülünün lineer olarak arttığı

belirlenmiştir. Katkısız PA6 polimerinin 2030MPa olan elastiklik modülü değeri %10 mika ilavesi ile %45.8 oranında artarak 2960 MPa değerine ulaşmıştır. Benzer şekilde PA6-10M ve PA6-20M kompozitlerin elastiklik modülleri sırasıyla %103.9 ve %125.0 oranlarında artarak 4140MPa ve 4568MPa değerlerine ulaşmıştır. Benzer sonuçlar Tomar ve Maiti (2010), Akçakale ve Bülbül (2017) tarafından da elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, polimer ile katkı arasındaki arayüzey bağının kuvvetli olması ile matristen katkıya verimli bir gerilim transferi oluşacağından dolayı çekme dayanımının artacağı aksi durumda ise azalacağı belirtilmiştir (Sahai & Pawar, 2017; Asyadi vd., 2013; Altay vd., 2021; Tomar & Maiti, 2010). Ayrıca, artan katkı miktarlarında topaklanmanın meydana gelmesi ile mekanik özelliklerin azalacağı belirtilmiştir (Asyadi vd., 2013). Sahai & Pawar (2017) artan katkı miktarı ile çekme dayanımının azalmasının sebebi olarak kullanılan mikanın işlem görmemiş olmasından kaynaklandığını ve arayüzey bağının oluşmadığını belirtmişlerdir. Asyadi vd. (2013) ise yüksek katkı miktarlarında kuvvet uygulandığında deformasyon esnasında katkıların polimer matristen ayrılacağı ve oluşan boşlukların boyutlarının büyümesi ile çatlak başlatıcı gibi davranabileceği ve dolayısıyla mekanik özellikleri azaltabileceği belirtilmiştir. Bose vd. (2006) başlangıçta katkı miktarının artmasıyla çekme dayanımının azaldığını yüksek katkı miktarlarında ise çekme dayanımının arttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde artan katkı miktarı ile elastiklik modülünün arttığını belirtmişlerdir. Rijit ve kuvvetli katkıların varlığı gerilimin transferinde polimer matrise yardımcı olur ve artan katkı miktarına bağlı olarak modül önemli oranda artar (Alghamdi, 2019; Tomar & Maiti, 2010). Çekme modülündeki artışın diğer bir nedeni ise katkı ilavesi ile birlikte polimer matrisin deforme kabiliyetinin sınırlanması ve zincir hareketliliğinin azalması olarak açıklanmıştır. Polimer zincir hareketliliğinin azalması, kompozitteki gerilim transferini azaltacak ve sonuçta polimerin sertliğini dolayısıyla rijitliğini yani elastiklik modülünü artacaktır (Deshmukh vd., 2011; Altay vd., 2021).



Şekil 3. PA6 polimerinin mika katkı oranına bağlı olarak çekme mukavemeti/elastiklik modülü ilişkisi

Figure 3. Tensile strength/elasticity modulus relationship depending on the mica filler content of PA6 polymer

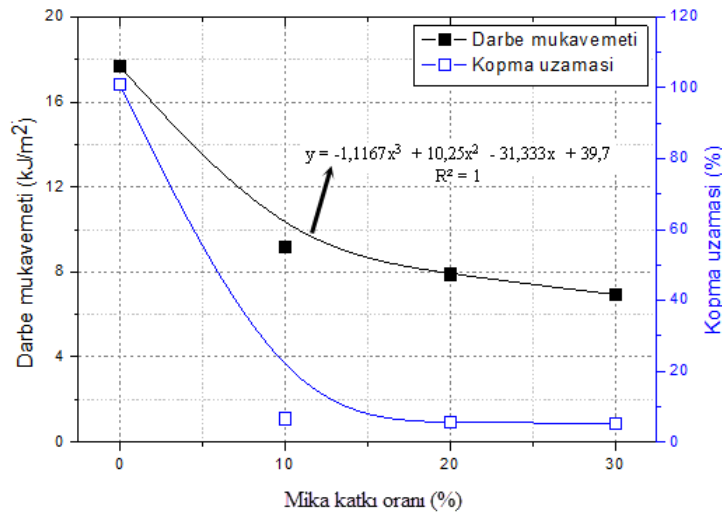
Tablo 3. Deneylerde kullanılan malzemeler ve sertlikleri

Table 3. Materials used in the experiments and their hardness

Sıra No	Malzeme	Sertlik (Shore D)
1	PA6	75±1
2	PA6-10M	76±1
3	PA6-20M	77±1
4	PA6-30M	79±1

Tablo 3’de deneylerde kullanılan saf PA6 polimeri ile değişik oranlarda mika katkılı PA6 kompozitlerin sertliklerinin değişimi verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi mika katkı oranının artması ile sertlik değerlerinde artış gözlenmiş ancak artışın kayda değer bir oranda olmadığı ifade edilebilir. Elastiklik modülü ve sertlikte artış gözlenmiş olup (Deshmukh vd., 2011; Altay vd., 2021) açıklamalarını desteklemektedir. Deshmukh vd. (2011) ise plakalı yapısı ile mikanın partikül boyutu ve polimer matris içerisinde dağılımının elastiklik modülün artmasında önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir.

Şekil 4'te katkısız PA6 polimeri ile PA6-10M, PA6-20M ve PA6-30M kompozitlerin darbe mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin değişimi gösterilmiştir. PA6 polimerine mika ilave edilmesi ile kompozitin hem darbe mukavemeti ve hem de kopma uzaması değerleri azalmıştır. Grafikte görüldüğü gibi katkısız PA6 polimerinin  $17.66 \text{ kJ/m}^2$  olan darbe mukavemeti %10 mika ilave edilince %92.7 oranında azalarak  $9.16 \text{ kJ/m}^2$  elde edilmiştir. Benzer şekilde PA6-20M ve PA6-30M kompozitlerin darbe mukavemetleri sırasıyla %124.1 ve %154.4 oranlarında azalmıştır. En düşük darbe mukavemeti %30 mika içeriğinde  $6.94 \text{ kJ/m}^2$  değeri ile elde edilmiştir. %101.01 değeri ile sünek bir davranış gösteren PA6 polimeri mika ilavesi ile gevrek bir davranış göstermiş ve % kopma uzaması değerleri önemli oranda azalmıştır. Katkısız PA6 polimerine ilave edilen %10, %20 ve %30 oranlarında mika ilavesi ile % kopma uzaması değerleri sırasıyla %1449,2, %1713,4 ve %1838,7 oranlarında azalmıştır. Yapılan çalışmalarda, artan katkı miktarı ile matrisin deforme olabilirliğinin veya zincir hareketliliğinin katkı tarafından engellendiğinin bir göstergesi olan kopma uzamasının azaldığı belirtilmiştir (Bose vd., 2006; Sahai & Pawar, 2017; Akçakale & Bülbül, 2017). Yüksek katkı miktarlarında küçülen partikül boyutu nedeniyle mevcut hacmi kapladığından dolayı uzamayı sağlayan matrisin miktarı yetersiz kalmış ve kopma uzaması azalmıştır. Ayrıca, plakalı yapıya sahip olan mika katkı miktarının artması ile toplam yüzey alanı artmıştır ve deformasyon oranı azalmıştır (Bose vd., 2006). Alghamdi (2019) ve Asyadi vd. (2013) ilave edilen ve artan mika miktarı ile kompozitin daha rijit bir hale geldiğini belirtmişlerdir. Asyadi vd. (2013) ayrıca artan mika içeriğine bağlı olarak kopma uzamasındaki azalmayı, mika partikülleri etrafında çatlakların oluşumuna, partiküllerin topklanmasına ve partiküllerin matristen bölgesel olarak ayrılarak boşluklar oluşturmasına bağlamıştır. Deshmukh vd. (2011) ise mika ve matris arasındaki zayıf arayüzey bağı nedeniyle kopma uzamasının azaldığını belirtmişlerdir. Düşük katkı miktarlarında darbe dayanımının arttığı belirtilmiştir. Düşük miktarlarda dayanımın artmasının sebebi matrisin artan miktarı ile daha fazla enerjiyi absorplaması olarak açıklanmıştır. Artan katkı oranına bağlı olarak matrisin deforme kabiliyeti azalarak sünekliği azaltır ve kompozit yapısal olarak zayıflamaktadır (Bose vd., 2006). Sahai & Pawar (2017) yüksek miktardaki katkı oranına bağlı olarak darbe dayanımının azalmasının yetersiz arayüzey bağı nedeniyle olduğunu belirtmişlerdir. Zayıf arayüzey bağı, mika katkısının polimer matrise gerilim transferini destekleyemeyeceği ve dolayısıyla çatlak büyümesi için potansiyel alanlar meydana getireceği belirtilmiştir. Polimer matriste oluşan boşlukların çatlak başlama yerleri haline geleceği ve dolayısıyla darbe dayanımının azalacağı belirtilmiştir (Sahai & Pawar, 2017; Asyadi vd., 2013). Tomar ve Maiti (2010) ise rijit katkı nedeniyle matrisin hareketinin sınırlanması ve polimer matrisin kristalliliğinin darbe dayanımı üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

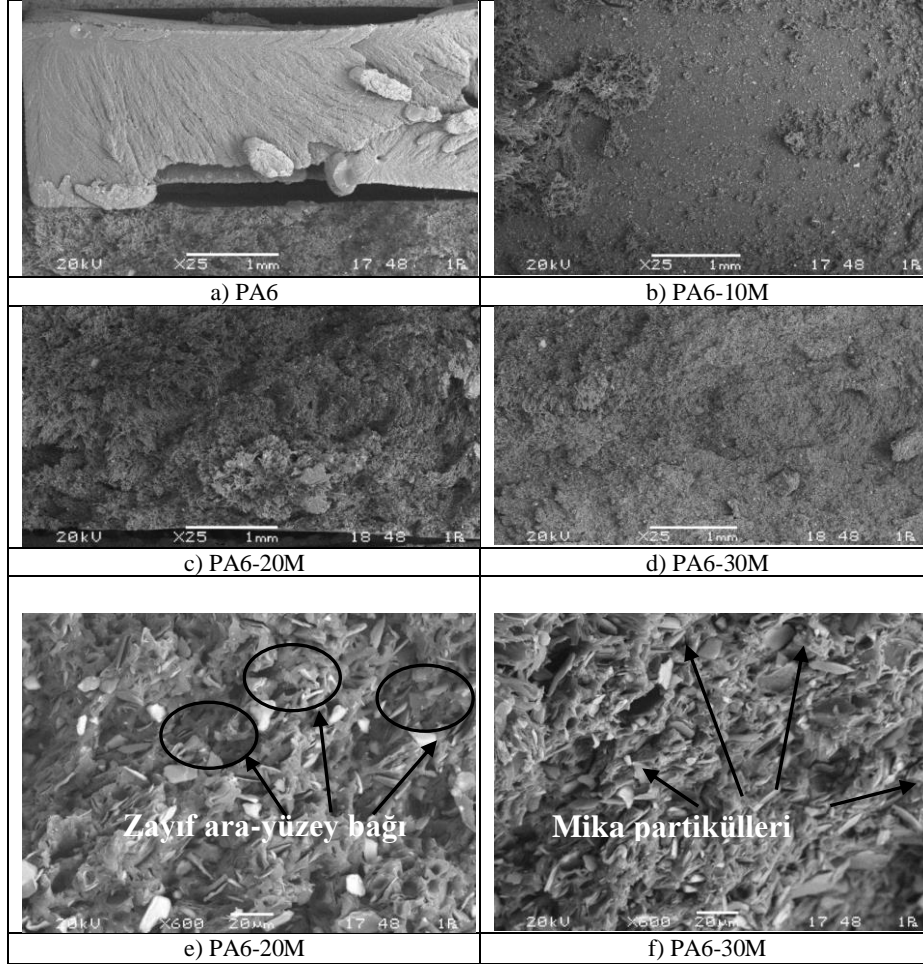


**Şekil 4.** PA6 polimerinin mika oranına bağlı olarak kopmadaki % uzama ve darbe mukavemeti değerlerinin değişimi.

**Figure 4.** Variation of % elongation at break and impact strength values depending on the mica filler content of PA6 polymer.

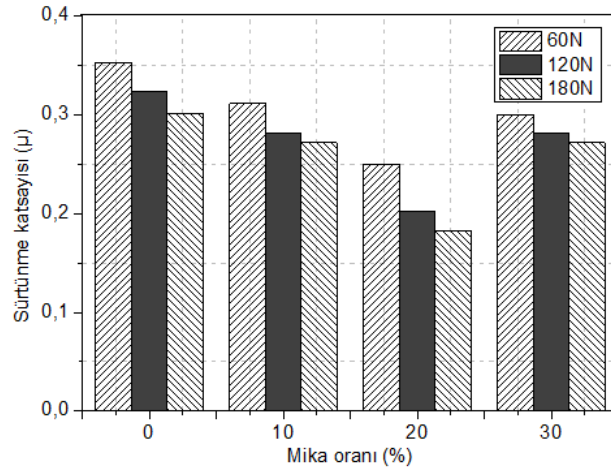
Şekil 5'te PA6 polimeri ve PA6-M kompozitlerin kırık yüzeylerden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir. Şekil 5-a'da katkısız PA6 polimerinin kırılma yüzeyinde sünek kırılmanın olduğu görülmektedir. Şekil 5 b-c ve d'de ise PA6-M kompozitlerin kırılma yüzey SEM resimleri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi mika katkısının matris içerisinde hemen hemen homojen olarak dağıldığı ve

herhangi bir topaklanma olmadığı görülmektedir. Ayrıca mika katkısının PA6 polimerini gevrek hale getirdiği ve kırık yüzeylerin düzgün olarak kırıldığı da görülmektedir. Şekil 5-e ve 5-f incelendiğinde ise mika ve PA6 polimer matris arasında zayıf bağlanma nedeni ile mika katkıların bağımsız halde matris yüzeyinde dağıldığı gözlenmiştir. Ancak PA6 ana matrisi ile mika katkıların ara-yüzey bağının iyi olmadığı da gözlenmiştir. (bakınız Şekil 5e) Şekil 5f de ise matris bünyesindeki mika katkıları gösterilmiştir. Bu durum Şekil 3'teki artan mika oranına bağlı olarak azalan çekme dayanımını açıklamaktadır.



**Şekil 5.** PA6 polimeri ile PA6-M kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.  
**Figure 5.** Scanning electron microscope images of PA6 polymer and PA6-M composites.

