



# 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 : 1

YIL/YEAR : 2024

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

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



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

**Yazım ve Dil Editörü / Layout Editor**

Dr. İlker ERKAN

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

Arş. Gör. Kadir SÜNNETÇİ

Arş. Gör. Murat ŞAN

Arş. Gör. Ahmet YAVUZDOĞAN

**Yayın Türü / Publication Type**

Yaygın süreli ve hakemli/ *Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

15 / 03 / 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 Uni. 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  
Bırol 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 ÜLSER-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 Üni.  
Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik 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-Neşehir 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  
Melih OKÇU-Atatürk Üniversitesi  
Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk 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

Filiz YANGILAR Özlem KARACA	<b>Yogurt consumption in Türkiye, commercial use of yogurt yeast and evaluation of consumers' attitudes to yogurt-like products produced using different yeasts</b> <i>Türkiye'deki yoğurt tüketimi, ticari olarak yoğurt mayasının kullanılması ve tüketicilerin farklı mayalıklar kullanılarak üretilen yoğurt benzeri ürünlere karşı tutumlarının değerlendirilmesi</i>	<b>1</b>
İlker ERKAN İbrahim ALP	<b>Exploring the utilization potential of kaolin in the Balıkesir Sındırgı region</b> <i>Balıkesir Sındırgı bölgesi kaolinlerinin kullanım potansiyellerinin incelenmesi</i>	<b>15</b>
Samed ÖZDEMİR Fevzi KARSLI	<b>Nokta bulutu verisi ile su kütlesi tespitinde geometrik özneliklerin etkisi</b> <i>The impact of geometric features on the detection of water body from point clouds</i>	<b>29</b>
Burcu SAYIN OKATAN Handan ÇAM	<b>Analysis of customer reviews for digital banking applications with text mining methods</b> <i>Metin madenciliği yöntemleri ile dijital bankacılık uygulamalarına yönelik müşteri yorumlarının analizi</i>	<b>45</b>
Amine KOÇ Nuray BAŞ	<b>An effective approach for analysis of shoreline change and determination of its future location using satellite imagery: A case study of the Lake Burdur, Turkey</b> <i>Uydu görüntüleri kullanılarak kıyı şeridi değişimi analizi ve gelecekteki konumunun belirlenmesi için etkili bir yaklaşım: Burdur Gölü örneği</i>	<b>61</b>
İhsan Burak ENGİN Veli YAVUZ	<b>Tekirdağ için sis hadisesi ile hava kirliliği ilişkisi</b> <i>The relationship between fog and air pollution in Tekirdağ</i>	<b>73</b>
Ayşe ÇELİK İ. Hakan KARAÇİZMELİ	<b>Reducing product returns through the Six Sigma method in a supermarket</b> <i>Bir süpermarkette Altı Sigma yöntemiyle ürün iadelerinin azaltılması</i>	<b>85</b>
Efdal TEKNİKEL	<b>Solvent-free synthesis of aryl-substituted pyrylium salts and investigation of the auxochromes' effects on their photophysical properties</b> <i>Aryl-süstitüe pirilyum tuzlarının çözücüsüz sentezi ve oksokromların fotofiziksel özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması</i>	<b>98</b>
Sedat ATMACA	<b>TDMA-tabanlı bir bilişsel radyo ağının sonlu birincil ve ikincil kullanıcılar için modellenmesi, benzetimi ve çağrı başarımları analizi</b> <i>Modeling, simulation and call performance analysis of a TDMA-based cognitive radio network with finite primary and secondary users</i>	<b>105</b>
Ayşe YAVUZ ÖZALP Halil AKINCI	<b>Comparison of tree-based machine learning algorithms in price prediction of residential real estate</b> <i>Mesken nitelikli gayrimenkul fiyat tahmininde ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılması</i>	<b>116</b>
Berfin ÖĞ Tamer GÜRER Serhat CENGİZ Ahmet ÖZTÜRK Eda TURAN Evren ÖZGÜR	<b>Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi yağışlarının aylık, mevsimlik ve yıllık trend analizi</b> <i>Monthly, seasonal and annual trend analysis of precipitation for Eastern and Central Black Sea Region of Türkiye</i>	<b>131</b>
M. Halük SARAÇOĞLU Fethullah USLU Uğur ALBAYRAK	<b>Buckling analysis of perforated square plates with different oriented various shaped polygon holes</b> <i>Farklı açılardaki çeşitli çokgen delikli kare plakların burkulma analizi</i>	<b>149</b>
Asuman G. YILMAZ Fırat ŞAKAR	<b>Derin özneliklerin farklı atak senaryolarındaki yüz sahteciliği tespiti başarımlarının incelenmesi</b> <i>Investigation of face spoofing detection performances of deep features in different attack scenarios</i>	<b>164</b>



İlyas DELİĞÖZ Yasemin İZGİ	<b>Bazı lale türlerine ait farklı popülasyonların doğal enfeksiyon koşullarında Botrytis yanıklığı hastalığına (<i>Botrytis tulipae</i>) karşı dayanıklılık durumlarının araştırılması</b> <i>Evaluation of different populations of some tulip species for resistance to Botrytis blight disease (<i>Botrytis tulipae</i>) under natural infection conditions</i>	<b>179</b>
Kıvanç PEKER	<b>Birleşik Krallık'ta satışı gerçekleştirilen Brezilya fıındığı ve Türk fıındıklarındaki aktivite konsantrasyonlarının (<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs) deneysel olarak belirlenmesi</b> <i>An Experimental determination of activity concentrations (<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, and <sup>137</sup>Cs) in Brazil nut and Turkish hazelnut sold in the United Kingdom</i>	<b>187</b>
Kadir KARAMAN Hasan KOLAYLI Yaşar ÇAKIR Erdoğan TİMURKAYNAK	<b>Bazaltlarda olivin serpantinleşmesinin tek eksenli basınç dayanımına ve görünür gözenekliliğe etkisi</b> <i>The effect of olivine serpentinization on uniaxial compressive strength and apparent porosity in basalts</i>	<b>197</b>
Galip KALTAKKIRAN	<b>Ardahan ilinin meteorolojik verilerindeki değişimin istatistiksel olarak incelenmesi</b> <i>Statistical investigation of change in meteorological data of Ardahan province</i>	<b>208</b>
Gamze GOKTEPELİ	<b>Effects of green and innovative pretreatment techniques on kinetic parameters of sunflower seed husk</b> <i>Yeşil ve yenilikçi ön işlem tekniklerinin ayçiçek çekirdek kabuğunun kinetik parametreleri üzerindeki etkileri</i>	<b>227</b>
M. Bahadır ÇETİNKAYA Murat GÜREK Sümeyya YILDIRIM EREN	<b>A research on high voltage cables consisting of different conductors having the same rated voltages</b> <i>Aynı anma gerilimlerine sahip farklı iletkenlerden oluşan yüksek gerilim kabloları üzerine bir araştırma</i>	<b>236</b>
Nilufer KURSUNOĞLU Huseyin ANKARA	<b>Improving the slake durability index values of tuff with a water-based copolymer treatment</b> <i>Su bazlı kopolimer uygulaması ile tüflerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerinin iyileştirilmesi</i>	<b>249</b>
Merve TOKDEMİR Kambiz RAMYAR Adil GÜLTEKİN	<b>Agrega türünün uçucu kül ve tuğla tozu esaslı geopolimer harç özelliklerine etkisi</b> <i>Effect of aggregate type on fly ash- and brick powder-based geopolymer mortar properties</i>	<b>259</b>
Işıl Nihan KORKMAZ	<b>Potansiyel karbonik anhidraz I ve II inhibitör keşfi: D-Penisilamin türevleri</b> <i>Discovery of potential carbonic anhydrase I and II inhibitors: D-Penicillamine derivatives</i>	<b>274</b>
Ayçaçan KAYA Melik KARA	<b>Çocuk parklarından toplanan yüzey tozlarında element seviyelerinin ve sağlık risklerinin değerlendirilmesi</b> <i>Assessment of element levels and health risks in playgrounds surface dust</i>	<b>283</b>
Gülten AKTAŞ A. Sinan DEMİREL	<b>İzmit Körfezi manyetik verilerine kenar tespit yöntemlerinin uygulanması</b> <i>Application of edge detection methods to İzmit Gulf magnetic data</i>	<b>300</b>
M. Dilruba GEYİKOĞLU	<b>Sıçanlarda tüm vücut PEMF cihaz etkisi için in-silico çalışma</b> <i>In-silico study for whole-body PEMF device effect in rats</i>	<b>313</b>
İsmail SARAÇ Alp Timuçin KOÇAK	<b>Topology optimization and numerical verification in an aircraft engine bracket</b> <i>Uçak motor braketinde topoloji optimizasyonu ve sayısal olarak doğrulanması</i>	<b>325</b>
Semih YILMAZ	<b>Kâgir yapı binalarda mimari tasarım hataları: Elâzığ ve Kahramanmaraş depremleri saha gözlemleri</b> <i>Architectural design mistakes in masonry buildings: field observations of Elâzığ and Kahramanmaraş earthquakes</i>	<b>336</b>
Nuriye KABAKUŞ	<b>Bibliometric analysis and research trend of sustainable green transportation</b> <i>Sürdürülebilir yeşil ulaşımın araştırma eğilimi ve bibliyometrik analizi</i>	<b>353</b>
Esra BULUT ATALAY	<b>Gene expression changes of isocitrate dehydrogenase 1 and isocitrate dehydrogenase 2 affect carcinogenesis and survival probability</b> <i>İzositrat dehidrojenaz 1 ve izositrat dehidrojenaz 2 genlerinin gen ekspresyon değişiklikleri karsinogenezi ve hayatta kalma olasılığını etkiler</i>	<b>370</b>

## Yogurt consumption in Türkiye, commercial use of yogurt yeast, and evaluation of consumers' attitudes toward yogurt-like products produced using different yeasts

*Türkiyede'ki yoğurt tüketimi, ticari olarak yoğurt mayasının kullanılması ve tüketicilerin farklı mayalıklar kullanılarak üretilen yoğurt benzeri ürünlere karşı tutumlarının değerlendirilmesi*

Filiz YANGILAR\*<sup>1</sup> , Özlem KARACA<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım University, Health Sciences Faculty, Nutrition and Dietetics Department, 24100, Erzincan

<sup>2</sup>Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science, Mathematics and Science Education Department, 24100, Erzincan

• Received: 25.01.2023

• Accepted: 13.10.2023

### Abstract

This study aims to determine the consumption of ready-made and homemade yogurt, the level of knowledge about different yeasts (chickpea, dewdrop, sugar, cone, vinegar, etc.) that can be used while fermenting yogurt, and their attitudes toward using yogurt leavening in case it is sold commercially. The research was carried out with 500 participants, 427 females (85.4%) and 73 males (14.6%) between 18 and 74. 77.0% of the female participants and 61.6% of the men shared that they had fermented yogurt. 80.1% of the women and 84.9% of the men did not know about using different raw materials as leavening agents other than yogurt yeast. According to their educational status, 54.5% of associate degree graduates wanted yogurt yeast to be sold in the market, like rennet, 55.9% of postgraduate participants wanted to use it if it was sold, and 48.5% of them said yes to the reliability of yogurt yeast. In addition, the participants stated that they liked to consume yogurt in general, found homemade yogurt healthier, and made their yogurt.

**Keywords:** Chickpeas, Commercial yogurt, Dewdrops, Homemade yogurt, Yeast

### Öz

*Bu çalışmada tüketicilerin hazır ve ev yoğurdu tüketimleri, yoğurt mayalanırken kullanılabilecek farklı mayalıklar (nohut, çiy damlası, şeker, külah, sirke vb.) hakkındaki bilgi düzeyleri ve ticari olarak satılması durumunda yoğurt mayalığı kullanma tutumlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Araştırma 18-74 yaş arası 427 kadın (%85.4) ve 73 erkek (14.6) olmak üzere toplam 500 katılımcıyla yürütülmüştür. Kadın katılımcıların %77.0'si ve erkeklerin %61.6'sı yoğurt yaptıklarını paylaşmıştır. Kadınların %80.1'i ve erkeklerin %84.9'u yoğurt mayası dışında farklı hammaddeleri maya olarak kullanma konusunda bilgi sahibi olmadıklarını belirtmiştir. Öğrenim durumlarına göre ön lisans mezunlarının %54.5'inin peynir mayası gibi yoğurt mayasının da marketlerde satılmasını istediklerini, lisansüstü katılımcıların %55.9'u satıldığı takdirde kullanmak istediklerini ve yoğurt mayasının güvenilirliğine ise %48.5'inin evet şeklinde cevap verdikleri görülmüştür. Çalışma sonucunda katılımcıların genel olarak yoğurt tüketmeyi sevdiğileri, ev yoğurdunu daha sağlıklı buldukları ve kendi yoğurtlarını yaptıkları tespit edilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Nohut, Ticari yoğurt, Çiy damlaları, Ev yoğurdu, Mayalık

\*Filiz YANGILAR; fyangilar@erzincan.edu.tr

## 1. Introduction

Balanced and proper nutrition in societies plays an important role in protecting people's health and sustainability (Kart & Demircan, 2014; Engindeniz et al., 2021). With the emergence of the notion of the conscious consumer, consumer purchasing behavior has shifted, resulting in variances in product preferences. Consumers have started to pay more attention to certain issues such as "health," "food," and "nutrition." Food security aims to ensure that everyone has the right to physically and economically access adequate food and to buy and consume foods that help develop healthy eating habits (FAO, 2001; Leisinger, 2000; Demirbaş & Elâ, 2005; Onurlubaş & Gürler, 2016). Yogurt is an example of a safe food since it is rich in health-promoting bioactive ingredients, creates a positive image among consumers thanks to its probiotic properties, is popular around the world, and is recommended for consumption to improve health (Vijaya Kumar et al., 2015; Homayouni Rad et al., 2016; Sarkar, 2019). Following the proliferation of yogurt around the globe and technical advancements, individuals began to investigate the formation mechanism of yogurt, and research in this area increased. Consumption of yogurt is important in terms of diet quality, as it allows individuals to increase their intake of calcium, potassium, magnesium, and zinc, to take adequate amounts of vitamins B2 and B12, and to have lower triglyceride, systolic blood pressure, and insulin resistance (Wang et al., 2013). Furthermore, according to Vatanparast et al. (2019), in their study examining the yogurt consumption of Canadian children and adults by age, they found that 7.7% of children in the 2–18 age group and 50% of adults consumed yogurt. Despite the importance of animal products in human nutrition, it is clear that they are not sufficiently consumed. It is required to ensure the consumption of these products, to determine the relevant consumer behaviors, to analyze the differences observed regarding consumer behaviors, to establish effective control mechanisms in the production of these products throughout the whole process, to develop a sustainable quality standard, and to produce both natural and healthy products in line with consumer demands.

Yogurt is a fermented milk-based product produced using *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* starter bacteria (thermophilic and homofermentative strains) (Türk Gıda Kodeksi, 2009). Recently, some vegetables (Kiros et al., 2016), fruit species (Oliveira et al., 2015), and plant extracts (Balthazar et al., 2015; Bansal et al., 2016; Hussein et al., 2011; Parsa et al., 2015; Hashemi et al., 2016) have been used to make yogurt. The commercial production of yogurt yeast, known to be discovered by Turks, is made in foreign countries, and most of the yogurts sold in Turkey are fermented with an imported culture. Small businesses selling yogurt starter cultures in Turkey work as distributors of major culture-producing countries such as the USA, the Netherlands, France, and the UK (Yılmaz, 2006; Demirci & Ocak, 2020). Since the 1990s, studies have accelerated in Turkey to reduce foreign dependency and produce our own yogurt culture, but a large-scale production facility has not been established yet (Acar & Tunail, 2006; Durak et al., 2015; Demirgöl & Sağdıç, 2017).

In this study, the consumers' preferences for yogurt consumption and their views on commercial yogurt and homemade yogurt were evaluated comprehensively. Another important title of the study is yogurt yeast. For this purpose, the knowledge levels of consumers about the yeast used in the production of homemade yogurt and the different yeasts (chickpea, dewdrop, sugar, cone, vinegar, etc.) used in the fermentation of yogurt and their approaches were also evaluated.

## 2. Material and method

### 2.1. Participants

The research consists of 500 participants, ranging in age from 18 to 74 years old, in Turkey. No sample selection method was used in the study, and individuals who voluntarily participated in the study were included with the complete count method.

### 2.2. Research design

Informed consent forms were obtained from the volunteers who agreed to participate in the study in May 2021. This study was conducted according to the guidelines outlined in the Declaration of Helsinki. The Erzincan Binali Yıldırım University Human Research Ethics Committee (decision dated 30/04/2021 and numbered 05/26) approved all procedures involving human subjects.



### 2.3. Data collection

The research data were collected online using a questionnaire prepared in line with the opinions of experts and consisted of 16 items to determine the participants' attitudes towards yogurt and 15 things to assess their views about yogurt yeast.

### 2.4. Statistical analysis

All statistical analyses were performed using IBM Version 22.0. While using percent (%) values from descriptive statistics, the relationship between categorical variables was determined with the Pearson chi-square test at the  $p < 0.05$  significance level.