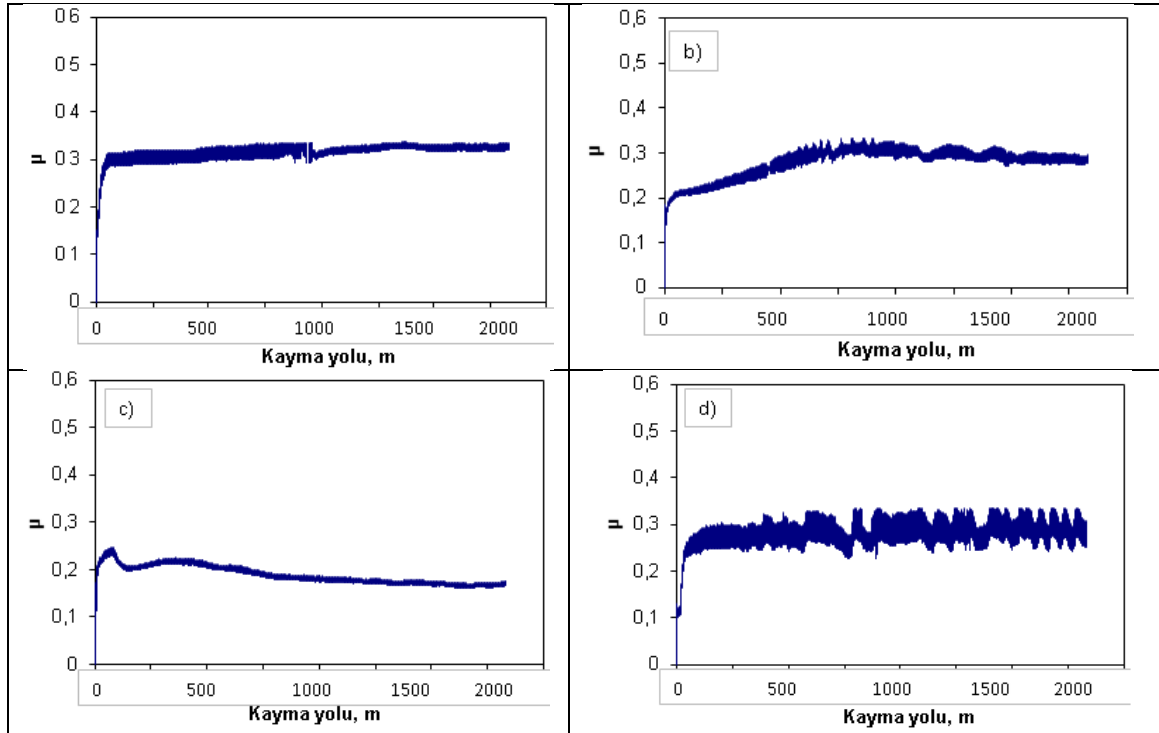
Şekil 6'da ise triboloji testleri sonucunda elde edilen mika katkı oranına ve uygulanan kuvvete bağlı olarak katkısız PA6 polimeri ile PA6-M kompozitlerin sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Yapılan çalışmalarda her bir noktadaki hata payının yaklaşık olarak %4-5 aralığında olduğu gözlenmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi PA6 ve PA6-M kompozitlerin sürtünme katsayısı artan yük miktarı ile azalmıştır. Uygulanan yük 60 N'dan 180 N'a çıkarıldığında katkısız PA6'nın sürtünme katsayısı %17.0 oranında, PA6-10M kompozitinin sürtünme katsayısı %14.6, PA6-20M kompozitin sürtünme katsayısı %37.4 ve PA6-30M kompozitin sürtünme katsayısı ise %10.4 oranında azalmıştır. Aynı zamanda, PA6 polimerine ilave edilen farklı oranlardaki mika katkı oranı kompozitin sürtünme katsayısını önemli oranda azaltmıştır. Bu azalma, sabit 120 N yük dikkate alındığında, PA6-10M kompoziti için %14.6 oranında iken PA6-20M kompoziti için %59.8 ve PA6-30M kompoziti için %14.7 oranında elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde PA6-30M kompozitin sürtünme katsayısı değerleri katkısız PA6 polimerinden düşük olmakla birlikte PA6-20M kompozitin sürtünme katsayısı değerlerinden ortalama %36.1 oranında daha yüksektir. Oshita vd. (2017) sentetik mikanın katman aralığının genişlemesiyle, dinamik sürtünme katsayısının yaklaşık 0.5'ten 0.10- 0.11 aralığına gerileyerek önemli ölçüde azaldığını ifade etmişlerdir. Mika katkı oranına ve uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının azalmasında mika katkı miktarının daha etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı 60 N yükte 0.35 değeri ile katkısız PA6 polimerinde elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı ise 180 N yük altında 0.18 değeri ile PA6-20M kompozitinde elde edilmiştir.



**Şekil 6.** PA6 polimeri ve PA6-M kompozitlerin mika oranına ve yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi

**Figure 6.** Variation of friction coefficient of PA6 and PA6-M composites depending on mica filler content and load.

Şekil 7’de ise PA6 ve PA6-M kompozitlerin kayma yoluna bağlı olarak sürtünme katsayılarının değişimi verilmiştir. Şekil 7a saf PA6 polimerinin Şekil 7b,c ve d sırasıyla PA6-10M, PA6-20M ve PA6-30M kompozitlerin kayma yoluna bağlı olarak sürtünme katsayılarının değişimi verilmiştir. Şekil 7a’ da verilen grafikte saf PA6 polimerinin stabil olma durumu çok kısa zamanda gerçekleşirken sırasıyla %10 ve %20 mika katkıli kompozitlerde (Şekil 7b,c) stabil olma durumu yaklaşık 800 m kayma yolunda olmuştur. %30 mika katkıli kompozitte ise (Şekil 7d) yaklaşık 200 m kayma yolunda stabil olma durumu gerçekleşmiştir.

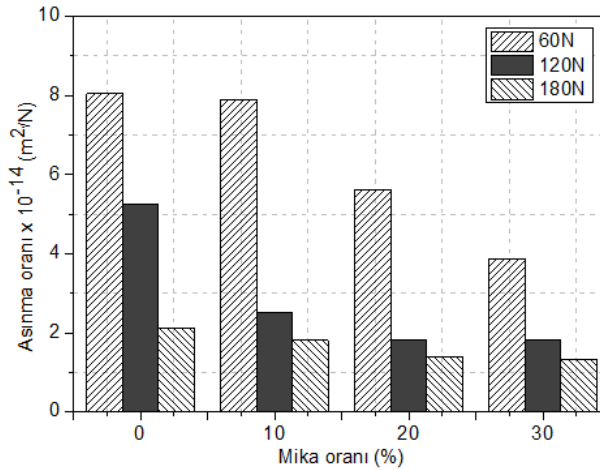


**Şekil 7.** PA6 polimeri ve PA6-M kompozitlerin sürtünme katsayısı/kayma yolu ilişkisi

**Figure 7.** The relationship between friction coefficient and sliding distance of PA6 and PA6-M composites

Şekil 8’de ise PA6 ve PA6-M kompozitlerin mika katkı oranına ve uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranının değişimi verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda her bir noktanın hata payı yaklaşık olarak %4 civarında olduğu belirlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yükün 60 N’dan 180 N’a çıkarılması ile aşınma oranı önemli oranda azalmıştır. Bu azalma, PA6 polimeri ile PA6-10M, PA6-20M ve PA6-30M kompozitleri için sırasıyla %277.6, %335.3, %301.9 ve %190.5 oranlarında elde edilmiştir. Düşük yük ve düşük katkı miktarındaki aşınma oranının azalması sınırlı kalırken artan yük ve mika oranı ile birlikte aşınma oranındaki

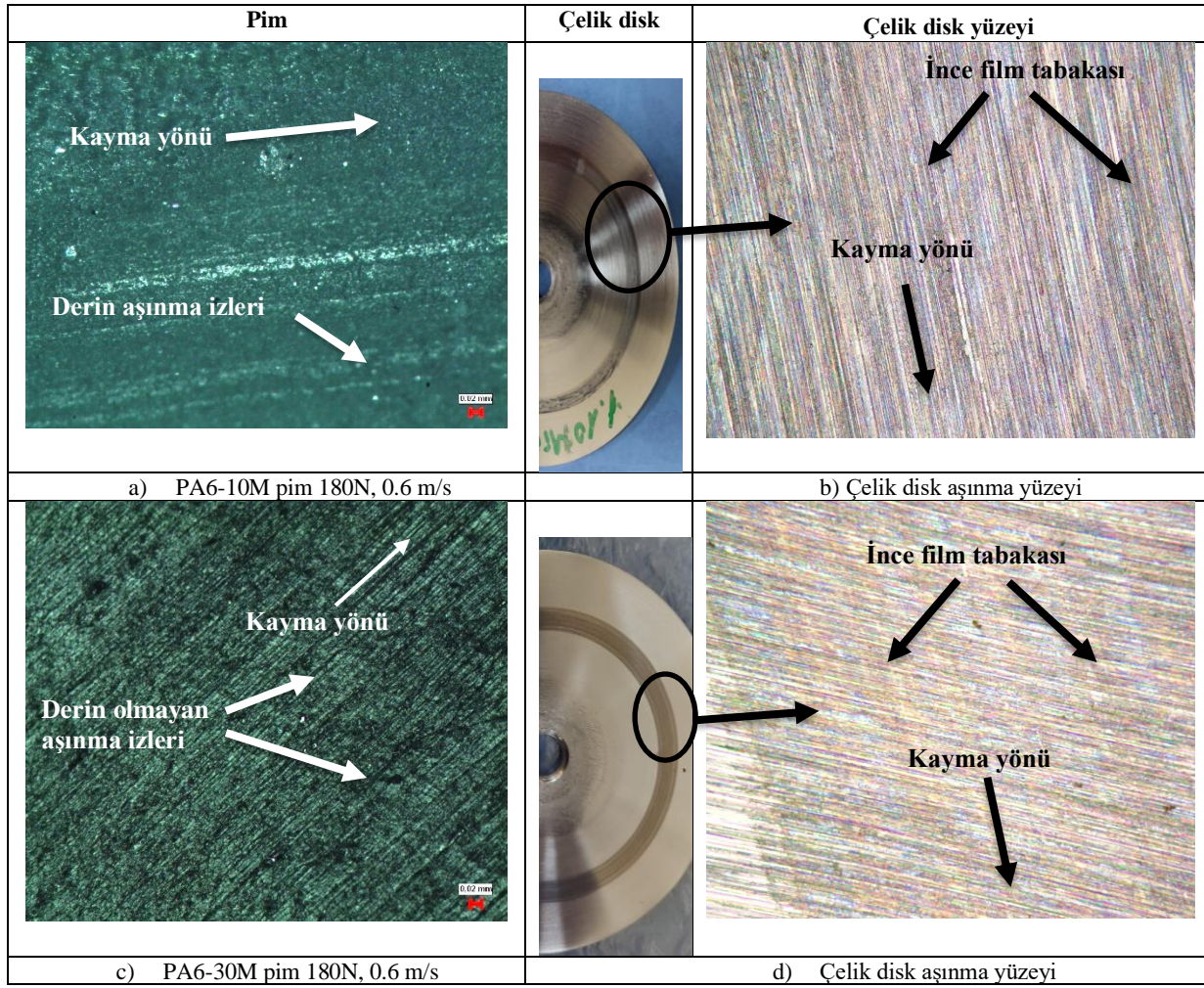
azalma miktarı artmıştır. 120 N yükte PA6 matrisine ilave edilen %10 oranındaki mika aşınma oranını %108.7 oranında azaltırken, %20 ve %30 mika oranlarında aşınma oranını %189.0 ve %189.5 oranlarında azaltmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, aşınma oranının  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N civarında elde edildiği belirlenmiştir. Mika katkı oranına ve uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranında azalmaya uygulanan yükün belirgin derecede etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek aşınma oranı 60 N yükte PA6 polimerinde elde edilmiştir. Aşınma oranı değeri ise  $8.051 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak tespit edilmiştir. En düşük aşınma oranı PA6-30M kompozitinde 180 N yükte elde edilmiştir. Aşınma oranı değeri  $1.336 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/N olarak tespit edilmiştir. Kompozitlerinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azalması, hem elastiklik modülü hem de sertlik artışı ile ilişkilendirilebilirken aynı zamanda mika katkının tabakalı yapıya sahip olması ile ilişkilendirilebilir. Yani PA6 ana matrisine ilave edilen mika katkı oranının artması ile kompozitlerin elastiklik modülü ve sertlik değerleri artarak rijitlik artmakta bu ise aşınma oranının azalmasına sebep olmaktadır. Buna ilaveten mikanın tabakalı yapısı, birbiri üzerinde kolaylıkla kayabilir. Çünkü tabakalar zayıf kuvvetler ile birbirine bağlı olup birbiri üzerinde kolaylıkla kayarken karşı yüzeyde yağlayıcılık özelliği gösterirler. PA6 ana matrisine ilave edilen mika sert fazı oluşturmaktadır. Mika, PA6 ve çelik disk arasındaki etkileşimi belirgin bir şekilde azaltmakta olup uygulanan yük transferini destekleyerek sürtünme ve aşınma özelliklerinin iyileşmesi yönünde önemli rol oynamıştır. Maslavi vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada sentetik mika takviyeli Poli-tetra-flor-etilen (PTFE) kompozitlerinde disk yüzeyinde oluşan film tabakası ile sürtünme katsayısının ve aşınma oranının geliştiğini, sentetik mikanın ise spesifik aşınma oranı üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.



**Şekil 8.** PA6 ve PA6-M kompozitlerin mika oranına ve yüke bağlı olarak aşınma oranı değişimi.

**Figure 8.** Wear rate variation of PA6 and PA6-M composites depending on mica filler content and load.

Şekil 9'da 0.6 m/s kayma hızı ve 180 N yük altındaki PA6-10M ve PA6-30M kompozitlerin çelik disk yüzeyine karşı çalıştığı durumda elde edilen pim ve çelik disk yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil 9 b ve d'de hem PA6-10M hem de PA6-30M kompozit numunelerde transfer film tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Aşınma testleri süresince şekillenen ve pim ile çelik disk arasındaki teması azaltan transfer film tabakasının, mika oranına bağlı olarak, kalınlığının ve dağılımının değiştiği ve tüm yüzeye yayıldığı gözlenmiştir. Transfer film tabakası, aşınma oranının önemli oranda azalmasına sebep olmuştur (Bakınız Şekil 8). Sukur vd. (2020) yaptıkları çalışmada grafen nano-plakaların ilave edilmesi ile kayma yüzeylerinde düşük kesme mukavemetine sahip bir transfer film tabakasının oluştuğunu ve bu durumun da sürtünme katsayısı ve dolayısıyla aşınma oranını azalttığını belirtmişlerdir. Grafen nano-plakaların katı yağlayıcı gibi davranarak kayma sırasında sürtünme yüzeyleri arasındaki teması azaltarak tribolojik performansı artırdığı belirtilmiştir. Meng vd. (2020) sentetik mikanın katman boyutunun büyük ve katmanlar arası kuvvetinin zayıf olduğunu, bu nedenle sentetik mika katmanlarının birbirinden ayrılmasının kolay olmasından dolayı çelik bilye üzerinde yoğun ve düzensiz koruyucu transfer film oluşumuna katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Deaconescu & Deaconescu (2020) koruyucu film tabakası kalınlığının artan hız ile büyüdüğünü belirtmişlerdir. Şekil 9 a ve c'de ise PA6-10M ve PA6-30M kompozit pim numunelerinin optik mikroskopta aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri detaylı bir şekilde incelendiğinde pim numunelerin kayma yönünde derin aşınma izlerinin oluştuğu görülmektedir. Aşınmanın yüzeyden parça koparak oluştuğu söylenebilir. Burada abradif aşınma mekanizması daha etkin olmuştur. Kompozitteki mika oranının artmasına bağlı olarak aşınma izlerinin azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 9. Disk ve pim optik aşınma yüzey görüntüleri.