## 3. Results

The demographic characteristics of the participants (Table 1a), their yogurt consumption preferences (Table 1b), and attitudes about yogurt yeast were given in Table 1c. The distribution of participants by gender was 85.4% female and 14.6% male. 7.2% of the participants were primary school graduates, 23.8% were secondary school graduates, 8.8% had an associate degree, 46.6% had an undergraduate degree, and 13.6% had a postgraduate/PhD degree. 38.6% of the participants were 18–24 years old, 22.8% were 25–34 years old, 13.8% were 35–49 years old, 24.4% were 50–65 years old, and 0.4% were over 65. 30.4% of the participants had low income, 31.2% had medium income, 32.0% had high income, and 6.4% had a very high income. 51.4% of the participants were single, 47.0% were married, and 1.6% were divorced.

According to Table 1b, 93.2% of the participants liked to consume yogurt; 50.5% of them paid attention to the probiotics in their yogurt preferences and 98.6% of them found the home yogurt healthier. However, 62.9% said they made yogurt at home, 40.2% consumed yogurt occasionally, 29.3% consumed yogurt made by family elders, and 35.6% stated that they prefer ready-made yogurts with fruit, honey, vitamins, minerals, and probiotics when they are enriched. In addition, 68.3% of them pay attention to the expiration date of ready-made yogurt 66% of them think that commercial yogurt has additives, and 89.6% of them find homemade yogurt healthier. In addition, as seen in Table 1b, regarding the nutritional properties that the participants considered important, "the probiotic and protein content properties of yogurt" were statistically significant ( $p < 0.05$ ).

According to 73.9% of the participants, yeast, and process might have been effective in making homemade yogurt sour compared to commercial yogurt, 83.6% of the participants stated that they understood the home yogurt deteriorated due to the change in taste, 33.3% of the participants stated that the consistency of home yogurt was one of the reasons for affecting consumers negatively. 73.0% of the participants made yogurt, 86.6% used their yogurt yeast at home, 82.6% could not find yogurt yeast, 87% of them trusted the fermented yogurt they found, and 66.8% did not accept yogurt fermented with commercial yogurt yeast as homemade yogurt. In addition, 24.4% of them knew that sugar could be added to yogurt yeast when fermenting yogurt, 91.4% didn't know that different raw materials other than yogurt yeast could be used as a leavening agent 6% used chickpea as a different leavening agent, and 53.6% stated that they would like yogurt yeast to be sold in markets. They said no to the situation of sale, 60.8% of the participants didn't want to use yogurt yeast if it was produced and sold like rennet in the market 68.8% of them would not find this yeast safe if it were sold 72.7% of them stated that they wanted the taste of yogurt to be the same or close to homemade yogurt, among their expectations for the yogurt they produced with this type of commercial yogurt yeast.

According to gender, the yogurt consumption of the participants, their preferences, and their views on yeast are given in Table 2. It was determined that 85.4% of the participants like to consume yogurt, 77.5% of women and 78.1% of men consume yogurt regularly, 99.5% of women find home yogurt healthier, 39.1% of women and 26.0% of men do not consume commercial yogurt, 50.5% of the women and 31.5% of the men answered no to the situation of nutritionally enriched commercial yogurts, and 85.6% of the participants thought there were additives in commercial yogurts.

As seen in Table 2, it was found that 77.0% of women and 61.6% of men made yogurt; 82.9% of the women could not find yogurt yeast, 87% of the participants trusted that they found the yogurt yeast, 68.9% of the women and 54.8% of the men did not see the yogurt made with commercial yogurt yeast as home yogurt,

155 80.1% of women and 84.9% of men did not know about using different raw materials as leavening except for  
 156 yogurt yeast, and 85.4% of them said yes to the sale of yogurt yeast like rennet in the markets.  
 157

158 **Table 1a.** Demographic characteristics of the participants.  
 159

Parameters	N=500
<b>Age (n, %)</b>	
18-24	193 (38.6)
25-34	114 (22.8)
35-49	69 (13.8)
50-65	122 (24.4)
65 and over	2 (0.4)
<b>Gender (n, %)</b>	
Female	427 (85.4)
Male	73 (14.6)
<b>Educational status (n, %)</b>	
Primary school	36 (7.2)
Secondary school	119 (23.8)
Associate degree	44 (8.8)
Undergraduate	233 (46.6)
Master's/doctorate	68 (13.6)
<b>Marital status</b>	
Single	257 (51.4)
Married	243 (48.6)
<b>Job</b>	
Student	294 (58.8)
Small business	16 (3.2)
Officer	96 (19.2)
Farmer	12 (2.4)
Retired	12 (2.4)
Housewife	70 (14.0)
<b>Income status</b>	
Low income	152 (30.4)
Medium income	156 (31.2)
High income	160 (32.0)
Very high-income	32 (6.4)
<b>Family type</b>	
Core	430 (86.0)
Large	69 (13.8)
Other	1 (2.0)

\*More than one option is marked.

160  
 161 **Table 1b.** Yogurt consumption status of the participants  
 162  
 163

Parameters	N=500
<b>Cases of liking to consume yogurt.</b>	
I like	466 (93.2)
I dislike	34 (6.8)
<b>Nutritional properties that they pay attention to in yogurt consumption*.</b>	
Fat	181 (36.1)
Protein	240 (47.9)
Calorie	72 (14.4)
Vitamin-Mineral content	210 (41.9)
Probiotic	253 (50.5)
Other	25 (5.0)
<b>Which yogurt do they find healthier?</b>	
Homemade yogurt	493 (98.6)
Commercial yogurt	7 (1.4)

164

165  
166

**Table 1b.** Continue

Parameters	N=500
<b>Where do you buy the yogurt?*</b>	
Market	142 (28.3)
Village	72 (14.4)
Open market	11 (2.2)
Make it myself	315 (62.9)
My elders make it	147 (29.3)
<b>Consumption of commercial yogurt.</b>	
Yes	113 (22.6)
No	186 (37.2)
Sometime	201 (40.2)
<b>Does the nutritional (fruit, honey, vitamin, mineral, probiotic, etc.) enrichment of commercial yogurts ensure its consumption?</b>	
Yes	178 (35.6)
No	223 (44.6)
Some	99 (19.8)
<b>What do you pay attention to when buying commercial yogurt? *</b>	
Expiration date	342 (68.3)
Price	118 (23.6)
Brand	298 (59.5)
Packaging	83 (16.6)
Others	34 (6.8)
<b>Are there any additives in readymade yogurt?</b>	
Yes	330 (66.0)
No	170 (34.0)

\*More than one option is marked.

167  
168  
169  
170

**Table 1c.** Yogurt preferences, and attitudes about yogurt yeast of the participants

Parameters	N=500
<b>Reasons to prefer homemade yogurt*</b>	
I think it's healthier	449 (89.6)
Love your taste	276 (55.1)
Because it has no additives	364 (72.7)
Because it is more economical	108 (21.6)
Other	11 (2.2)
<b>Opinions on the sourness of home yogurt compared to ready-made yogurt*</b>	
Yeast and the way it is fermented	370 (73.9)
Using additives in ready-made yogurt	316 (63.1)
Storage conditions	135 (26.9)
Expiration date	67 (10.4)
Characteristics of the milk used	152 (30.3)
Others	12 (2.74)
<b>Ways to understand the spoilage of homemade yogurt*</b>	
When the taste changes	419 (83.6)
When her scent changes	303 (60.5)
When its structure changes	243 (48.5)
Other	8 (1.6)
<b>Factors that bother consumers in home yogurt*</b>	
Smell	122 (24.4)
Color	49 (9.8)
Consistency	167 (33.3)
Creamy	128 (25.5)
Aroma	68 (13.6)
Other	111 (22.2)

171  
172



173  
174**Table 1c.** Continue

Parameters	N=500
<b>Yogurt fermentation conditions</b>	
Yes	365 (73.0)
No	75 (15.0)
Sometime	60 (12.0)
<b>Where do they get the yeast when making homemade yogurt?*</b>	
I use my own yeast at home	434 (86.6)
I get it from the neighbor	153 (30.5)
I use ready-made yogurt as leavening	69 (13.8)
<b>Cases of finding fermented yogurt</b>	
Yes	87 (17.4)
No	413 (82.6)
<b>A sense of trust in the fermented yogurt they found</b>	
Yes	435 (87.0)
No	65 (13.0)
<b>The case of making homemade yogurt when they make yogurt at home with ready-made yogurt</b>	
Yes	166 (33.2)
No	334 (66.8)
<b>Status of the raw materials added to the milk together with the yogurt yeast while fermenting yogurt*</b>	
Sugar	122 (24.4)
Dew droplets	11 (2.2)
Vinegar	8 (1.6)
Chickpeas	20 (4.0)
Cone	4 (0.8)
Others	20 (4.0)
<b>Situations of using different raw materials as leavening except for yogurt leavening</b>	
Yes	43 (8.6)
No	457 (91.4)
<b>Which raw material do they use as different leavening?*</b>	
Dew droplets	17 (3.4)
Vinegar	20 (4.0)
Chickpeas	30 (6.0)
Cone	9 (1.8)
Others	14 (4.83)
<b>Like rennet, yogurt yeast is sold in markets.</b>	
Yes	232 (46.4)
No	268 (53.6)
<b>Attitudes to use if yogurt yeast is produced and sold in the market like rennet.</b>	
Yes	196 (39.2)
No	304 (60.8)
<b>Attitudes to find this sold yogurt yeast-safe.</b>	
Yes	156 (31.2)
No	344 (68.8)
<b>Their expectations in the yogurts they produce with ready-made yogurt yeast in this form*</b>	
It should form a thicker yogurt.	277 (55.3)
It should ensure that the taste is the same or close to home yogurt.	364 (72.7)
It should ensure that it can be consumed for a longer period of time without spoiling.	146 (29.1)
Other	31 (6.2)

\*More than one option is marked.

175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182

183  
184

**Table 2.** According to gender, individuals' yogurt consumption, preferences, and opinions about yeast

Parameters	Female n=427		Male n=73		Total n=500		p
	S	%	S	%	S	%	
<b>Do you like to consume yogurt?</b>							
I like	398	93.2	68	93.2	427	85.4	0.572
I dislike	29	6.8	5	6.8	73	14.6	
<b>Do you regularly consume yogurt?</b>							
Yes	331	77.5	57	78.1	427	85.4	0.526
No	96	22.5	16	21.9	73	14.6	
<b>Which yogurt do they find healthy?</b>							
Homemade yogurt	425	99.5	68	93.2	427	85.4	0.001*
Commercial yogurt	2	0.5	5	6.8	73	14.6	
<b>Do you consume commercial yogurt?</b>							
Yes	90	21.1	23	31.5	113	22.6	0.050
No	167	39.1	19	26.0	186	37.2	
Sometime	170	39.8	31	42.5	201	40.2	
<b>The fact that nutritional enrichment (fruit, honey, vitamin, mineral, probiotic, etc.) of commercial yogurts can lead to consumption.</b>							
Yes	106	28.0	72	45.9	178	35.6	0.654
No	191	50.5	32	31.5	223	44.6	
Sometime	81	21.4	18	22.6	99	19.8	
<b>Are there any additives in commercial yogurt?</b>							
Yes	271	65.5	59	62.5	428	85.6	0.359
No	143	34.5	27	37.5	72	14.4	
<b>Can you make yogurt?</b>							
Yes	320	77.0	45	61.6	365	73.0	0.030*
No	57	12.2	18	24.7	75	15.0	
Sometime	50	10.8	10	13.7	60	12.0	
<b>Can you find yogurt yeast?</b>							
Yes	73	17.1	14	19.2	427	85.4	0.386
No	354	82.9	59	80.8	73	14.6	
<b>Do you trust the yogurt yeast you find?</b>							
Yes	376	88.1	59	80.2	435	87.0	0.070
No	51	11.9	14	19.8	65	13.0	
<b>The cases of making homemade yogurt when they make yogurt at home with commercial yogurt.</b>							
Yes	133	31.1	33	45.2	166	33.2	0.014*
No	294	68.9	40	54.8	334	66.8	
<b>Situations of using different raw materials as leavening except for yogurt leavening.</b>							
Yes	85	19.9	11	15.1	96	19.2	0.212
No	342	80.1	62	84.9	404	80.8	
<b>If the yogurt yeast you buy meets your standards, will you use it continuously?</b>							
Yes	167	39.1	29	39.7	196	39.2	0.509
No	260	60.9	44	60.3	304	60.8	
<b>Like rennet, should yogurt yeast be sold in markets?</b>							
Yes	194	45.4	38	52.1	427	85.4	0.178
No	233	54.6	35	47.9	73	14.6	

\*Pearson chi-square test

185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194

The participants' yogurt consumption status, classification, and scores related to yogurt fermentation by age were presented in Table 3. The participants in the 25-34 age group said that 96.5% like to consume yogurt more, 86.9% of the 50-65 age group regularly consume yogurt, those in the 18-24 age group consume more (29.1%) commercial yogurt, and those in the 65 and older age group more (100%) stated that they make homemade yogurt and find homemade yogurt healthier. Those between the ages of 18 and 24 shared that they would use it continuously if the yogurt yeast they bought was at the standard they expected.

195  
196

**Table 3.** Yogurt consumption status of individuals according to age, their classification, and scores about yogurt fermentation

Parameters	18-24		25-34		35-49		50-65		65 and over		p
	S	%	S	%	S	%	S	%	S	%	
<b>Do you like to consume yogurt?</b>											
I like	177	91.7	110	96.5	64	92.8	114	93.4	1	50.0	0.073
I dislike	16	8.3	4	3.5	5	7.2	8	6.6	1	50.0	
<b>Do you regularly consume yogurt?</b>											
Yes	133	68.9	93	81.6	56	81.2	106	86.9	-	-	0.000*
No	60	31.1	21	18.4	13	18.8	16	13.1	2	100	
<b>Do you consume commercial yogurt?</b>											
Yes	56	29.1	31	27.2	11	15.9	14	11.5	1	50.0	0.005*
No	63	32.6	39	34.2	24	34.8	60	49.2	-	-	
Sometime	74	38.3	44	38.6	34	49.3	48	39.3	1	50.0	
<b>Can you make yogurt?</b>											
Yes	110	57.0	83	72.8	60	87.0	110	90.2	2	100	0.000*
No	50	25.9	18	15.8	1	1.4	6	4.9	-	-	
Sometime	33	17.1	13	11.4	8	11.6	6	4.9	-	-	
<b>Which yogurt do they find healthier?</b>											
Homemade yogurt	187	96.9	114	100	69	100	121	99.2	2	100	0.136
Commercial yogurt	6	3.1	-	-	-	-	1	0.8	-	-	
<b>If the yogurt yeast you buy meets your standards, will you use it continuously?</b>											
Yes	123	63.7	62	54.4	29	42.0	62	50.8	1	50.0	0.021*
No	70	36.3	52	45.6	40	58.0	60	49.2	1	50.0	

\*Pearson chi-square test

197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211

It was found to be statistically significant that the participants had probiotic properties in terms of nutritional properties ( $p < 0.05$ ). While emphasizing the place where they buy yogurt, the answer "I make it; myself from the market; my elders will do it" was also found important. Also, "Does the fact that the nutritional value of commercial yogurts is enriched (fruit, honey, vitamins, minerals, probiotics, etc.) lead you to consume them?" The answers given to the question were also found to be statistically significant. To the question "Why do you prefer homemade yogurt?" the participants answered, "I think it is healthier," "I like the taste," and "It does not contain any additives" (not specified in the table). They said that they got the yeast from their neighbors according to their educational status and displayed an attitude of skepticism about the existence of natural yeast. In this way, they also expressed their concerns about finding natural yogurt yeast for homemade yogurt.

The attitudes of the participants about yeast according to their educational status are given in Table 4.

**Table 4.** Attitudes of the participants about yogurt yeast according to their educational status

Parameters	Primary school		Secondary school		Associate degree		Undergraduate		Master's/ doctorate		p
	S	%	S	%	S	%	S	%	S	%	
<b>Can you find yogurt yeast?</b>											
Yes	3	8.3	14	11.8	9	20.5	41	17.6	20	29.4	0.019*
No	33	91.7	105	88.2	35	79.5	192	82.4	48	70.6	
<b>Do you trust the yogurt yeast you find?</b>											
Yes	30	83.3	107	89.9	34	77.3	210	90.1	54	79.4	0.033*
No	6	16.7	12	10.1	10	22.7	23	9.9	14	20.6	
<b>Like rennet, should yogurt yeast be sold in markets?</b>											
Yes	11	30.6	45	37.8	24	54.5	110	47.2	42	61.8	0.005*
No	25	69.4	74	62.2	20	45.5	123	52.8	26	38.2	
<b>If the yogurt yeast you buy meets your standards, will you use it continuously?</b>											
Yes	8	22.5	35	29.4	20	45.5	95	40.8	98	55.9	0.001*
No	28	77.5	84	70.6	24	54.5	78	59.2	30	44.1	
<b>Would you trust the yogurt yeast if it sold?</b>											
Yes	6	16.7	32	26.9	13	29.6	72	30.9	33	48.5	0.007*
No	30	83.3	87	73.1	31	70.4	161	69.1	35	51.5	

\*Pearson chi-square test

212



213 It was determined that 91.7% of primary school graduates could not find yogurt leavening 90.1% of  
 214 undergraduate graduates trusted the yeast they found, 61.8% of the graduate participants wanted this leavening  
 215 to be sold in the markets, such as rennet; 55.9% of them can use it if it is sold; and 48.5% can trust this yeast.  
 216