Figure 9. Optical images of disc and pin wear surfaces.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

%10-20-30 oranlarında mika katkılı PA-6 kompozitlerin tribolojik ve mekanik performanslarının değerlendirildiği deneysel çalışma sonucunda;

Katkısız PA6 polimeri ile karşılaştırıldığında PA6-10M ve PA6-20M kompozitlerin çekme dayanımı sırasıyla %8.02 ve %1.23 oranlarında artarken PA6-30M kompozitlerin çekme dayanımı %8.80 oranında azalmıştır. Polimer ana matristeki artan mika oranına bağlı olarak elastiklik modülü %45.8, %103,9 ve %125 oranlarında artmıştır. En düşük darbe mukavemeti %30 mika içeriğinde 6.94 kJ/m<sup>2</sup> değeri ile elde edilmiştir. Kopma uzaması değeri %101.01 ile sünek bir davranış gösteren PA6 polimeri mika ilavesi ile gevrek bir davranış göstermiş ve kopmadaki % uzama değerleri önemli oranda azalmıştır. PA6 polimerine ilave edilen mika, PA6 esaslı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısının ve aşınma oranının azalmasına sebep olmuştur. Buna ilaveten, aşınma deneylerinde yükün artırılması ile tüm malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri azalmıştır. Kompozit bünyesinde sert faz olarak bulunan mika, PA6 ve karşı çelik disk arasındaki etkileşimi belirgin bir şekilde azaltmıştır. Buna ilaveten mika yük transferini destekleyerek kompozitin aşınma performanslarının iyileşmesinde önemli rol oynamıştır. Elektriksel uygulamalarda kullanılma potansiyeli olan bir plastik parçanın mekanik ve tribolojik performansları dikkate alındığında teknik açıdan en uygun kompozit malzemenin PA6-30M kompoziti olduğu tespit edilmiştir. Ancak fiyat/performans açısından ticari olarak değerlendirildiğinde PA6-20M kompozitinin kullanılması daha uygundur.

#### Yazar katkısı

Author contribution



Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**



*References*

- Akçakale, N., & Bülbül, S. (2017). The effect of mica powder and wollastonite fillings on the mechanical properties of NR/SBR type elastomer compounds. *Journal of Rubber Research*, 20(3), 157-167. <https://doi.org/10.1007/BF03449149>
- Alghamdi, M. (2019). Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)/Mica composites: preparation and characterization. *Minia Journal of Engineering & Technology (MJET)*, 38(1), 244-255.
- Altay, L., Sarikanat, M., Saglam, M., Uysalman, T., & Seki, Y. (2021). The effect of various mineral fillers on thermal, mechanical, and rheological properties of polypropylene. *The journal of Research on Engineering Structures and Materials (RESM)*, 7(3), 361-373. <http://dx.doi.org/10.17515/resm2021.258ma0213>
- Asyadi, F., Jawaid, M., Hassan, A., & Wahit, M. U. (2013). Mechanical properties of mica-filled Polycarbonate/Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(7), 727-736. <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.762672>
- Bose, S., & Mahanwar, P. A. (2004). Effect of particle Size of filler on properties of Nylon-6. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 3(1), 23-31. doi:10.4236/jmmce.2004.31003
- Bose, S., Raghu, H., & Mahanwar, P. A. (2006). Mica reinforced Nylon-6: effect of coupling agents on mechanical, thermal, and dielectric properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(5), 4074-4081. <https://doi.org/10.1002/app.23253>
- Demir, Z. (2013). Tribological performance of polymer composites used in electrical engineering applications. *Bulletin of Materials Science*, 36(2), 341-344. <https://doi.org/10.1515/POLYENG.2009.29.8-9.549>
- Deaconescu, A., & Deaconescu, T. (2020). Tribological behavior of hydraulic cylinder coaxial sealing systems made from PTFE and PTFE compounds. *Polymers*, 12(1), 155, 2-14. <https://doi.org/10.3390/polym12010155>
- Deshmukh, S. P., Rao, A. C., & Gava, V. R. (2011). Mica-filled PVC composites: Effect of particle size, filler concentration, and surface treatment of the filler, on mechanical and electrical properties of the composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24(5), 583-599. <https://doi.org/10.1177/0892705710393114>
- Farzaneh, S., & Tcharkhtchi, A. (2011). Viscoelastic properties of polypropylene reinforced with mica in T $\alpha$  and T $\alpha$ c transition zones. *International Journal of Polymer Science*. Volume 2011, Article ID 427095. <https://doi.org/10.1155/2011/427095>
- Gan, D., Lu, S., Caisheng, S., & Zhijian, W. (2001). Mechanical properties and frictional behavior of a mica-filled poly (aryl ether ketone) composites. *European Polymer Journal*, 37(7), 1359-1365. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(01\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00010-6)
- Gaurav, A., Amar, P., & Rajesh, K. S. (2013). Parametric optimization and three-body abrasive wear behavior of SiC filled chopped glass fiber reinforced epoxy composites. *International Journal of Composite Material*, 3(2), 32-38. doi:10.5923/j.cmaterials.20130302.02

- Jianping, G., Luedtke, W. D., Gourdon, D., Ruths, M., Israelachvili, J. N., & Landman, U. (2004). Frictional forces and Amontons' Law: From the molecular to the macroscopic scale. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(11), 3410-3425. <https://doi.org/10.1021/jp0363621>
- Kodal, M., Ertürk, S., Şanlı, S., & Özkoc, G. (2015). Properties of talc/wollastonite/Polyamide 6 hybrid composites. *Polymer Composites*, 36(4), 739-746. <https://doi.org/10.1002/pc.22993>
- Lichao, X., Hong, W., Shaoyun, G., Xiaojie, S., & Wenbin, L. (2016). Enhanced sound insulation and mechanical properties of LDPE/mica composites through multilayered distribution and orientation of the mica. *Composites: Part A*, 81, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.023>
- Maslavi, A., Ünal, H., & Kaştan, A. (2022). Sentetik Mika Takviyeli Poli-tetra-flor-etilen Polimer Kompozitin Tribolojik Özelliklerine Uygulanan Yükün ve Kayma Hızının Etkisinin Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 899-910. DOI: 10.35414/akufemubid.1112777
- Merve, K., Nilgün, K., & Mehmet Ali, O. (2021). Influence of mica mineral on flame retardancy and mechanical properties of intumescent flame retardant polypropylene composites. *Open Chemistry*, 19(1), 904-915. <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0072>
- Meng, Z. J., Wang, Y. X., Xin, X. C., Liu, H., Yan, Y. F., & Yan, F. Y. (2020). The influence of several silicates on the fretting behavior of UHMWPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(43), 49335. <https://doi.org/10.1002/app.49335>
- Oshita, K., Yanagi, M., Okada, Y., & Komiyama, S. (2017). Tribological properties of a synthetic mica-organic intercalation compound used as a solid lubricant. *Surface & Coatings Technology*, 325, 738-745. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.080>
- Sahai, R. S. N., & Pawar, N. (2017). Studies on mechanical properties of mica filled Polyphenylene oxide composite with coupling agent. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 1(7), 153-157.
- Subburamamurthy, H. B., Rathanasamy, R., Kumar, H. K. M., Chinnasamy, M., Kaliyannan, G. V., & Natarajan, S. (2020). Selection of appropriate reinforcement for Nylon material through mechanical and damping characteristics. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 30(4), 2020046. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.05520>
- Sukur, E. F., Kocaman, S. & Onal, G. (2020). Mechanical, Tribological and Thermal Properties of Epoxy Based Phenolic Nanocomposites Reinforced with Graphene Nanoplatelet, *Special Issue: ICAMMEN 2018, Yıldırım Beyazıt University, CRPASE: Transactions of Mechanical Engineering*, 6, 21-27.
- Tomar, N., & Maiti, S. N. (2010). Mechanical properties of mica-filled PBT/ABAS composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 117(2), 672-681. <https://doi.org/10.1002/app.30171>
- Unal, H., Saylan, T., & Mimaroglu, A. (2014). Thermal, mechanical and tribological performance of polymer composites rubbed against polymer composites in application in electrical contact breakers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(6), 608-615. <https://doi.org/10.1177/1350650114521406>
- Ünal, H., Yetgin, S. H., & Köse, S. (2023). Tribological performance of polyamide 6/wax blend for rolling bearing, bushing and gear applications. *International Journal of Chemistry and Technology*, 7(1), 77-83. <https://doi.org/10.32571/ijct.1292871>
- Verbeek, J., & Christopher, M. (2012). *Mica-Reinforced polymer composites, in polymer composites*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

## Güneş enerji santrallerinde PV\*SOL yazılımının güvenilirliğinin değerlendirilmesi

*Evaluation of the reliability of PV\*SOL software in solar power plants*

Abdussamed BALKAN<sup>1</sup> , Göksu GÖREL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 18100, Çankırı

<sup>2</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 45400, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 15.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 19.07.2024

### Öz

Fosil yakıtların çevreye verdiği zarar ve tükenebilir bir kaynak olmasından ötürü yenilenebilir enerji dalında artan talep sonucunda yüksek verim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Santrallerin kurulumundan önce verimlilik düzeyinin saptanması için kullanılan bazı performans analizlerine olan ihtiyaç da aynı doğrultuda artmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen yazılımlar aracılığıyla santralin kurulumuna başlanılmadan önce santrale ait tahmini üretim değerleri, amortisman süresi gibi verilere önceden ulaşılabilir. Yatırımcılar bu yazılımlar ile en yüksek verime sahip alanları saptayarak santral kurulumuna başlamaktadırlar. Bu çalışmada elektrik enerjisi üreten 1.166 kWp/1000kWe kapasiteye sahip Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi Gençali köyü mevkiine kurulmuş olan bir fotovoltaik sistemin Lüytob üretim verileri ile PV\*SOL programına ait üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada PV\*SOL programı ile gerçek üretim sonuçlarını karşılaştırılmıştır ve PV\*SOL programının sonuçlarının güvenilirliği değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fotovoltaik sistem, PV-SOL yazılımı, Lüytob verileri

### Abstract

Due to the environmental damage of fossil fuels and being an exhaustible resource, the need for high efficiency has emerged as a result of the increasing demand in the renewable energy branch. The need for some performance analyzes used to determine the efficiency level before the installation of power plants has also increased in the same direction. By means of the software developed in this direction, data such as estimated production values and amortization period of the power plant can be accessed in advance before the installation of the power plant is started. With these software, investors determine the areas with the highest efficiency and start the plant installation. In this study, the Lüytob production data of a photovoltaic system installed in the Gençali village of Dinar town of Afyonkarahisar with a capacity of 1.166 kWp/1000kWe producing electrical energy were compared with the production values of the PV\*SOL program. In this study, the actual production results were compared with the PV\*SOL program and the reliability of the results of the PV\*SOL program was evaluated.

**Keywords:** Photovoltaic system, PV-SOL software, Lüytob data

## 1. Giriş

Enerji toplumun gereksinimlerinin karşılanmasında en önemli unsurdur. Ayrıca enerji, devletlerin güvenliğini ve gelecekteki durumunu etkileyen ve yönlendiren temel unsurlardan biridir. Enerji kaynakları, küresel boyutta meydana gelen krizlerin en önemli sebeplerinden biridir (Erdoğan, 2020).

Dünya nüfus artış hızının ve sanayileşmenin artması beraberinde enerji tüketim miktarını da artırmaktadır. Bu gelişmelerden ötürü enerji tüketim miktarında her yıl yaklaşık %4-5 oranında bir artış yaşanmaktadır (ETKB, 2018). Dünya Enerji İstatistik Görünümü 2018 Raporu'nda 2040 yılına kadar, karbon emisyon oranının %10 oranında artması beklenmektedir. Bu oran, Paris İklim Anlaşmasında alınan kararların yerine getirilmesi için gerekli olan miktardan daha yüksektir. Bu yüzden, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından 'Daha Hızlı Dönüşüm' adlı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryo ile karbon emisyonlarının 2040 yılına kadar %50 oranında azaltılması amaçlanmaktadır (BP, 2018).

Elektrik tüketim miktarının devamlı olarak artması ve kaynakların büyük bir bölümünün fosil yakıtlardan olması dışa bağımlılık sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu yakıtların atmosfere saldığı gazların birçok sorunu da beraberinde getirmesinden ötürü yenilenebilir enerjiye olan talep artmıştır (Güven, 2016).

Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücü devamlı olarak artan bir süreci takip etmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücü 2013 yılında 25,6 GW iken Eylül 2020 itibariyle bu değer 47 GW'a yükselmiştir. Türkiye jeotermal, güneş ve rüzgâr enerjisi bakımından önemli kaynaklara sahip bir ülke konumundadır. Bu kaynakların gelişimi fosil yakıt ve ithal bağımlılığının azaltılması ve ayrıca iklim değişikliği ile mücadele etmesi bakımından son derece önem arz etmektedir (TSKB, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde yer alan güneş enerjisinin yüksek potansiyele sahip olması geniş kullanım alanına yol açmaktadır. Güneş enerji santrallerine ait fizibilite çalışmalarının yapılmasında bazı yazılımlar kullanılarak çeşitli simülasyonlar yapılmaktadır. Bu simülasyonlar neticesinde ulaşılan veriler yatırımcının yatırım kararını yönlendirmektedir. Simülasyon programları belirlenen bir alan için kâr ve maliyet miktarını yatırımcıya sunmanın yanı sıra en verimli yatırım alanının belirlenmesine de imkân sağlamaktadır. Bu nedenden ötürü simülasyon programlarının tutarlılığı güneş enerji santrallerine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Öztürk, 2021)

Güneş enerjisinin süreklilik arz etmesi, doğaya verdiği zararın çok az olması ve fotovoltaik teknolojisinin hızla ilerlemesinden ötürü bu sistemlerin enerji üretim verimliliği, performans tahmini gibi parametrelerinin belirlenmesi için bazı simülasyon programları oluşturulmuştur. PV\*SOL bu programlardan biridir (Keskin, Martin, & Boran, 2019). (İşler & Salihmuhsin, 2019) çalışmasında sehpa çeşitlerinin üretime olan etkisini saptamak için PV\*SOL yazılımını kullanmıştır. Bu çalışmada yıllık toplam üretim değerleri ve performans oranları karşılaştırılmıştır. Çalışmada beş farklı sehpa tipi belirlenerek bu sehpa tiplerine ait modellemeler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda en yüksek verime sahip sehpa tipi arazi tipi olarak belirlenirken, en düşük verime sahip sehpa tipi ise çatı üzeri sıfır montaj tipi olarak belirlenmiştir. Al-Shagea vd. (2021) çalışmasında, Kocaeli Üniversitesi çatısında kurulan şebeke bağlantılı bir fotovoltaik güç üretim santralının 2018-2019 yılı üretim verilerini PVsyst, PV\*SOL ve GEPA'ya ait tahmini üretim değerleri ile karşılaştırmışlardır. PVsyst verilerine göre sistem %87,5-%91, GEPA verilerine göre %96,6-%100, PV\*SOL verilerine göre ise %97,3-%98,1 oranında üretim performansına sahiptir. Ceylan & Taşdelen (2018) yapmış oldukları çalışmada Isparta ilinde bulunan 1 MW güce sahip bir güneş enerji santralinin gerçek üretim verilerini dört farklı simülasyon programı ile modelleyip gerçeğe en yakın sonucu veren programı ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bu doğrultuda Helioscope, PVGIS, Polysun ve PV\*SOL programları kullanılarak 2017 yılı gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda Helioscope ve PV\*SOL programlarının diğer iki programa göre daha detaylı analiz yaptığı sonucuna varılmıştır. Üretim değerleri karşılaştırıldığında %1,2 sapma oranı ile en yakın üretim değerini Helioscope, akabinde %1,3 sapma oranı ile PVGIS, %3,6 sapma oranı ile Polysun ve son olarak %7,5 sapma oranı ile PV\*SOL vermiştir. Taşkın & Vardar (2019) Uludağ Üniversitesi çatısı için PV\*SOL simülasyon programını kullanarak farklı seçenekler üzerinden modellemeler yapmışlardır. Bu simülasyon sonuçları üzerinden teknik analizler yapılarak farklı koşullarda sistemin sunacağı elektrik üretim miktarının belirlenmesiyle yatırım kararına yardımcı olması amaçlanmaktadır. Gölgeleme faktörünün belirlenmesi için AutoCAD, bölgenin iklimsel değerleri ve güneş ışınımının belirlenmesi için Metenorm kullanılmıştır. Yapılan farklı modellemelerin sonucunda elde edilen üretime göre, sistem her zaman en fazla üretimi temmuz, en az üretimi ise ocak ayında gerçekleştirmiştir.

Ayrıca simülasyon sonucuna göre sistem verimliliği dikey doğrultulu panellerde daha fazla olmaktadır. [Dondariya vd. \(2018\)](#) Hindistan da bir evin çatısına kurulan şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Sistemin performansının analizi için SolarGIS, PVGIS, PV\*SOL ve SISIFO kullanılmıştır. Çalışmada performansın tahmini için, güneş fraksiyonu, enerji üretimi ve performans oranı değerlendirilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda PV\*SOL maksimum enerji çıkışını Mart ayında verirken diğer yazılımlar Mayıs ayı olarak vermektedir. Sıcaklık arttıkça Solar PV çıkışının azalacağına dikkate alınmasıyla Mayıs ayında üretimin daha az olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda PV\*SOL yazılımının güneş enerji sistemleri simülasyonları için hızlı, güvenilir ve kolay bir yazılım olduğu sonucunda ulaşılmıştır. [Kınalı \(2019\)](#) çalışmasında Karaman ve Konya illerinde bulunan üç güneş enerji tesisinin gerçek modelleri ve gerçek üretim değerlerini farklı simülasyon programları ile karşılaştırmıştır. Üç tesis içinde yapılan simülasyonlar sonucunda performans tahmini, referans verimi ve kapasite faktörü açısından en doğru sonucu PV\*SOL yazılımı vermiştir. Devamında ise PVGIS4 ve PVSyst yazılımı vermiştir.

PV\*SOL programı, bünyesinde 5.000 adet farklı modül tipini içermektedir. Bu modüllerin gölgelendirmelerini hesaplayan PV\*SOL programında 3D menü navigasyonu bulunmaktadır. PV\*SOL programı ile şebekeden bağımsız sistemlerin planlanması ve simülasyonları yapılabilmektedir. PV\*SOL'de MeteoSyn iklim veri tabanı kullanılmaktadır. Fakat kullanıcının isteği doğrultusunda mevcut değerlere ekleme yapılarak ya da kullanıcının işlediği aylık ortalama verilere göre de hesaplamalar yapılabilmektedir. PV\*SOL programı işlenen verilere bağlı olarak bir verim simülasyonu oluşturmaktadır ([Ceylan, 2017](#)).

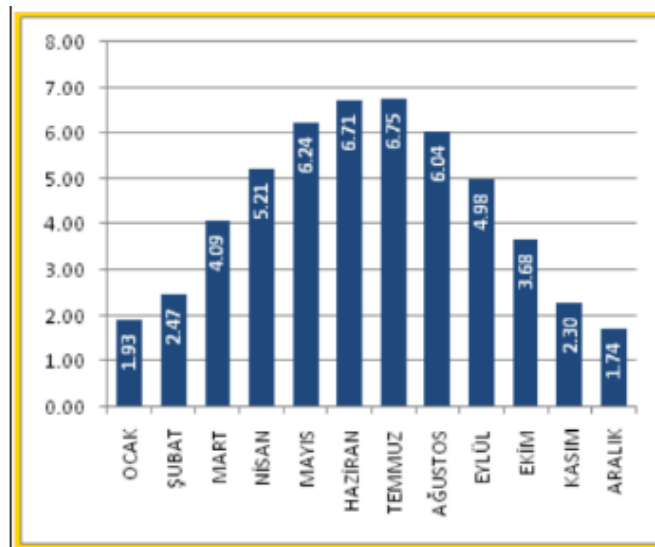
Çalışmanın materyal ve metot bölümünde, Afyonkarahisar ili iklimsel verileri ile sistemin tasarım ve ekipman bilgileri yer almaktadır. Bulgular bölümünde PV\*SOL yazılımına ait tahmini üretim değerleri ile, gerçek üretim değerleri aylık olarak verilmektedir. Sonuç bölümünde PV\*SOL yazılımının güvenilirliği elde edilen verilerle sunularak hata payı oranına ulaşılmıştır.

## 2. Materyal ve metot

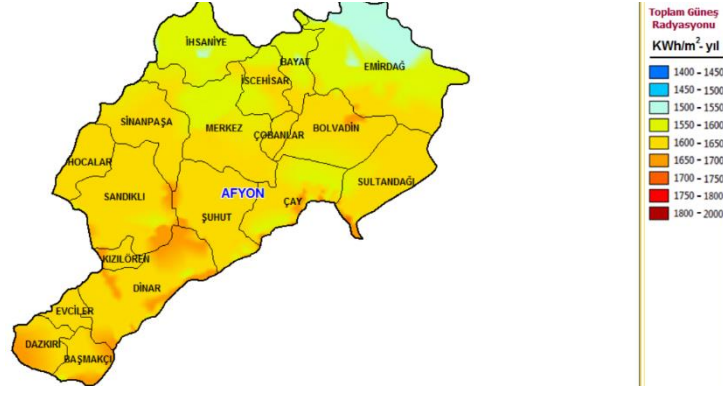
Bu çalışmada PV\*SOL programı kullanılarak Afyonkarahisar ilinin Gençali köyünde kurulan AKOBA-2 Güneş Enerji Santralinin modellenmesi ve üretim değerlerinin karşılaştırılması üzerinde çalışılmıştır. Fotovoltaik sistemlerde PV\*SOL programı 3 boyutlu çizimi sayesinde gölgeleme unsurlarını net bir şekilde verebilmekte ve sistem verimliliği hesaplamalarında da net sonuçlar verebilmektedir. Çalışmada nicel yöntem kullanılarak sistem üretimi ile ilgili rakamsal veriler elde edildi.

### 2.1. İklimsel veriler

Afyonkarahisar ili Dinar ilçesine ait küresel ışınım değerleri Şekil 1'de yer almaktadır. Şekil 2'de ise Afyonkarahisar iline ait güneş radyasyon haritası verilmektedir ([T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü](#)).



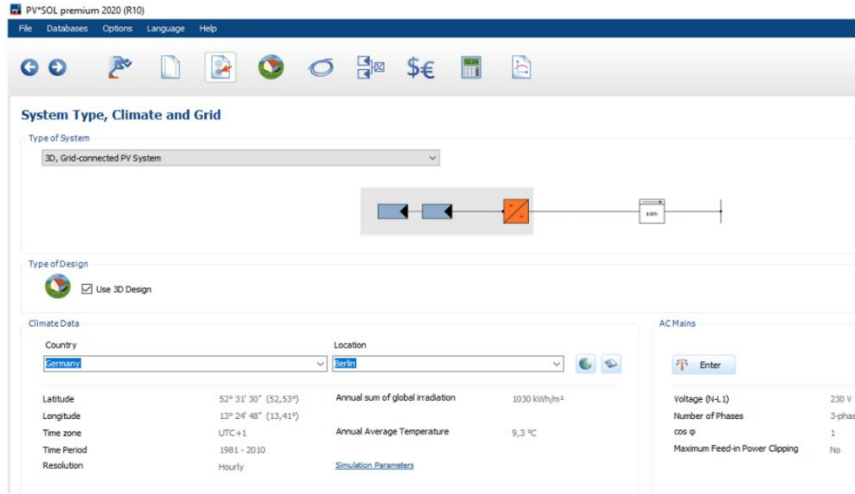
Şekil 1. Dinar ilçesine ait küresel ışınım değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 2. Afyonkarahisar güneş radyasyonu haritası

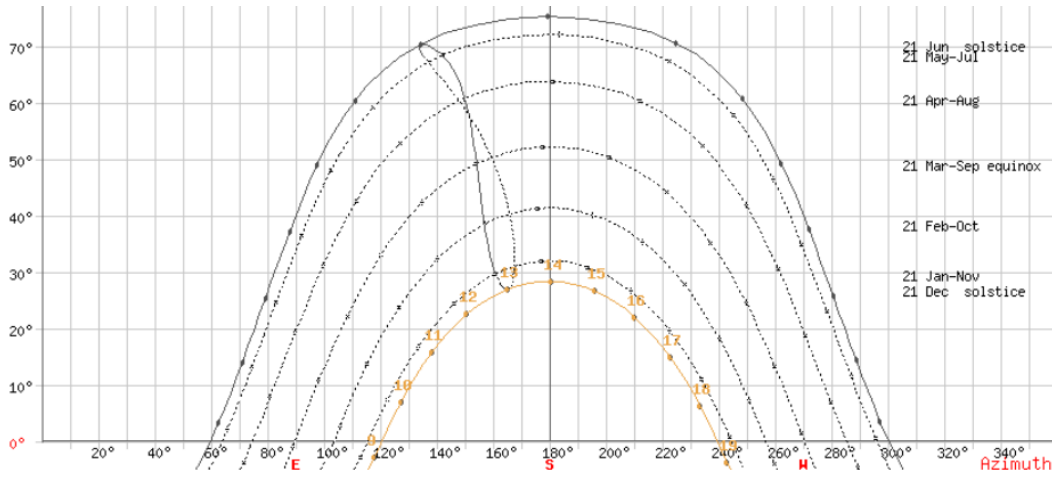
## 2.2. Tasarım

Önerilen sistemin optimizasyonu PV\*SOL yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. PV\*SOL yazılımı hibrit enerjili sistemlerde performans değerlendirmesini gerçekleştiren bir simülatördür. PV\*SOL yazılımı modül dizisi fazlalığını, jeneratörlerin ürettiği toplam enerjiyi, modüllerin optimum eğim açısını ve sistem verimliliğini değerlendirmektedir (Patarau vd., 2015). Şekil 3’de PV\*SOL arayüzü verilmektedir. Bu çalışmada PV\*SOL programının güvenilirliği ve gerçek değerlere olan yakınlığının saptanması için AKOBA-2 GES’in PV\*SOL tahmini üretim verileri ile Lüytob verileri saptanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak çizelge haline getirilmiştir.



Şekil 3. PV\*SOL arayüzü

PV\*SOL yazılımında yapılan uygulama kapsamında öncelikle Google Map üzerinden seçilen sahanın koordinatları PV\*SOL programına işlenmiştir. 1.166kWp/1.000kWe kurulu güç için Hanwha Solar marka 265W polikristal panel kullanılmıştır. Akabinde santral sınırları içerisinde yerleşimin gerçekleştirilebilmesi için iki sehpa arası mesafenin belirlenerek simülasyon çalışmasının tasarım aşaması gerçekleştirilmektedir. Modül kurulumunda sehpa açılarının belirlenmesi verimli bir üretim için oldukça önemli bir faktördür. Sehpaların açılara göre güneşten gelen ışınların değişmesinden ötürü üretim miktarı da değişiklik göstermektedir. Güneşin geliş açısının belirlenmesi için Şekil 4’te verilen en uzun gölgelemenin olduğu 21 Aralık günü içerisinde 4 saatlik bir süreç seçilmiştir. Tablo 1’de azimut açısının 180° olduğu noktadan 2 saat öncesi ve 2 saat sonrasına kadar alınan verilerde güneş ışınının geliş açısının değeri 22° olarak görülmektedir.