217 "Probiotic" answers were found to be statistically significant in the answers of the participants about the  
 218 nutrients they pay attention to while consuming yogurt, and the answers to the question "Where do you buy  
 219 probiotic yogurt?" were found to be statistically significant ( $p < 0.05$ ). "What do you pay attention to when  
 220 buying commercial yogurt?", "Expiration date", and "What are the features you are worried about in  
 221 commercial yogurt?" "Color" was determined to be statistically significant in the answers given to the question.  
 222 In addition, the answers "I get it from my neighbor" to the question "Where do you get the yeast to make  
 223 homemade yogurt?" and "chickpea" answers to the question "What do you use as another leavening agent?"  
 224 were found statistically significant ( $p < 0.05$ ) (not specified in the table).  
 225

226 The participants' yogurt consumption status and their classification of yogurt fermentation according to their  
 227 income are given in Table 5. It was determined that 86.2% of the high-income group participants regularly  
 228 consume yogurt, 42.1% of the low-income group consume between 251 and 500 g, 78.7% of the high-income  
 229 group participants fermented yogurt, and 90.0% of them trusted the yeast they found.  
 230

231 **Table 5.** The participants' yogurt consumption status and their classification of yogurt fermentation  
 232 according to their income  
 233

Parameters	Low income group (0–2000 TL)		Medium income group (2001– 4000 TL)		High-income group (4001–8000 TL)		Very high-income group (8001 TL and over)		p
	S	%	S	%	S	%	S	%	
<b>Would you trust the yogurt leaven if it sold?</b>									
Yes	99	65.1	126	80.8	138	86.2	25	78.1	0.000*
No	53	34.9	30	19.2	22	13.8	7	21.9	
<b>How much yogurt do you consume per week?</b>									
0-250 gr	45	29.6	28	17.9	20	12.5	101	20.2	0.000*
251-500 gr	64	42.1	43	27.6	52	32.5	166	33.2	
501gr - 1 kg	16	10.5	26	16.7	30	18.8	81	16.2	
More than 1 kg	21	13.8	55	35.3	56	35	140	2.8	
I don't consume	6	3.9	4	2.6	2	1.3	-	-	
<b>Can you make yogurt?</b>									
Yes	97	63.8	120	76.9	126	78.7	22	68.7	0.002*
No	38	25.0	14	9.0	16	10.0	7	21.9	
Sometimes	17	11.2	22	14.1	18	11.3	3	9.4	
<b>Do you trust the yogurt yeast you find?</b>									
Yes	130	85.5	140	89.7	144	90.0	21	65.6	0.001*
No	22	14.5	16	10.3	16	10.0	11	34.4	

234 \*Pearson chi-square test

235 According to the income level of the participants, the nutritional properties of yogurt that they pay attention to  
 236 are "probiotic" and "Where do you buy the yogurt from?", "From the market", "From the village", "Me," and  
 237 "My seniors" were found to be statistically significant (Table 5). In addition, "What do you pay attention to  
 238 when buying commercial yogurt?", "Price" and "Why do you prefer homemade yogurt?" to reply "I think it is  
 239 healthier because it has no additives" were determined to be important. "What do you think about homemade  
 240 yogurt being sourer than commercial yogurt?" to reply, "Storage conditions and expiry time" were found to  
 241 be statistically significant. However, "What are the properties you are worried about in commercial yogurt?"  
 242 to answer "color" and "Where do you get the yeast to make homemade yogurt?" to reply "I get it from my  
 243 neighbor" were also found important.  
 244

245 The participants gave the answers to the questions "What do you use as another leavening agent?" to  
 246 "Chickpea" and "What kind of properties do you expect to have in fermented yogurt when you use commercial  
 247 yogurt?" to "Consumption time should be longer (not specified in the Table).  
 248

#### 249 4. Discussion

250  
 251 In this study, the yogurt consumption of participants throughout Turkey, their comparisons between  
 252 commercial and homemade yogurt, and their knowledge levels about fermentation and different yeasts were  
 253 evaluated. It was determined that women liked to consume yogurt more (93.2%) and consumed yogurt  
 254 regularly (77.5%). [Moodi et al. \(2021\)](#), in their study with 541 students, found that 315 (60.6%) of them did  
 255 not consume yogurt compared to 205 (39.4%) students. [Karakaya & Akbay \(2013\)](#) stated that the reason for  
 256 the low consumption of drinking milk is because families consume more yogurt in their study conducted in  
 257 Istanbul. At the same time, [Karakaya & Kızıloğlu \(2018\)](#) reported that the differences between the  
 258 consumption amounts of yogurt in terms of the education level of the consumers were statistically significant.  
 259 They determined that primary school graduates consumed more yogurt than others. It found that there was a  
 260 significant relationship between the number of individuals in the family and the amount of yogurt consumption  
 261 and that consumers in low-population families consumed more yogurt per month.  
 262

263 [Çetinkaya \(2010\)](#), in his study in which Kafkas University students determined the consumption levels of milk  
 264 and products; reported that 46.9% consumed cheese, 32% yogurt, 15.6% butter, 1.5% milk powder, 2% fruit  
 265 milk, and fruit yogurt. [Ürkek & Taş \(2021\)](#) reported that university students prefer probiotic yogurt and kefir  
 266 very little, and the reason is due to their taste and price. [Yalçın & Argun \(2017\)](#) stated that 0.8% of the students  
 267 1-2 times a day, 5.8% several times a week, 6.7% once a week, 7.5% once every 15 days, 17.5% consumed  
 268 yogurt once a month, 18.3% of them consumed it less frequently, and 43.3% of them did not consume any  
 269 probiotic yogurt. Literature reviews have shown that there are not many studies on scoring to determine the  
 270 level of probiotic knowledge. However, [Yurttaş & Yılmaz \(2017\)](#) stated that 15% of health school students  
 271 had good probiotic knowledge, 48.1% had medium, and 36.9% had low levels of probiotic knowledge. To  
 272 eliminate the imbalance in the intestinal microbiota and improve or modulate intestinal health, the public  
 273 should benefit more from the experts in the use of probiotic, prebiotic, paraprobiotic, and postbiotic food  
 274 supplements and over-the-counter pharmaceutical products ([Uğur et al., 2021](#)).  
 275

276 [Tarakçı et al. \(2015\)](#) stated that the question "Where do you buy yogurt from?" 32.7% of them were in the  
 277 market, 31.3% in the village, 2.0% in the market, and 34.0% in their home consumers in Ordu city. The  
 278 researcher's results are in agreement with the present study results.  
 279

280 In this study, it was determined that the participants believed homemade yogurt was healthier than commercial  
 281 yogurt. This result was also directly proportional to the idea that there were additives in commercial yogurt, as  
 282 presented in the results of the study. [Özbey \(2020\)](#), in his study with 1200 students, found that 68% of the  
 283 participants answered yes to the question, "Do you think there are additives in drinking milk and plain yogurt?"  
 284

285 The participants stated that they used commercial yogurt yeast to make yogurt at home, and in general, they  
 286 were not knowledgeable about other methods to make yogurt besides yogurt yeast. In this respect, more studies  
 287 need to be carried out to increase the knowledge level of consumers. [Güzeler et al. \(2017\)](#) recommended the  
 288 production of yogurt fermented with chickpeas in their research, where they examined the physical, chemical,  
 289 and microbiological properties of yogurt fermented with chickpeas. More research should have been done to  
 290 learn about the sensory and chemical properties of yogurt made from different yogurt yeasts. In the literature,

291 we had not come across any other study that directly measured the participants' attitudes toward yeast in  
 292 Turkey.

293  
 294 When examined according to educational status, 62.2% of secondary school graduates stated that they would  
 295 not use the yogurt yeast sold in the markets. In comparison, 61.8% of undergraduates said that they would use  
 296 it. %83.3 of primary education graduates stated they would not trust the yeast sold in markets. Based on these  
 297 data, we suggested that the knowledge level of the participants was insufficient and that experts should  
 298 adequately inform people on this subject. Compared to Europe and America, the per capita consumption of  
 299 yogurt in our country was quite low. People generally, due to sensory properties such as taste and smell, did  
 300 not prefer commercial yogurts, resulting in decreased yogurt consumption (Demirci & Şimşek, 1997; Herdem,  
 301 2006). In addition, consumers appreciate yogurts prepared with traditional methods more from a sensory  
 302 perspective. For this reason, we could emphasize that, by sticking to the traditional production method, using  
 303 either natural yogurt yeast or different yeasts to meet the consumer with yogurt production would be more  
 304 accepted by everyone from a sensory point of view.

305  
 306 Yogurt was produced using dew droplets collected from plants in the morning of Hıdırellez and chickpea  
 307 samples from 15 brands. The control yogurt made with traditional yogurt yeast was superior to the samples  
 308 produced with chickpea and dew droplets in terms of both yogurt bacteria and sensory properties (Anonymous,  
 309 2021). This study was essential in formulating yogurt, a product with precious bioactive compounds, in line  
 310 with the development and new trends in the food sector in 2021 by testing various yeasts with preliminary tries  
 311 under hygienic laboratory conditions.

## 312 313 **5. Conclusions**

314  
 315 Yogurt is a popular product that stands out as one of the world's most consumed fermented dairy products. It  
 316 is an excellent food to provide a daily intake of nutrients that can prevent diseases and positively affect  
 317 consumer's health. Most participants stated that they liked to consume yogurt, a valuable product, and they  
 318 consumed it regularly. In addition, 73.0% of the participants made their yogurt, 82.6% could not find fermented  
 319 yogurt, 87% trusted the fermented yogurt they found, 66.8% did not accept yogurt fermented with commercial  
 320 yogurt yeast as homemade yogurt, and 91.4% did not accept yogurt leavening. It was determined that they did  
 321 not know that different raw materials could be used in yogurt yeast. It has also been observed that the consumer  
 322 generally has a positive attitude towards natural yoghurt yeast. However, we believe there was still insufficient  
 323 knowledge, and the underlying reason was skepticism. There was a need for long-term, reliable studies under  
 324 appropriate laboratory conditions for the production and use of yeast. It has been considered that these doubts  
 325 could be eliminated by preparing yogurt yeast production in line with consumer expectations in our country.

## 326 327 **Author contribution**

328  
 329 FY: supervision, article administration, and resources. FY and ÖK; methodology and writing-original draft  
 330 preparation. FY and ÖK; writing, reviewing, and editing.

## 331 332 **Declaration of ethical code**

333  
 334 The authors declare that all of the rules stated to be followed within the scope of the “Higher Education  
 335 Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive” were followed.

## 336 337 **Conflicts of interest**

338  
 339 The authors reported no potential conflicts of interest.

## 340 341 **References**

- 342  
 343 Acar, E., & Tunail, N. (2006). Yoğurt starter kültür fajlarının sınıflandırılması. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*; 24-26 (pp. 425-  
 344 428), Bolu.  
 345  
 346 Anonymous. (2021, August 08). *Süt dünyası*. [https://sutdunyasi.com/farkli-maya-kaynaklariyla-uretilen-yogurtlarin-](https://sutdunyasi.com/farkli-maya-kaynaklariyla-uretilen-yogurtlarin-bazi-ozelliklerinin-belirlenmesi/)  
 347 [bazi-ozelliklerinin-belirlenmesi/](https://sutdunyasi.com/farkli-maya-kaynaklariyla-uretilen-yogurtlarin-bazi-ozelliklerinin-belirlenmesi/)

- 348 Balthazar, C. F., Gaze, L. V., Azevedo da Silva, H. L., Pereira, C. S., Franco, R. M., Conte-Júnior, C. A., Freitas, M. Q.  
349 D., & Silva, A. C. D. O. (2015). Sensory evaluation of ovine milk yogurt with inulin addition. *International Journal*  
350 *of Dairy Technology*, 68(2), 281-290. doi.org/10.1111/1471-0307.12189
- 351
- 352 Bansal, S., Mangal, M., Sharma, S. K., Yadav, D. N., & Gupta, R. K. (2016). Optimization of process conditions for  
353 developing yogurt like probiotic product from peanut. *LWT-Food Science and Technology*, 73, 6-12.  
354 doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.059
- 355
- 356 Capcanari, T., Chirsanova, A., Covaliov, E., & Siminiuc, R. (2021). Development of lactose free yogurt technology for  
357 personalized nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, 12(11), 1116-1135. doi.org/10.4236/fns.2021.1211082
- 358
- 359 Çetinkaya, A. (2010). Kafkas üniversitesi öğrencilerinin içme sütü ve süt ürünlerini tüketim alışkanlıklarının  
360 belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 5(2), 73-84.
- 361
- 362 Demirbaş, N., & Elâ, A. T. I. S. (2005). Examining the food security problem of Turkish agriculture at the wheat case. *Ege*  
363 *University Faculty of Agriculture Journal*, 42(1), 179-190.
- 364
- 365 Demirci, A., & Ocak, E. (2020). Sağlıklı ve kaliteli yoğurt nasıl mayalanır?. *Academic Platform Journal of Halal*  
366 *Lifestyle*, 2(1), 14-22.
- 367
- 368 Demirci, M., & Şimşek, O. (1997). *Süt işleme teknolojisi*. Hasad Yayıncılık.
- 369
- 370 Demirgöl, F., & Sağdıç, O. (2017). Laktik starter kültür üretim teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11), 27-  
371 37.
- 372
- 373 Durak, Y., Uysal, A., Aladağ, M. O., & Duygu, A. K. I. N. (2015). Ticari yoğurt örneklerinden canlı laktik asit  
374 bakterilerinin izolasyonu ve sayımı. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 41, 83-88.
- 375
- 376 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2001). *Handbook for defining and setting up a food security*  
377 *information and early warning system (FSIEWS)*, FAO.
- 378
- 379 Gbadamonsi, A. A., Ahmed, A. S., Cisse, A.S, Seioudy A., Kandemir, Ç., & Koşum, N. (2021). Tüketicilerin süt ve süt  
380 ürünleri tercihlerinin analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(3), 470-481. doi.org/10.33462/jotaf.841924
- 381
- 382 Hashemi, S. M. B., Amininezhad, R., Shirzadinezhad, E., Farahani, M., & Yousefabad, S. H.A. (2016). The antimicrobial  
383 and antioxidant effects of *Citrus aurantium* L. flowers (Bahar Narang) extract in traditional yogurt stew during  
384 refrigerated storage. *Journal of Food Safety* 36, 153-161. doi.org/10.1111/jfs.12222
- 385
- 386 Heiss, C., & Kelm, M. (2010). Chocolate consumption, blood pressure, and cardiovascular risk. *European Heart*  
387 *Journal*, 31(13), 1554-1556. doi.org/10.1093/eurheartj/ehq114
- 388
- 389 Herdem, A. (2006). *Farklı yörelerden toplanan geleneksel yöntemle üretilen yoğurt örneklerinin bazı niteliklerinin*  
390 *belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- 391
- 392 Homayouni Rad, A. H., Khosroushahi, A. Y., Khalili, M., & Jafarzadeh, S. (2016). Folate bio-fortification of yogurt and  
393 fermented milk: a review. *Dairy Science & Technology*, 96(4), 427-441. doi.org/10.1007/s13594-016-0286-1
- 394
- 395 Hussein, M. M., Hassan, F. A. M., Daym, H. H. A., Salama, A., Enab, A. K., & El-Galil, A. A. A. (2011). Utilization of  
396 some plant polysaccharides for improving yogurt consistency. *Annals of Agricultural Sciences* 56(2), 97-103.  
397 doi.org/10.1016/j.aos.2011.05.010
- 398
- 399 Karakaya, E., & Akbay, C. (2013). İstanbul ilinde tüketicilerin süt ve süt ürünleri tüketim alışkanlıkları. *Uludağ*  
400 *Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 65-77.
- 401
- 402 Karakaya, E., & Kızıloğlu, S. (2018). Bingöl ili kent merkezinde tüketicilerin süt ve süt ürünleri tüketim alışkanlıkları.  
403 *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(Özel Sayı), 12-21.  
404 doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.504487
- 405
- 406 Kart, M. Ç. Ö., & Demircan, V. (2014). Dünyada ve Türkiye’de süt ve süt ürünleri üretimi, tüketimi ve ticaretindeki  
407 gelişmeler. *Akademik Gıda*, 12(1), 78-96.
- 408