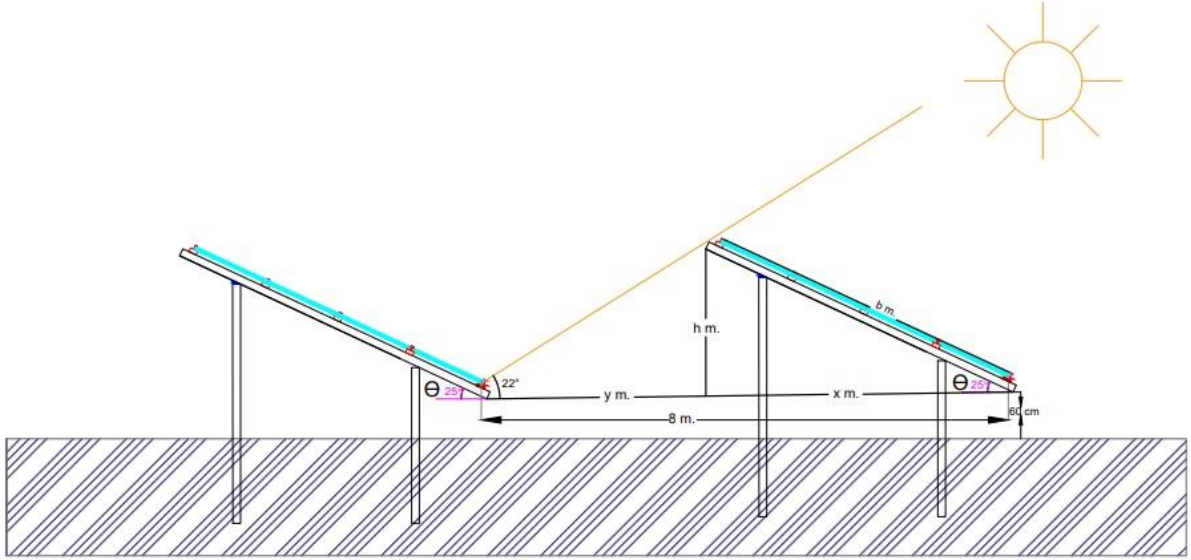


Şekil 4. 21 Aralık Güneş geliş açısı

Tablo 1. Azimuth açısı

Date:	21/12/2021 GMT3	
Coordinates:	38.1571304, 30.2175771	
Location:	38.15713040,30.21757710	
Hour	Elevation	Azimuth
11:50:00	21.55°	148.67°
12:00:00	22.54°	150.9°
12:10:00	23.46°	153.18°
12:20:00	24.31°	155.51°
12:30:00	25.09°	157.88°
12:40:00	25.79°	160.3°
12:50:00	26.41°	162.76°
13:00:00	26.96°	165.25°
13:10:00	27.41°	167.78°
13:20:00	27.79°	170.33°
13:30:00	28.07°	172.91°
13:40:00	28.27°	175.5°
13:50:00	28.38°	178.1°
14:00:00	28.4°	180.71°
14:10:00	28.33°	183.31°
14:20:00	28.18°	185.91°
14:30:00	27.93°	188.49°
14:40:00	27.6°	191.05°
14:50:00	27.18°	193.59°
15:00:00	26.67°	196.1°
15:10:00	26.09°	198.58°
15:20:00	25.42°	201.01°
15:30:00	24.68°	203.41°
15:40:00	23.86°	205.76°
15:50:00	22.97°	208.06°
16:00:00	22.01°	210.31°
16:10:00	20.99°	212.52°

Bu proje kapsamında Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi için güneşin geliş açısı 22° olarak belirlenmiş olup sehpa açısı ise 25° olarak belirlenmiştir. İki sehpa arası mesafe hesabı görsel olarak Şekil 5.'de verilmiş olup görselde yer alan bilgiler doğrultusunda Denklem (1) kullanılarak iki sehpa arası mesafe 8m. olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. İki sehpa arası mesafe hesabı

$$x = \cos \theta \cdot b \quad (1)$$

$$h = \sin \theta \cdot b$$

$$y = \frac{h}{\tan 22^\circ}$$

$$d = x + y = 7,9889 \cong 8m.$$

Hanwha Solar 265 Watt'lık 4.400 adet polikristal modül kullanılarak 1 invertörde 22 adet seri 8 adet paralel diziler, 16 invertörde 22 adet seri 12 adet paralel diziler oluşturulmuştur. SMA marka 60kW nominal güce sahip 17 adet invertör kullanılmıştır. 16 adet invertörün 264 adet 265Wp güce sahip, 1 adet invertörün 176 adet 265Wp güce sahip modülden enerjilendirilecek biçimde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen santrale ait PV\*SOL genel yerleşim planı Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Genel yerleşim planı

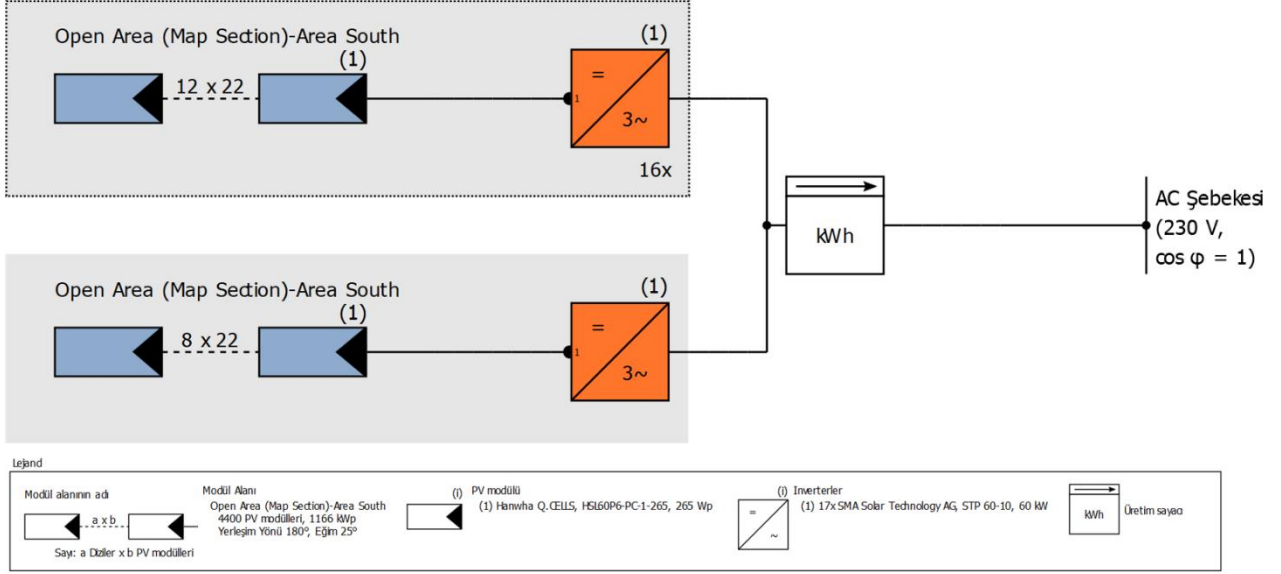


Tablo 2’de santrale ait genel bilgiler yer almaktadır.

**Tablo 2.** Santrale ait genel bilgiler

PV Jeneratör çıkışı	1166kWp
PV Jeneratör yüzeyi	7.348m <sup>2</sup>
Sayı PV modülleri	4.400
İnverter sayısı	17

İnvertörlere bağlı modül sayılarının, kullanılan modül ve invertörlerin marka ve model bilgilerinin birlikte yer aldığı PV\*SOL şematik diyagramı Şekil 7’de verilmektedir.



**Şekil 7.** PV\*SOL şematik diyagramı

Yapılmış olan PV\*SOL simülasyon sonuçlarına ait veriler Tablo 3’de yer almaktadır.

**Tablo 3.** PV\*SOL simülasyon sonuçları

PV sistemi	
PV jeneratör çıkışı	1.166 kWp
Yıllık özgül kazanç	1.601,22 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	85,4%
Gölgeleme nedeniyle oluşan kazanç kaybı	1,7%/Yıl
Şebeke beslemesi	1.867.026 kWh/Yıl
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	1.867.026 kWh/Yıl
Bekleme konumundaki tüketim (İnvertörler)	225 kWh/Yıl
Önlenen CO2 emisyonu	877.502 kg/yıl

### 3. Bulgular

#### 3.1. PV\*SOL yazılımı tahmini üretim değerleri

Bu kısımda PV\*SOL yazılımına girilen bilgiler doğrultusunda elde edilen aylık üretim değerleri Tablo 4’de verilmektedir.

**Tablo 4.** PV\*SOL aylık üretim değerleri

AY	ÜRETİM (kWh)
OCAK	104.235,10
ŞUBAT	109.163,00
MART	148.826,40
NİSAN	165.170,60
MAYIS	190.404,30
HAZİRAN	194.820,20
TEMMUZ	208.344,30
AĞUSTOS	199.951,00
EYLÜL	181.998,00
EKİM	147.542,60
KASIM	118.496,20
ARALIK	98.074,50
TOPLAM	1.867.026,20

PV\*SOL yazılımının sonuçlarına göre en düşük üretimin görüldüğü aylar; Aralık ayında 98.074,50 kWh, Ocak ayında 104.235,10 kWh ve Şubat ayında 109.163,00 kWh olarak belirlenmektedir. En yüksek üretim değeri ise Temmuz ayında 208.344,30 kWh olarak belirlenmiştir. PV\*SOL yazılımının simüle ettiği yıllık toplam üretim değeri 1.867.026,20 kWh'tır.

### 3.2. Kurulu sisteme ait Lüytob verileri

Santrale ait gerçek üretim değerleri Tablo 5'de verilmektedir. Santralin en düşük üretiminin görüldüğü aylar; Ocak ayında 97.857 kWh, Mart ayında 102.338 kWh ve Şubat ayında 127.120 kWh olarak belirlenmiştir. Ağustos ayında 209.883 kWh üretim yapılarak yılın en yüksek üretimi bu ayda sağlanmıştır. Santralin yıl bazında toplam üretim değeri 1.928.821 kWh'tır.

**Tablo 5.** 2020 yılı Lüytob aylık üretim değerleri

YIL	AY	ÜRETİM (kWh)
2020	OCAK	97.857
2020	ŞUBAT	127.120
2020	MART	102.338
2020	NİSAN	159.580
2020	MAYIS	174.404
2020	HAZİRAN	185.011
2020	TEMMUZ	188.750
2020	AĞUSTOS	209.883
2020	EYLÜL	203.016
2020	EKİM	178.228
2020	KASIM	158.417
2020	ARALIK	144.217
	TOPLAM	1.928.821

## 4. Sonuç

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevrede oluşturduğu geri dönüşü olmayan ağır tahribatlardan ötürü yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları sonsuz olmalarından ve ülkemizin coğrafi konumunun da bu kaynakların kurulmasına elverişli olmasından ötürü bu kaynakların kullanımının artırılması dışarıya olan bağımlılığı azaltmada yardımcı olabilecek bir unsur konumundadır. Bu

çalışmada Afyonkarahisar ilinin Gençali Köyünde kurulumu tamamlanmış olarak bulunan PV\*SOL programı ile 1.166 MW gücünde 265 Wp panellerden oluşan güneş enerji santrali tasarlanarak tahmini ve gerçek üretim değerleri karşılaştırılarak PV\*SOL yazılımının güvenilirliği test edilmiştir.

Afyonkarahisar ilinin Gençali Köyünde kurulumu tamamlanan Akoba-2 GES'in PV\*SOL yazılımı ile Lüytob verilerinin yıl bazında karşılaştırılmasının yapılması sonucunda PV\*SOL yazılımının yıllık üretim değeri Tablo 3'de 1.867.026,20kWh olarak, Lüytob verilerine göre ise yıllık gerçek üretim değeri Tablo 4'de 1.928.821kWh olarak görülmektedir.

Üretim değerleri incelendiğinde PV\*SOL yazılım programının vermiş olduğu üretim sonucuna göre %3,309798 oranında hata payının olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## Kaynaklar

- Al-Shagea, E., Özdemir, E., & Sezen, S. (2021). Lisanssız elektrik üretiminde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin performans analizi. *International Marmara Sciences Congress (Spring) Proceedings Book* (ss. 209-217), Kocaeli.
- BP. (2018). *BP statistical world review of energy*. London.
- Ceylan, O. (2017). Fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Ceylan, O., & Taşdelen, K. (2018). Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. *Afyonkarahisar kocatepe üniversitesi fen ve mühendislik bilimleri dergisi*, 18(3), 895-903.
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A., Sudhakar, K., Manohar, M., & Bhimte, A. (2018). Performance Simulation Of Grid-Connected Rooftop Solar PV System For Small Households: A Case Study Of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546-553.
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları. *Çankırı karatekin üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, 10(1), 277-303.
- ETKB. (2018). Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu.
- Güven, A. (2016). Afyon Oruçoğlu Terma Otelinin Enerji İhtiyacını Karşılacak Güneş Enerji Sisteminin Tasarlanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi, Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitimde Stratejik Araştırma Konferansı (ICoSReSSE), (ss. 1-18). Antalya.
- İsler, Y., & Salihmuhsin, M. (2019). Güneş enerjisi santrallerinde sehpa seçiminin performansa etkisinin analiz edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 97-107.
- Kınalı, M. (2019). Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi.
- Keskin, A., Martin, K., & Boran, K. (2019). Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1), (ss. 213-216). Ankara.
- Öztürk, H. (2021). Bir güneş enerji santralinin üretim ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması ve kayıp analizi: Beştepe Enerji Örneği [Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Patarau, T., Petreus, D., & Etz, R. (2015). Analysis and optimization of a geothermal, biomass, solar hybrid system: An application of PV\* Sol software. *In 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, (s. 370-375).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. (2021, 20 Ağustos). Erişim adresi <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/3.aspx>
- Taşkın, O., & Vardar, A. (2019). Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi Çatısının Güneş Elektrik Potansiyelinin Tahminlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 45-51.
- TSKB. (2020). Enerji Görünümü Raporu.

## Determination of physicochemical and antioxidant properties of icecream produced with the addition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)

*Yer elması (Helianthus tuberosus L.) ilavesiyle üretilen dondurmanın fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi*

Engin GÜNDOĞDU\* 

Faculty of Engineering and Natural Sciences, Food Engineering Department, Gümüşhane University, 29100, Gümüşhane, Türkiye

• Received: 22.07.2024

• Accepted: 16.08.2024

### Abstract

The study investigates the effects of incorporating Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) into ice cream formulations on their physicochemical and antioxidant properties of icecream. Jerusalem artichoke (JA), known for its high inulin content and beneficial carbohydrates, was added to ice cream in varying concentrations (5%, 10%, and 15%) and evaluated for its impact on dry matter, protein, ash, pH, acidity, sugar content, viscosity, volume increase, initial dripping time, total melting time, color values, total phenolic content, DPPH free radical scavenging activity, and total antioxidant capacity. The results revealed that the addition of JA significantly improved the dry matter and antioxidant properties of the ice cream, with the highest values observed in samples containing 10% and 15% JA. Total phenolic content increased from 363.51 mg GAE/kg in the control to 587.47 mg GAE/kg with 15% JA, while DPPH scavenging activity rose from 12.49% to 18.04%. On the other hand, the control sample has the highest total antioxidant capacity (4517.29 mg AAE/kg), while the JA samples generally exhibit lower values. The protein content decreased slightly with the addition of JA, while ash content increased. The pH and titratable acidity values also showed significant changes, with higher concentrations of JA resulting in higher pH and acidity. Overall, the incorporation of JA into ice cream formulations enhances the nutritional and functional properties. These findings suggest that JA is a valuable ingredient for developing functional ice cream with potential health benefits.