- 409 Kiros, E., Seifu, E., Bultosa, G., & Solomon, W. K. (2016). Effect of carrot juice and stabilizer on the physicochemical  
410 and microbiological properties of yogurt. *LWT-Food Science and Technology*, 69, 191-196.  
411 doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.026  
412
- 413 Leisinger, K. M. (2000). Population growth, food security, and civil society: the hunger problem can be solved. *D+C,*  
414 *Development and Cooperation*, 1, 8-12.  
415
- 416 Moodi, M., Salmani, F., Norozi, E., & Zeinali, T. (2021). Predictors of functional dairy product consumption among  
417 Iranian consumers. *International Dairy Journal*, 121, 105061. doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105061  
418
- 419 Oliveira, A., Alexandre, E. M., Coelho, M., Lopes, C., Almeida, D. P., & Pintado, M. (2015). Incorporation of  
420 strawberries preparation in yogurt: Impact on phytochemicals and milk proteins. *Food Chemistry*, 171, 370-378.  
421
- 422 Onurlubaş, E., & Gürler, A. Z. (2016). The factors affecting level of consumers about food safety. *Journal of Agricultural*  
423 *Faculty of Gaziosmanpasa University*, 33(1), 132-141. doi.org/10.13002/jafag925  
424
- 425 Özbey, F. (2020). Determination of milk and dairy consumption habits of university students. *Journal of Health*  
426 *Professionals Research*, 2(1), 1.  
427
- 428 Parsa, P., Alizadeh, M., Rezazad Bari, M., & Akbarian Moghar, A. (2015). Optimisation of probiotic yogurt production  
429 enriched with phytoosterols. *International Journal of Dairy Technology*, 68(4), 557-564. doi.org/10.1111/1471-  
430 0307.12207  
431
- 432 Sarkar, S. (2019). Potentiality of probiotic yogurt as a functional food—a review. *Nutrition & Food Science*, 49(2), 182-  
433 202. doi.org/10.1108/NFS-05-2018-0139  
434
- 435 Selçuk, Z., & Geçgel, Ü. (2012). Determination of fat contents and fatty acid compositions of commercial chocolates on  
436 the Turkish market. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1).  
437
- 438 Sheikh, S., Siddique, F., Ameer, K., Ahmad, R. S., Hameed, A., Ebad, A., Ahmed, I.S.A., & Shibli, S. (2023). Effects of  
439 white mulberry powder fortification on antioxidant activity, physicochemical, microbial and sensorial properties  
440 of yogurt produced from buffalo milk. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 204-215. doi.org/10.1002/fsn3.3053  
441
- 442 Tarakçı, Z., Karaağaç, M., & Çelik, Ö. F. (2015). Ordu il merkezindeki tüketicilerin fermente süt ürünleri tüketim  
443 alışkanlıkları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(2), 71-80.  
444
- 445 Türk Gıda Kodeksi. (2009). Fermente süt ürünleri tebliği. *Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara, Türkiye.*  
446
- 447 Uğur, E., Öner, Z., Bektaş, A., & Ulusoy, M. (2021). Paraprobiyotikler, postbiyotikler ve sağlık üzerine etkileri,  
448 *Gıda*, 46(2), 428-442 doi.org/10.15237/gida.GD20141  
449
- 450 Ürkek, B., & Taş, A. (2021). Üniversite öğrencilerinin fermente süt ürünleri tüketim alışkanlıklarının istatistiksel  
451 analizi. *Aydın Gastronomy*, 5(2), 91-103. doi.org/0000-0002-7909-7364  
452
- 453 Vatanparast, H., Islam, N., Patil, R. P., Shamloo, A., Keshavarz, P., Smith, J., & Whiting, S. (2019). Consumption of  
454 yogurt in Canada and its contribution to nutrient intake and diet quality among Canadians. *Nutrients*, 11(6), 1203.  
455 doi.org/10.3390/nu11061203  
456
- 457 Vijaya Kumar, B. V., Vijayendra, S. V. N., & Reddy, O. V. S. (2015). Trends in dairy and non-dairy probiotic products-  
458 a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6112-6124. doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2  
459
- 460 Wang, H., Livingston, K. A., Fox, C. S., Meigs, J. B., & Jacques, P. F. (2013). Yogurt consumption is associated with  
461 better diet quality and metabolic profile in American men and women. *Nutrition Research*, 33(1), 18-26.  
462 doi.org/10.1016/j.nutres.2012.11.009  
463
- 464 Yalçın, M., & Argun, M. Ş. (2017). Bitlis Eren Üniversitesi Sağlık Yüksekokulu öğrencilerinin süt ve süt ürünleri tüketim  
465 alışkanlıklarının ve etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 51-60.  
466 doi.org/10.17798/bitlisfen.305219  
467
- 468 Yılmaz, L. (2006). *Yoğurt benzeri fermente süt ürünleri üretiminde farklı probiyotik kültür kombinasyonlarının kullanımı.*  
469 [Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].  
470

- 471 Yurttaş, M., & Yılmaz, A. (2017). Sağlık yüksekokulu öğrencilerinin probiyotik ürünler hakkında bilgi düzeyinin ve  
472 tüketim durumunun belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(2), 64-69.



## Exploring the utilization potential of kaolin in the Balıkesir Sındırgı region

*Balıkesir Sındırgı bölgesi kaolinlerinin kullanım potansiyellerinin incelenmesi*

İlker ERKAN<sup>\*1</sup> , İbrahim ALP<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

• Received: 14.09.2023

• Accepted: 18.10.2023

### Abstract

Natural kaolins may contain some metal cations ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ) and anions such as carbonate, phosphate, and sulfate as impurities, depending on the formation conditions. The kaolins of Türkiye generally give a high-quality white color after firing due to their low  $Fe_2O_3$  content. Unfortunately, Türkiye's kaolin deposits generally contain high levels of  $SO_3$ . Since the alunite mineral, which is the source of  $SO_3$ , cannot be removed from the structure by known methods, kaolins containing alunite can only be used in the white cement sector. In this study, the suitability of the kaolins of the Balıkesir Sındırgı region, which has a large part of the kaolin reserves of Türkiye, to the areas of use where kaolin is mostly used in its current state has been investigated, and the samples obtained from the region have been examined in which areas of use they are suitable for use in raw form, and suggestions have been made about the enrichment methods to be carried out by comparing with the studies in the literature.

**Keywords:** Alunite, Enrichment, Kaolin, Removal

### Öz

Kaolinler, jeolojik oluşum süreçlerine ve koşullarına bağlı olarak safsızlık olarak metal katyonları ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ) ve anyonlar (karbonat, fosfat ve sülfat gibi) içerebilirler. Genellikle düşük olan  $Fe_2O_3$  içeriği sayesinde Türkiye'deki kaolinler pişirildikten sonra yüksek beyazlığa sahip olmaktadır. Ancak Türkiye kaolin yataklarının büyük bir bölümünde kükürt içerikleri yüksektir.  $SO_3$  kaynağı olan alunit mineralinin bilinen yöntemlerle bünyeden uzaklaştırılmaması nedeniyle alunit içeren kaolinler sadece beyaz çimento sektöründe kullanılabilir. Bu çalışmada Türkiye kaolin rezervinin büyük bir kısmına sahip olan Balıkesir Sındırgı bölgesi kaolinlerinin mevcut halleri ile kaolinin en fazla kullanıldığı kullanım alanlarına uygunluğu araştırılmış ve bölgeden temin edilen örneklerin ham olarak hangi alanlarda kullanıma uygun olduğu incelenmiş ve literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslanarak yapılması gereken zenginleştirme yöntemleri ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Alunit, Zenginleştirme, Kaolin, Uzaklaştırma

\* İlker ERKAN; ilkererkan@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Kaolin is the name given to a group of clay minerals within the classification of clay minerals. Kaolinite ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) is known as the most important mineral of the group, and halloysite, nacrite, and dickite are the other minerals of the group. Kaolinite is a clay mineral with a hydro silicate aluminum composition (Demirbilek, 2007). The term kaolin refers to kaolin types and kaolinitic clays formed in various crystal structures (DPT, 1995). The kaolin clay group, the main mineral of which is kaolinite, is formed as a result of the decomposition of feldspar-rich igneous rocks. Kaolin was first discovered by a Chinese named "Kau-Ling" in the Jiangxi region of China in 3000 BC, and the name of the discoverer was given as the name of the rock (Ece & Yuce, 1999). In many sources in the literature, clay and kaolin are used interchangeably.

Kaolin is defined as a soft clay with a grain size smaller than 2  $\mu\text{m}$ , white color, plasticity, and softness. Kaolin has a density of 2.62  $\text{g}/\text{cm}^3$  and a hardness value of 1.5-2 according to Mohs hardness. The compounds sought and desired in the chemical analysis of kaolin are:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , and  $\text{Na}_2\text{O}$ . The amounts of compounds and their mineralogical, physical, and chemical properties play an important role in the classification of kaolin. An ideal kaolin consists of 46.5%  $\text{SiO}_2$ , 39.5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and 14%  $\text{H}_2\text{O}$ . However, in cases where aluminum, which is the most important element and the main constituent, is reduced, low amounts of iron, sulfur, and potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ ) enter the structure. The presence of  $\text{K}_2\text{O}$  indicates the presence of some alunite, which is undesirable because it causes an increase in the superheat loss in heat treatment (Ece & Yüce, 1999; Güneş et al., 2009).

Kaolin is also a unique raw material due to its chemical properties. The plasticity feature, which is especially preferred in the ceramic industry, is a feature that is not found in any other mineral.