**Keywords:** Antioxidant activity, Colour, Ice cream, Jerusalem artichoke, Melting time, Sucrose content

### Öz

*Çalışma, Yer elması (Helianthus tuberosus L.) ilavesinin dondurma formülasyonlarının fizikokimyasal ve antioksidan özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Yüksek inulin içeriği ve faydalı karbonhidratlarıyla bilinen yer elması, dondurmaya farklı konsantrasyonlarda (%5, %10 ve %15) eklenmiş ve kuru madde, protein, kül, pH, asitlik, şeker içeriği, viskozite, hacim artışı, ilk damlama süresi, toplam erime süresi, renk değerleri, toplam fenolik içeriği, DPPH serbest radikal giderme aktivitesi ve toplam antioksidan kapasite üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yer elması ilavesinin dondurmanın kuru madde ve antioksidan özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini, en yüksek değerlerin %10 ve %15 yer elması içeren örneklerde gözlendiğini ortaya koymuştur. Toplam fenolik madde içeriği kontrol örnekte 363.51 mg GAE/kg iken %15 oranında yer elması içeren örnekte 587.47 mg GAE/kg düzeyine çıkmıştır. Öte yandan toplam antioksidan kapasite en yüksek kontrol örnekte (4517.29 mg AAE/kg) bulunurken yer elması içeren örneklerde daha düşük bulunmuştur. Yer elması ilavesiyle protein içeriği az miktarda azalırken, kül içeriği artış göstermiştir. pH ve titrasyon asitliği değerlerinde de bazı değişiklikler gözlenmiş, yer elmasının daha yüksek konsantrasyonları daha yüksek pH ve asitlik değerleri ile sonuçlanmıştır. Genel olarak, yer elmasının dondurma formülasyonlarına dahil edilmesi, besleyici ve fonksiyonel özellikleri artırmıştır. Bu bulgular, yer elmasının potansiyel sağlık faydaları olan fonksiyonel dondurma geliştirmek için değerli bir bileşen olduğunu göstermektedir.*

**Anahtar kelimeler:** Antioksidant aktivite, Renk, Dondurma, Yer elması, Erime zamanı, Şeker içeriği

\* Engin GÜNDOĞDU; engingundogdu@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Ice cream is often enhanced with various ingredients to improve its nutritional and sensory properties. Recent trends in food science have emphasized the incorporation of prebiotics, probiotics, and synbiotics into dairy products to confer health benefits alongside their traditional sensory appeal (Rudke et al., 2024). Among these functional ingredients, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) has gained significant attention for its potential to improve gut health and enhance the functional properties of food products (Bekers et al., 2007).

JA tuber is a low-calorie vegetable rich in inulin, vitamins, and minerals (Singthong & Thongkaew, 2020). Its incorporation into various food products has been studied for its ability to enhance nutritional value and improve physical and sensory attributes. For instance, the addition of JA powder to cake formulations has been shown to positively influence the internal structure, aroma, sweetness, and chewiness, suggesting its potential to improve daily dietary fiber intake (Celik et al., 2013).

Incorporating *Helianthus tuberosus* L. fermented with lactic acid bacteria into milk products led to more acceptable outcomes, owing to greater taste satisfaction, reduced smoothness, and diminished external taste. This demonstrates its potential to improve both the nutritional value and sensory quality of fermented milk products. (Slapkauskaitė et al., 2016). In the other study, substituting 5% of wheat flour with JA flour in bread improved its sensory and physicochemical properties, yielding a product rich in micro and macronutrients with enhanced organoleptic qualities and extended shelf life (Chirsanova et al., 2021).

Optimizing glass noodle production with JA powder revealed that the optimal formulation included 2% alginate, 3% calcium, and 3% JA powder, producing noodles with increased fiber and sugar content, and improved hardness, cohesiveness, springiness, and gumminess. The study underscores the nutritional and functional advantages of incorporating JA powder into food products (Singthong & Thongkaew, 2020). In the other study, yogurt was produced using fresh cow's milk enriched with JA extract at concentrations of 3%, 5%, and 7%, and subsequently stored for 15 days at 5±1°C. The results indicated that the moisture content increased with higher levels of JA extract, reaching its peak at 7%. However, there were no significant differences in protein, fat, and ash content between the control and the treated samples (Bakr et al., 2020).

The use of JA in ice cream production may be particularly promising due to its high inulin content, which can serve as a fat replacer and improve the texture and stability of ice cream. Previous studies have demonstrated that inulin addition can enhance the viscosity, hardness, and melting properties of ice cream, making it a valuable ingredient for developing low-fat and high-fiber ice cream varieties (Ertem & Çakmakçı, 2018).

Moreover, JA is rich in phenolic compounds and exhibits significant antioxidant activity, which can further enhance the health benefits of ice cream (Bach et al., 2012). The incorporation of JA into ice cream not only aims to improve its nutritional profile but also seeks to maintain or enhance its sensory properties, such as taste, texture, and overall acceptability.

This study aims to investigate the effects of incorporating different concentrations of JA into ice cream formulations on their physicochemical and antioxidant properties. This research contributes to the current body of knowledge by examining the ideal quantities of JA addition that optimize health benefits while ensuring consumer satisfaction. The findings are expected to contribute to the development of functional ice cream products that meet the growing consumer demand for healthier and more nutritious food options.

## 2. Material and method

### 2.1. Materials

For ice cream production, ultra high temperature (UHT) cow's milk, non fat skim milk powder (Pınar Dairy Products Inc., İzmir), Cream (fat, 35%) (Mis Dairy Industry Inc., İstanbul), powdered sugar (Konya Sugar Industry and Trade Inc., Konya), salep (stabilizer) and monoglyceride (emulsifier) were obtained from a local market. The JA were purchased from a local market in Gümüşhane. The ice cream mixtures were prepared in the laboratories of the Food Engineering Department of Gümüşhane University, and the ice cream production was carried out in a pastry shop operating in Gümüşhane.

## 2.2. Ice cream production

Initially, mixtures were produced. Ice cream mixtures were prepared with 5% fat, 11% non-fat milk solids, 0.6% stabilizer, and 2% emulsifier. The most suitable sugar and JA concentrations were determined to the preliminary sensory analyses. Based on the sensory analysis results, seven type of ice cream were produced: The first type was the control sample (without JA) produced with 15% sugar content. For the other mixtures, two different sugar levels (10% and 15%) and three different concentrations of JAs (5%, 10%, and 15%) were used. JAs were washed, blended with a hand blender, and added during the pasteurization phase of the mixture. Each recipe was prepared separately, and the mixture was pasteurized at 85 °C for 10 minutes with the addition of JAs. After pasteurization, the mixture was quickly cooled to room temperature using iced water, then aged at 4±1 °C in a refrigerator for 24 hours. Following the aging process, ice cream was produced using an ice cream machine (Uğur Refrigeration Machines Inc., Nazilli, Turkey), and hardened at -22 °C for 24 hour before the specified analyses were conducted.

## 2.3. Physicochemical analyses

The pH of the ice cream was measured using a HANNA HI2202-02 pH meter (Kurt et al., 2015). To determine acidity, 10 grams of sample was mixed with 10 mL of distilled water, followed by the addition of 2-3 drops of phenolphthalein. The mixture was then titrated with 0.1 N NaOH until a pink color appeared. For dry matter content, 2-3 grams of ice cream were dried at 105 °C until a constant weight was achieved, and the percentage was calculated using the initial and final weights. Ash content was measured by ashing 2-3 grams of ice cream at 350 °C and 550 °C, and calculating the percentage based on the weights of the crucible and ash. Protein content was determined using the Kjeldahl method, digesting 1 gram of ice cream with sulfuric acid, distilling into boric acid, and titrating with 0.1 N HCl, with calculations based on volumes of HCl used for the sample and blank, and a factor of 6.38 (Kurt et al., 2015). Overrun in ice cream, resulting from the incorporation of air during mixing, was quantified by comparing the weight of a specific volume of ice cream to that of an equivalent volume of the original mix. The volume increase was calculated using the following formula (Erdoğan, 2013).

$$\text{Overrun\%} = \frac{\text{Weight of mix (g)} - \text{Weight of ice-cream (g)}}{\text{Weight of icecream (g)}} \times 100$$

The first dripping and total melting times were measured using the method described by Güven and Karaca (2002). Equal surface areas and the same amount of 25 g ice cream samples were placed on a sieve with a pore size of 0.2 cm and allowed to melt at room temperature (20 °C). The time to the first drip and the total melting time were recorded in seconds (s).

## 2.4. Viscosity measurement

The viscosity of ice cream samples was measured using a J.P. Selecta ST 2020 R (Spain) viscometer at 20 and 50 rpm. The average of the readings was taken and the results were reported in c.P (Kurt et al., 2015).

## 2.5. Color determination

The color of the ice cream samples was measured with a Konica Minolta colorimeter (Chroma Meter CR-400, Japan), and the  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  values were recorded at four distinct points on each sample (Zor & Sengul, 2022).

## 2.6. Sugar analysis

Ice cream sample (2.5 g) was mixed with 20 mL of distilled water, homogenized, transferred to a volumetric flask, and diluted to 50 mL. The mixture was incubated in a water bath for 15 minutes, then filtered first through filter paper and then through a 0.45 µm filter. The sugar content was determined using HPLC-RID (Thermo Scientific Products Finnigan Spectra System after calibrating the column and injecting the sugar solutions. Glucose, fructose, and sucrose concentrations were determined using external standard methods and dilution factors (Anonim, 2001).

## 2.7. Determination of antioxidant properties

### 2.7.1. Extract preparation

For this purpose, 5 g of JA and experimental ice creams was homogenized in 25 mL of distilled water and subjected to extraction in an ultrasonic water bath at 30 °C for 20 minutes. The mixture was then filtered first through filter paper and then through a 0.45 µm filter. The filtrate was used for the analysis of total phenolic content, DPPH free radical scavenging activity, and total antioxidant content (Kasangana et al., 2015).

### 2.7.2. Total phenolic content

A volume of 300 µL of the extract was placed in test tubes, followed by the addition of 3.4 mL of deionized water, 0.5 mL of methanol, and 200 µL of Folin-Ciocalteu reagent. The mixture was vortexed and incubated at room temperature in the dark for 10 min. Subsequently, 600 µL of 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution was added, and the mixture was vortexed again. After a 2 hours incubation at room temperature in the dark, the absorbance was measured at 760 nm. The blank solution was prepared using 3.7 mL of distilled water, 500 µL of methanol, 100 µL of Folin-Ciocalteu reagent, and 600 µL of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. The total phenolic content was expressed as mg Gallic Acid Equivalent (GAE) per kg of JA, using the calibration curve obtained from gallic acid solutions at concentrations of 20, 40, 60, 80, 120, and 160 µg/mL (Kasangana et al., 2015).

### 2.7.3. DPPH free radical scavenging activity

A volume of 100 µL of the extract mixed with 3000 µL of DPPH working solution. The mixture was vortexed and allowed to stand for 30 min. Absorbance was then measured at 517 nm using a UV-spectrophotometer (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) (marka model). The blank solution was prepared with 100 µL of methanol. Standard solutions of ascorbic acid and Trolox were prepared in the same manner (Ahmed et al., 2015). The DPPH free radical scavenging activity was calculated as % inhibition using the formula:

$$IC\% = (Ac - As / Ac) \times 100 \quad (2)$$

% IC: Percent inhibition capacity, Ac: control absorbance and As: sample absorbance

### 2.7.4. Total antioxidant content

A volume of 500 µL of the extract was combined with 2500 µL of deionized water and 1000 µL of molybdate reagent. After vortexing of mix, it was incubated at 95 °C in a water bath for 1.5 hour. Following incubation, the mixture was cooled to room temperature for 20-30 minutes. A blank was prepared using 500 µL of distilled water in place of the sample. Absorbance of the reaction mixtures was measured at 695 nm using a spectrophotometer. The total antioxidant content was expressed as mg Ascorbic Acid Equivalent (AAE)/kg, based on the calibration curve obtained from ascorbic acid solutions at concentrations of 25, 50, 100, 150, 250, 500, and 900 µg/mL (Kasangana et al., 2015).

## 2.8. Statistical analyses

The experimental design consisted of 7 ice cream types: control ice cream (C), 10% sugar + 5% JA (Y1), 10% sugar + 10% JA (Y2), 10% sugar + 15% JA (Y3), 15% sugar + 5% JA (Y4), 15% sugar + 10% JA (Y5), and 15% sugar + 15% JA (Y6). Ice cream production replicated twice. Variance analysis was performed using SPSS for Windows Release 22.0 (2013), and Duncan's Multiple Range Test was applied to statistically significant samples.

## 3. Results and discussion

Table 1 provides valuable insights into the physicochemical parameters of the raw materials for ice cream production, specifically milk, cream, and JA, which are crucial for assessing food quality and nutritional value. Milk, with a dry matter content of 11% and cream at 39.5%, contributes significantly to the body and texture of ice cream, while JA at 16.20 ± 0.08%, adds to the consistency and nutritional density. The fat content in

milk (3.30%) and cream (35%) enhances the creaminess and richness of the ice cream, whereas JA typically has low-fat levels, beneficial for lower-fat ice cream alternatives.

**Table 1.** Certain physicochemical properties of milk, cream and Jerusalem artichoke

Properties	Milk	Cream	Jerusalem artichoke
Dry matter (%)	11.00	39.50	16.20 ± 0.08
Fat (%)	3.30	35.0	na
Protein (%)	3.00	1.50	na
Ash (%)	na*	na	1.22 ± 0.01
Acidity (L.A%)	na	na	na
pH	na	na	na
TPC (mg GAE/kg)	na	na	301.70 ± 10.78
DPPH (inhibition %)	na	na	28.56 ± 1.14
TAC (mg AAE/kg)	na	na	6128.69 ± 206.54
Fructose (%)	na	na	1.18±0.01
Glucose (%)	na	na	1.00±0.01
Sucrose (%)	na	na	2.14±0.29

na\*: not analyzed

Protein content, essential for nutritional quality, was higher in milk (3.00%) compared to cream (1.50%), contributing essential amino acids. Ash content of JA (1.22 ± 0.01%) indicated a good source of minerals, enhancing the ice cream's nutritional profile. Additionally, high total phenolic compounds (301.70 ± 10.78 mg/kg) and significant antioxidant activity of JA (DPPH: 28.56 ± 1.14 mg/kg; total antioxidant: 6128.69 ± 206.54 mg/kg) suggested that it can offer health benefits.

Furthermore, the presence of fructose (1.18%± 0.01), glucose (1.00% ± 0.01), and sucrose (2.14% ± 0.29) in JA may be contributed to the sweetness and potential prebiotic effects due to inulin. Overall, incorporating of JA in ice cream can enhance its nutritional quality by adding minerals, antioxidants, and natural sugars, while milk and cream provide essential proteins and fats for texture and richness, creating a nutritionally balanced and appealing product.

Table 2 underscores the statistically significant variations in the chemical composition of the ice cream samples. For dry matter, sample Y2 (35.08%) was significantly higher than all other samples, with Y6 (26.98%) being the lowest. Similarly, Şimşek (2016) reported dry matter contents were 29.66% and 32.54% for ice creams with 10% sugar + 5% gobsin and 10% sugar + 10% gobsin, respectively, attributing the increase to the high dry matter content of gobsin. This aligns with the high dry matter content observed in sample Y2, indicating a similar effect with JA. However, Çakmakçı et al. (2016) reported that higher kumquat contents in ice cream resulted in lower dry matter, likely because of the low dry matter of the fruit (14.83%), which contrasts with the results seen with JA.

In terms of protein, the control (C) had the highest content (4.07%), significantly different from the lowest, Y4 (3.55%). The addition of JA generally led to a reduction in protein content. Erkaya et al. (2012) reported that increasing gooseberry content in ice cream reduced protein content, and Öztürk et al. (2018) found that adding black and white myrtle fruit pulps decreased the protein content of probiotic ice creams

For ash content, Y2 (0.95%) was higher than most samples, though it was not significantly different from Y3 and Y1 (0.95% and 0.92%, respectively), but it was significantly different from Y4 (0.86%). Regarding ash content, Çakmakçı et al. (2015) reported that the addition of oleaster flour and peel increased the ash content of ice cream, which supports the higher ash content found in sample Y2 and Y3 produced with JA. Conversely, Şanlıdere Aloğlu et al. (2018) found that increasing the concentration of strawberry tree fruit puree in ice cream decreased the ash content, highlighting the variable impact of different functional ingredients.

The pH value was highest in Y6 (6.94%), significantly different from the lowest, Y1 (6.29%). Lastly, the acidity of sample Y2 (0.27%) was significantly higher than C and Y1 (both 0.22%), indicating variability in acidity among the samples. Çınar (2015) found that adding melissa extract at various concentrations increased the pH of ice cream, with the highest pH (6.58) in samples with 9% melissa extract. This result was similar to



the high pH observed in sample Y6 (6.94). These differences underscored the impact of varying sugar and JA content on the ice cream's chemical properties.

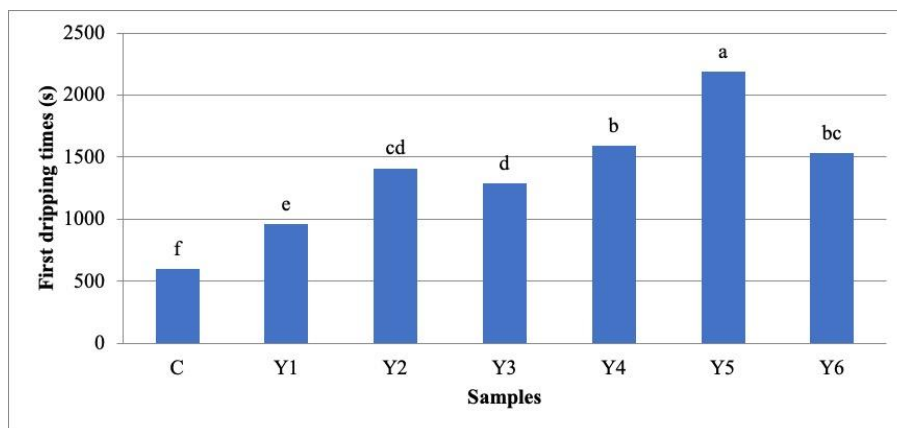
**Table 2.** Physicochemical properties of ice cream samples

Sample	Dry Matter (%)	Protein (%)	Ash (%)	pH	Titrateable acidity (LA%)
C	33.69 ± 0.03b	4.07 ± 0.03a	0.90 ± 0.02ab	6.47 ± 0.01e	0.22±0.01c
Y1	32.64 ± 0.08c	3.91 ± 0.11bc	0.92 ± 0.03ab	6.29 ± 0.05f	0.23 ± 0.02bc
Y2	35.08 ± 0.18a	3.88 ± 0.01bc	0.95 ± 0.04a	6.72 ± 0.02c	0.27 ± 0.02a
Y3	31.84 ± 0.06d	3.97 ± 0.20b	0.95 ± 0.06ab	6.87 ± 0.02b	0.25 ± 0.02ab
Y4	27.90 ± 0.33e	3.55 ± 0.12c	0.86 ± 0.05b	6.71 ± 0.01c	0.22 ± 0.02c
Y5	28.13 ± 0.20e	3.78 ± 0.02cd	0.89 ± 0.05ab	6.65 ± 0.01d	0.24±0.02abc
Y6	26.98 ± 0.16f	3.67 ± 0.04dc	0.88 ± 0.08ab	6.94 ± 0.02a	0.24 ± 0.02bc

C: Ice cream sample containing 15% sugar without JA, Y1: Ice cream sample containing 15% sugar and 5% JA, Y2: Ice cream sample containing 15% sugar and 10% JA, Y3: Ice cream sample containing 15% sugar and 15% JA, Y4: Ice cream sample containing 10% sugar and 5% JA, Y5: Ice cream sample containing 10% sugar and 10% JA, Y6: Ice cream sample containing 10% sugar and 15% JA. \*\* Significant at p<0.01 level,\*Significant at p<0.05 level

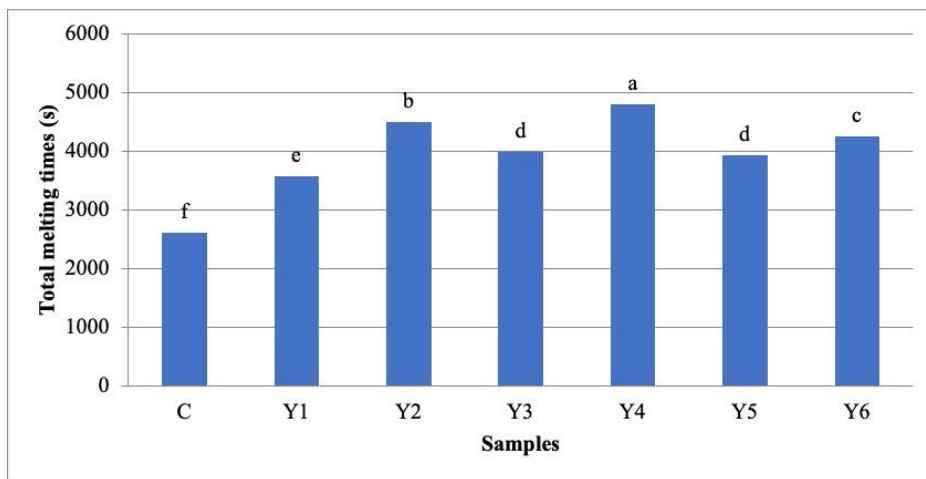
In summary, the observed variations in dry matter, protein, acidity, pH, and ash content in ice cream samples with varying amounts of sugar and Jerusalem artichoke align with trends seen in the literature for other functional ingredients. This suggests that Jerusalem artichoke can be a viable addition to ice cream, enhancing its nutritional profile while impacting its chemical properties in predictable ways based on existing studies.

Figure 1 illustrates the initial dripping times of different ice cream samples. The control sample (C) without JA showed the shortest initial dripping time. In contrast, as the amount of JA increased in the samples, the initial dripping times also increased. Specifically, sample Y1 (15% sugar and 5% JA) had a significantly longer initial dripping time than the control, and this duration continued to rise with higher concentrations of JA, reaching its peak in sample Y5 (10% sugar and 10% JA). This statistical variation indicated that the presence of JA significantly impacts the melting behaviour of the ice cream, likely due to its influence on the structural properties and water-binding capacity of the mixture. Hezer (2019) found that the addition of purslane to ice cream delayed the first dripping time compared to the control, with the delay increasing with higher concentrations.



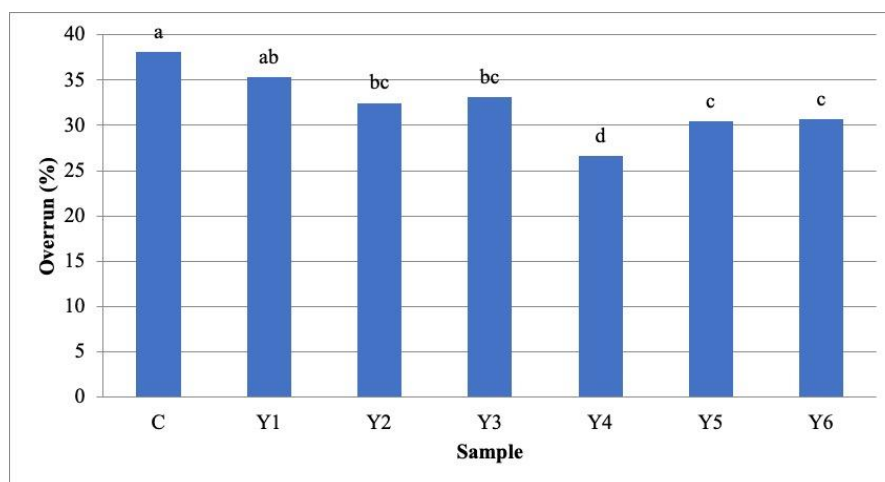
**Figure 1.** First dripping times of ice cream samples

Figure 2, the results for the complete melting times of various ice cream samples reveal significant differences influenced by the composition of sugar and JA. The sample C had the shortest melting time, whereas samples containing varying percentages of JA and sugar exhibited longer melting durations. Specifically, the sample Y4, containing 10% sugar and 5% JA, demonstrated the longest melting time, suggesting that the inclusion of JA substantially impacts the thermal properties of ice cream, enhancing its resistance to melting. These findings indicated that JA can effectively be used to modify the melting characteristics of ice cream, potentially offering a functional ingredient to improve product stability under varying temperature conditions. Hezer (2019) found that adding purslane increased the total melting time of ice cream compared to the control.



**Figure 2.** Total melting times of ice cream samples

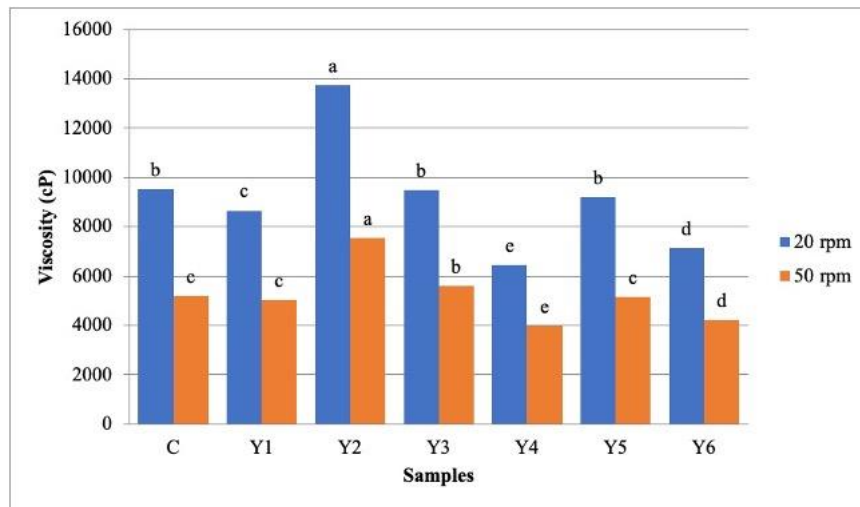
The analysis of volume increase in ice cream samples were given in Figure 3. Figure 3 showed that the lowest increase (26.60%) occurred in the Y4 sample containing 15% sugar and 5% JA, while the highest increase (38.08%) was in the control sample. As shown in Figure 3.6, adding JA reduced the volume increase compared to the control, with a notable decrease in samples containing 10% sugar when 10% and 15% JA were added, compared to 5% JA. In contrast, samples with 15% sugar showed an increase. While sugar is known to significantly impact volume increase, this study found that JA had a more substantial effect, likely due to its chemical composition. Similar findings were reported by Hacıbektaşoğlu (2019) for sugar beet and by Hezer (2019) for purslane, both of which resulted in lower volume increases due to the additives' chemical interactions. Conversely, Şanlıdere Aloğlu et al. (2018) found that increasing fruit concentration in ice cream with wild strawberries led to higher volume increases, contrary to our results. These findings suggest that volume increase is influenced not only by dry matter content but also by the type, composition, and amount of additives, as well as the chemical interactions between milk proteins and these additives. Edmonds et al. (2013) noted that changes in the emulsifying capacity of milk proteins can alter the interaction of air cells with other components in the ice cream matrix, leading to differences in overrun values. Moreover, Salık and Arslaner (2020) highlighted that the variability in volume increase in ice creams produced with soursop and grape seed was significant at the  $p < 0.01$  level, possibly due to differences in ice cream formulations, the high dry matter content of the fruits used, the fat and non-fat milk solids content, the absence of homogenization in the ice cream mixes, insufficient air retention during freezing, and technical characteristics of the ice cream machine



**Figure 3.** Overrun of ice cream samples used in the current study

In Figure 4, the viscosity measurements for the ice cream samples at 20 rpm and 50 rpm indicated significant variations based on the different formulations. Notably, sample Y2 (with 15% sugar and 10% JA) had the highest viscosity among samples at both 20 and 50 rpm, suggesting that this combination provided a balance between stability and flowability. Conversely, sample Y4 (with 10% sugar and 5% JA) exhibited the lowest viscosity, indicating a more fluid consistency. These results illustrated that the inclusion of JA affected the rheological properties of ice cream. Salık and Arslaner (2020) found that the addition of grape seed increased

the viscosity of ice cream, attributing this to the high dry matter content and stabilizing components of the additives.



**Figure 4.** Viscosity parameters of ice cream samples used in the current study

Table 3 provides the average color analysis values for various ice cream samples, including parameters  $L^*$  (lightness),  $a^*$  (red-green), and  $b^*$  (yellow-blue). The control sample (C) had the highest lightness value (87.74), indicating a lighter color, and a significant negative  $a^*$  value (-2.41), which suggests a greener hue compared to other samples. Sample Y3 (15% sugar and 15% JA) showed the lowest lightness (81.30) and the highest  $b^*$  value (9.35), indicating a darker and more yellowish color. The inclusion of JA generally decreased the lightness and increased the yellowness ( $b^*$  values), while the  $a^*$  values varied, indicating slight changes in the red-green spectrum. These results demonstrated that adding JA affected the ice cream's color, potentially making it darker and more yellow, which can be a critical factor for consumer preference and product appeal.

**Table 3.** Colour values of ice cream samples

Samples	$L^*$	$a^*$	$b^*$
C	87.74 ± 0.35a	-2.41 ± 0.10e	7.92 ± 0.20b
Y1	87.06 ± 0.40a	-1.90 ± 0.07cd	7.97 ± 0.17b
Y2	82.90 ± 0.37c	-1.60 ± 0.05ab	8.25 ± 0.28b
Y3	81.30 ± 0.81d	-1.54 ± 0.29a	9.35 ± 0.15a
Y4	84.51 ± 0.51b	-2.06 ± 0.08d	8.28 ± 0.07b
Y5	83.55 ± 0.83c	-1.85 ± 0.08c	9.18 ± 0.44a
Y6	81.60 ± 0.74d	-1.78 ± 0.05bc	9.36 ± 0.35a

C: Ice cream sample containing 15% sugar without JA Y1: Ice cream sample containing 15% sugar and 5% JA, Y2: Ice cream sample containing 15% sugar and 10% JA, Y3: Ice cream sample containing 15% sugar and 15% JA, Y4: Ice cream sample containing 10% sugar and 5% JA, Y5: Ice cream sample containing 10% sugar and 10% JA, Y6: Ice cream sample containing 10% sugar and 15% JA. \*\* Significant at  $p < 0.01$  level, \*Significant at  $p < 0.05$  level

Çelik et al. (2009) found that the addition of saffron to plain ice cream significantly affected the  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  values, with saffron samples having higher  $b^*$  values due to the color pigments in saffron. Hezer (2019) reported that increasing concentrations of purslane in ice cream decreased the  $L^*$  value and increased the  $b^*$  value, while the  $a^*$  value showed a decreasing trend.

The sugar analysis results for various ice cream samples are presented in Table 4, showing the levels of glucose, fructose, and sucrose. The control sample has the lowest glucose (0.42 g/100) and fructose (0.32 g/100) levels, but the highest sucrose content (14.94 g/100g). In contrast, the samples with JA (Y1 to Y6) generally exhibited higher glucose and fructose levels. Specifically, sample Y6 (10% sugar and 15% JA) had the highest fructose level (0.89 g/100g), and sample Y3 (15% sugar and 15% JA) showed the highest glucose content (0.75 g/100g). Despite these variations, sucrose levels in samples Y1 to Y3 remained close to the control, while samples Y4 to Y6 showed significantly lower sucrose levels, indicating that the addition of JA influenced the sugar composition, particularly increasing fructose and glucose while decreasing sucrose content. Previous studies have reported similar findings. For instance, Celik et al. (2013) found that the addition of JA increased the

fructose and glucose contents in cake formulations. Similarly, Harmankaya et al. (2012) reported that JA was rich in fructose and glucose, which could explain the increase in sugar content in the ice cream samples with added JA.

**Table 4.** Sugar contents of ice cream samples

Samples	Glucose (%)	Fructose (%)	Sucrose (%)
C	0,42+0,01 e	0,32+0,01 f	14,94+0,57a
Y1	0,50+0,03 d	0,44+0,02 e	14,73+0,2 a
Y2	0,56+0,02 c	0,53+0,02 d	14,49+0,02 a
Y3	0,75+0,01 a	0,77+0,01 b	14,85+0,43 a
Y4	0,66+0,01 b	0,64+0,05 c	10,56+0,23 b
Y5	0,76+0,09 a	0,82+0,04 b	10,21+0,05 ab
Y6	0,65+0,07 b	0,89+0,06 a	9,91+0,1 b

C: Ice cream sample containing 15% sugar without JA, Y1: Ice cream sample containing 15% sugar and 5% JA, Y2: Ice cream sample containing 15% sugar and 10% JA, Y3: Ice cream sample containing 15% sugar and 15% JA, Y4: Ice cream sample containing 10% sugar and 5% JA, Y5: Ice cream sample containing 10% sugar and 10% JA, Y6: Ice cream sample containing 10% sugar and 15% JA. \*\* Significant at p<0.01 level,\*Significant at p<0.05 level

The antioxidant analysis results for various ice cream samples are given in Table 5, showing levels of phenolic compounds, DPPH, and total antioxidants. The control sample had the lowest phenolic content (363.51 mg GAE/kg) but the highest total antioxidant capacity (4517.29 mg AAE/kg). Samples with JA (Y1 to Y6) exhibited significantly higher phenolic content, with sample Y6 (10% sugar and 15% JA) having the highest levels (587.47 mg GAE/kg). This sample also had the highest DPPH value (18.04 mg AAE/kg), indicating the strongest antioxidant activity. The addition of JA consistently increased both phenolic content and antioxidant capacity across the samples, with variations depending on the specific proportions used.

This increase in total phenolic content can be attributed to the high phenolic content ( $301.70 \pm 10.78$  mg GAE/kg) of JA, as reported by previous studies (Bach et al. 2012). Phenolic compounds from JA contributes to its antioxidant properties, which are beneficial for enhancing the nutritional value of ice cream. Similar findings have been reported by Sagdic et al. (2012), who found that ice cream samples with added plant extracts, such as grape seed extract, exhibited higher DPPH activity compared to control samples. Previous studies, such as those by El-Nagar et al. (2002), have shown that the addition of inulin, a component found in JA, improves the antioxidant properties of ice cream. This suggests that JA can enhance the functional properties of ice cream by increasing its antioxidant content.

**Table 5.** Antioxidant properties of ice cream samples

Samples	TPC (mg GAE/kg)	DPPH (Inhibition %)	TAC (mg AAE/kg)
C	363.51 $\pm$ 0.06g	13.63 $\pm$ 0.04bc	4517.29 $\pm$ 0.00a
Y1	448.26 $\pm$ 0.06f	12.76 $\pm$ 0.36cde	4081.58 $\pm$ 14.05b
Y2	536.52 $\pm$ 0.10d	12.49 $\pm$ 0.26e	4227.64 $\pm$ 300.74b
Y3	573.86 $\pm$ 0.10b	12.67 $\pm$ 0.05de	4020.72 $\pm$ 44.97b
Y4	499.25 $\pm$ 0.08e	13.56 $\pm$ 1.19bcd	3071.41 $\pm$ 44.97c
Y5	548.34 $\pm$ 0.05c	14.37 $\pm$ 0.77b	3280.74 $\pm$ 342.91c
Y6	587.47 $\pm$ 0.09a	18.04 $\pm$ 0.46a	3178.51 $\pm$ 168.64c

C: Ice cream sample containing 15% sugar without JA, Y1: Ice cream sample containing 15% sugar and 5% JA, Y2: Ice cream sample containing 15% sugar and 10% JA, Y3: Ice cream sample containing 15% sugar and 15% JA, Y4: Ice cream sample containing 10% sugar and 5% JA Y5: Ice cream sample containing 10% sugar and 10% JA, Y6: Ice cream sample containing 10% sugar and 15% JA. \*\* Significant at p<0.01 level,\*Significant at p<0.05 level

#### 4. Conclusion

In conclusion, the incorporation of JA to ice cream formulations significantly affected their physical, and chemical properties. While higher concentrations of JA can increase the antioxidant properties and nutritional value of ice cream, they may also negatively impact its sensory properties. Therefore, it is important to balance the concentration of JA to achieve the desired functional benefits without compromising the sensory quality of ice cream. Future studies should focus on optimizing the concentration of JA in ice cream formulations and

exploring the potential health benefits of consuming ice cream enriched with JA. Additionally, further research is needed to understand the mechanisms underlying the changes in physical and chemical properties observed with the addition of JA.

### Acknowledgement

The author sincerely thanks the referees for their careful reading and valuable comments. Authors want to thank Cansu ÖZER for helping formal analysis.

### Author Contribution

The author contributed to all sections. The author read and approved the last version of the manuscript.

### Declaration of ethical code

The author of this article declares that the material and the methods used in this study do not require ethical committee approval and/or a special legal permission.

### Conflicts of interest

The author declares that she has no conflict of interest.

### References

- Ahmed, D., Khan, M. M., & Saeed, R. (2015). Comparative analysis of phenolics, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from adiantum caudatum leaves. *Antioxidants (Basel)*, 4(2), 394-409. <https://doi.org/http://doi.org/10.3390/antiox4020394>
- Anonim. (2001). Meyve ve sebze suları - glikoz, fruktoz, sorbitol ve sakaroz muhtevası tayini- yüksek performanslı sıvı kromatografisi metodu. Türk Standartları Enstitüsü, TS-EN 12630.
- Bach, V., Kidmose, U., Bjørn, G. K., & Edelenbos, M. (2012). Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Food Chemistry*, 133(1), 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.075>
- Bakr, A., Mousa, M., & EL-Shahawy, A. (2020). Supplementation of bio-yoghurt with jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a natural source. *Journal of Productivity and Development*, 25(2), 149-168. <https://dx.doi.org/10.21608/jpd.2020.106551>
- Bekers, M., Grube, M., Upite, D., Kaminska, E., Linde, R., Scherbaka, R., Danilevich, A., Bekers, M., Grube, M., & Upite, D. (2007). Carbohydrates in Jerusalem artichoke powder suspension. *Nutrition & Food Science*, 37(1), 42-49.
- Celik, I., Isik, F., Gursay, O., & Yilmaz, Y. (2013). Use of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers as a natural source of inulin in cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 483-488. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00667.x>
- Chirsanova, C. A., Capcanari, T., & Gîncu, E. (2021). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) flour impact on bread quality. *Journal of Engineering Sciences*, 1, 131-143. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2021.28\(1\).14](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2021.28(1).14)
- Çınar, M. (2015). *Melissa bitki ekstraktının dondurma üretiminde kullanım imkanının araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi].
- Çakmakçı, S., Topdaş, E. F., Kalın, P., Han, H., Şekerci, P., P. Köse, L., & Gülçin, İ. (2015). Antioxidant capacity and functionality of oleaster (*E laeagnus angustifolia* L.) flour and crust in a new kind of fruity ice cream. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(2), 472-481. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12637>

- Çakmakçı, S., Topdaş, E. F., Çakır, Y., & Kalın, P. (2016). Functionality of kumquat (*Fortunella margarita*) in the production of fruity ice cream. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1451-1458. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7241>
- Çelik, Ş., Cankurt, H. & Doğan, C., 2009. Safran ilavesinin sade dondurmanın bazı özelliklerine etkisi, *Gıda Dergisi*, 35(1), 1-7.
- Edmonds, L., Wadhwa, S. S. & Wibisono, R. (2013). Producing Ice Cream Using a Substantial Amount of Juice from Kiwifruit with Green, Gold or Red Flesh, *Food Research International*, 50(2), 647-656.
- El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorică, C., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 89-93. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00042.x>
- Erdoğan, F. (2013). *Mikroenkapsüle edilen nar kabuğu fenolik bileşiklerinin dondurma üretiminde kullanılma olanaklarının araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Erkaya, T., Dagdemir, E., & Sengul, M. (2012). Influence of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream. *Food Research International*, 45(1), 331-335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.013>
- Ertem, H., & Çakmakçı, S. (2018). Shelf life and quality of probiotic yogurt produced with *Lactobacillus acidophilus* and *Gobdin*. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(3), 776-783. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13653>
- Güven, M., & Karaca, O. B. (2002). The effects of varying sugar content and fruit concentration on the physical properties of vanilla and fruit ice-cream-type frozen yogurts. *International Journal of Dairy Technology*, 55(1), 27-31. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00034.x>
- Hacıbektaşoğlu, F., (2019). *Kırmızı pancarın dondurma üretiminde kullanım imkânları üzerine bir araştırma* [Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Harmankaya, M., Juhaimi, F. A., & Özcan, M. M. (2012). Mineral contents of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) growing wild in Turkey. *Analytical Letters*, 45(15), 2269-2275. <https://doi.org/10.1080/00032719.2012.686131>
- Hezer, F. (2019). *Farklı oranlarda semizotu ilavesinin dondurmanın fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özelliklerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kasangana, P. B., Haddad, P. S., & Stevanovic, T. (2015). Study of Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of *Myrianthus arboreus* (Cecropiaceae) Root Bark Extracts. *Antioxidants*, 4(2), 410-426. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antiox4020410>
- Kurt, A., Çakmakçı, S., & Çağlar, A. (2015). Süt ve mamülleri muayene ve analiz metotları rehberi (10 ed.). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Öztürk, H. İ., Demirci, T. ve Akın, N., 2018. Production of functional probiotic ice creams with white and dark blue fruits of *myrtus communis*: the comparison of the prebiotic potentials on *lactobacillus casei* 431 and functional characteristics, *Food Science and Technology*, 90, 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.049>
- Salık, M., & Arslaner, A. (2020). The quality characteristics and shelf life of probiotic ice cream produced with *Saruç* and *Saccharomyces boulardii*. *International Food Research Journal*, 27(2), 234 – 244.
- Sagdic, O., Ozturk, I., Cankurt, H., & Tornuk, F. (2012). Interaction Between Some Phenolic Compounds and Probiotic Bacterium in Functional Ice Cream Production. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 2964-2971. doi: 10.1007/s11947-011-0611-x

- Singthong, J., & Thongkaew, C. (2020). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) powder on quality of glass noodles. *Food Research*, 4, 17-26. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(S4\).004](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(S4).004)
- Slapkauskaite, J., Sekmokiene, D., Kabasinskiene, A., Bartkiene, E., Juodeikiene, G., & Sarkinas, A. (2016). Influence of lactic acid bacteria–fermented *Helianthus tuberosus* L. and *Lupinus luteus* on quality of milk products. *CyTA-Journal of Food*, 14(3), 482-488. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1137355>
- Şanlıdere Aloğlu, H., Gökğöz, Y., & Bayraktar, M. (2018). Kocayemiş (Dağ Çileği-*Arbutus Unedo* L.) Meyveli Dondurma Üretimi, Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Parametreler Açısından İrdelenmesi. *The Journal of Food*, 43(6), 1030-1039. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18098>
- Şimşek, E., 2016. *Gobdin ve bifidobacterium bifidum ilavesiyle üretilen dondurmaların probiyotik raf ömrü ve kalite özelliklerinin tespiti* [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Rudke, C. R. M., Camelo-Silva, C., Rudke, A. R., Prudencio, E. S., & de Andrade, C. J. (2024). Trends in Dairy Products: New Ingredients and Ultrasound-Based Processing. *Food and Bioprocess Technology*, 17(4), 811-827. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03153-7>
- Zor, M., & Sengul, M. (2022). Possibilities of using extracts obtained from *Rosa pimpinellifolia* L. flesh and seeds in ice cream production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2), e16225.

## YAZAR REHBERİ

### 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (GUFBD), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir).

Dergi bilimsel ve hakemli bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

### 2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir.

### 3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili tüm yazışmalarda DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "Gönderi Kontrol Listesi"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir. Dergi ana sayfasında yer alan "Etik İlkeler ve Yayın Politikası" yazarlar tarafından önemle dikkate alınmalıdır.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "Etik Kurul İzin Belgesi"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.



#### 4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği alan editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %20 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %4 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Ön inceleme aşamasını geçen yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili alan editörüne yönlendirilir.

Alan editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için alan editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletilir.

Değerlendirme sonucu kabul kararı verilecek makaleler yazım ve dil editörüne yönlendirilerek ilgili makalenin yazım ve dil yönünden incelemesi ile dergi yazım kuralları açısından uygunluğu sağlanır. Kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu formun imzalanması ile yazarlar, makalenin “Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## **5. MAKALE TÜRLERİ**

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

**5.1 Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40’ı aşmamalıdır.

**5.2 Derlemeler:** Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10’u geçmemelidir.

## **6. MAKALENİN HAZIRLANMASI**

Dergiye değerlendirilmek üzere yayın gönderecek yazarların GUFBD makale şablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.