### 1.1. Usage areas of kaolins

Approximately 36 million metric tons of kaolin are produced annually around the world. Kaolin is an important raw material with many uses depending on its physical and chemical properties. Kaolin can be used in many industrial fields according to its whiteness, brightness, viscosity, film strength, degree of crystallization, and hiding power. The usage areas of kaolin can be listed as the paper industry, ceramics, paint, and plastics. In addition to these areas, it is used in ink production because it provides gloss preservation, in the tire industry because it has a cost-reducing and strengthening effect, in glass fiber production because it provides heat insulation, and in the production of plastics because it increases strength. It is also used in water-based adhesives due to its ability to increase fluidity, in the production of automobile and metal polishers for cleaning oxidized surfaces, in the production of toothpaste and in the production of some drugs due to its absorption properties. It is also important for the ceramic and paper industries, as it is the basic raw material for these fields.

The kaolin produced in Turkey is mostly (80%) consumed in the cement industry. The remaining 20% of the kaolin produced is consumed in ceramics, glass, paper, and other sectors. When the ratios according to the consumption sectors are analyzed, it is understood that kaolin produced in Turkey is consumed in its raw form without any processing. In Europe and America, on the other hand, 75% of the kaolin produced in raw form is used in facilities to produce paper and fine ceramics. This fact makes it obvious that the paper and kaolin industries are very developed in these countries (Güneş et al., 2009). Kaolin is the most preferred raw material after cellulose because it can be used as filler in the paper industry and in the production of glossy paper. While quartz mineral is not desired in kaolin to be used in the paper industry, kaolinite mineral with 90-100% purity is sought. In addition, the brightness should be at least 85%, and the 80% of the grain size should be less than 2 $\mu\text{m}$  and the Brookfield viscosity value should be less than 7000 cps. Kaolin regulates paper appearance properties such as gloss, smoothness, and lightfastness. Iron oxide and titanium oxide minerals are the impurities that reduce the brightness of kaolin the most (Çiftlik, 2010). The chemical properties required for kaolin used as filler and coating in the paper industry are shown in Table 1 (Çiftlik, 2010; DPT, 2001).

The kaolin to be used in the ceramic industry is required to be dispersible in water, to have good plastic properties and low firing shrinkage, and to have a white color after firing. The most consumed areas of kaolin in the ceramic industry are porcelain, refractory and coating bricks, sanitary installations, wall tiles, and insulators. Since pure kaolin melts at 1760 °C, it is preferred that the kaolin to be used in this sector contain

75-80% kaolinite minerals. Also, white firing color, high resistance to abrasion, low viscosity, and very low Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> ratios are desired in these kaolins (Table 2) (DPT, 2001).

**Table 1.** Chemical properties of kaolin used in paper industry (DPT, 2001)

Compound	Filler kaolin (%)	Coating kaolin (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24-41	34-41
SiO <sub>2</sub>		45
CaO		<1
MgO		<1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		<0.5
SO <sub>3</sub>		Max 1
Whiteness		>80
Wear loss	50 mg	15 mg

**Table 2.** Kaolin standard used in ceramic industry (DPT, 2001)

Compound	%
SiO <sub>2</sub>	59.5-73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.0-28.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-1.0
TiO <sub>2</sub>	0.3-0.4
CaO	0.1-0.2
MgO	0.1-0.2
K <sub>2</sub> O	0.1-0.3
Na <sub>2</sub> O	0.1-0.3
Whiteness	88-90
SO <sub>3</sub>	Max 0.2

Calcined and non-laminated kaolin with a mineral structure is used with ground calcite powder, titanium oxide, and talc in water-based interior plastic and latex paints, exterior paints, and oil-based paints, especially industrial paints. In semi-gloss and glossy water-based paints, 98% of kaolins larger than 2 µm are used, while these paints contain between 50% and 70% pigment. In latex paints, the kaolins used should provide good coverage and have refractive index values close to the refractive indices of the binders used in paint production (>1.50) (Tunçay, 2006). The chemical content values that kaolins to be used in the paint industry should provide are shown in Table 3 (Çiftlik, 2010).

**Table 3.** Chemical properties of kaolin used in paint industry (DPT, 2001)

Compound	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Min 38.8
SiO <sub>2</sub>	Max 45.2
TiO <sub>2</sub>	0.6-1.7
CaO	Max 0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3-0.9
MgO	0.03-0.05
Na <sub>2</sub> O	0.05-0.3
K <sub>2</sub> O	0.05-0.2
Brightness	79-82

Kaolin is widely used in the cement industry, and 30% of the total raw ore produced in Turkey is consumed in this field. The chemical content values that kaolin to be used in the cement industry should provide are shown in Table 4 (Çiftlik, 2010).

**Table 4.** Kaolin standards used in cement industry (DPT, 2001).

Compound	%
SiO <sub>2</sub>	51-67.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22-29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Max 0.4
TiO <sub>2</sub>	0.4-0.5
CaO	Max 0.1
MgO	Max 0.1
K <sub>2</sub> O	0.5-2.0
Na <sub>2</sub> O	0.3-0.4
SO <sub>3</sub>	Max 1

## 1.2. Status of kaolin in Türkiye

Since the kaolin deposits in Türkiye have similar geological formation structures, almost all of them are of hydrothermal origin. According to the studies carried out by the General Directorate of The Institute of Mineral Research and Exploration (M.T.A.), the kaolin reserves of Türkiye are over 100 million metric tons, but the amount of operable reserves is around 36 million metric tons. The distribution of Türkiye's kaolin reserves according to their locations is shown in Table 5.

**Table 5.** Kaolin deposits, grade, usage areas and reserves of Türkiye (DPT, 2001).

Location	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Usage area	Reserve (proved+ estimated) (Tons)	Mineable reserve (proved) (x1000 Ton)
Balıkesir-Sındırgı	13-33	Fine ceramic, tile, refractory, paper	70000000	25000
Balıkesir-Ayvalık	15-32	Ceramic and tile, glazed tile	1000000	500
Balıkesir-İvrindi	20-31	Fine ceramic and tile, glazed tile	970000	500
Balıkesir-Gönen	23-28	Ceramic	150000	50
Çanakkale-Çan	17-35	Ceramic and refractory	5000000	2000
Bursa-Kemalpaşa	20-24	Paper	1000000	1000
İstanbul-Arnavutköy	15-35	Refractory	800000	-
Eskişehir-Mihalıççık	20-33	Ceramic and tile, glazed tile	3330380	1000
Bilecik-Söğüt	15-23	Ceramic	1000000	500
Kütahya-Gevrekseydi	20-24	Paper	724924	200
Kütahya-Altıntaş	20-31	Ceramic, tile, glazed tile, paper	1206000	500
Kütahya-Emet	20-30	Ceramic, tile, glazed tile	1070286	100
Kütahya-Simav	20-24	Ceramic, tile, glazed tile	370000	100
Uşak-Karaçayır	11-21	Ceramic, tile, glazed tile	800000	500
Kayseri-Felahiye	23-34	Ceramic and refractory	450000	20
Konya-Sağlık	15-30	Tile, glazed tile, ceramic	607000	100
Nevşehir-Avanos	18-33	Ceramic, electro porcelain, tile	1277000	100
Niğde-Aksaray	15-32	Tile, glazed tile, paper	1500000	1000
Trabzon-Araklı, Arsin	14-23	Tile, glazed tile	200000	50
Rize-Ardeşen, Fındıklı	14-23	Tile, glazed tile	275000	50
Giresun-Bulancak	12-24	Tile, glazed tile	7785000	2000
Ordu-Ulubey	17-23	Paper	730000	100
Others				700
Total			100245590	36020

Sındırgı district of Balıkesir is the region with the largest known hydrothermal kaolin deposits in Turkey. The kaolin deposits in this region are endogenous, volcano-sedimentary deposits were formed as a result of hydrothermal alterations. This region is also important because it contains kaolin with alunite, which is undesirable in kaolins used in the ceramic industry due to the outgassing and alkaline sulfate evaporation occurring in the firing of Sındırgı kaolins at high temperatures, and porous structures, cracked structures, and

fractures that occur in ceramics caused by a noncompleted sintering process. The kaolin (+/- alunite) formations here were formed as a result of hydrothermal alteration of rhyolite-riodacite tuffs. These tuffs consist of alkali feldspar, quartz, biotite, and muscovite minerals, and pumice fragments.

Sulfur and iron contents in the alunitic kaolins in this region are the most important impurities that deteriorate the raw material's quality. According to the grain size distribution and grain size range, when the iron and sulfur contents are taken into consideration, it has been determined that iron accumulates in coarse grain sizes and sulfur accumulates in fine grain sizes; therefore, alunite grains are found in fine grain sizes together with kaolinite (Demirtaş, 2011).

The fact that the kaolin reserves in our country cannot be used in the required areas for such reasons also has an impact on the national economy. For this reason, the import and export data of kaolin obtained from the Turkish Statistical Institute for Turkey have been analyzed in detail and shown in Table 6 (TUİK, 2020).

**Table 6.** Kaolin import and export data of Türkiye (organized from TUİK, 2020)

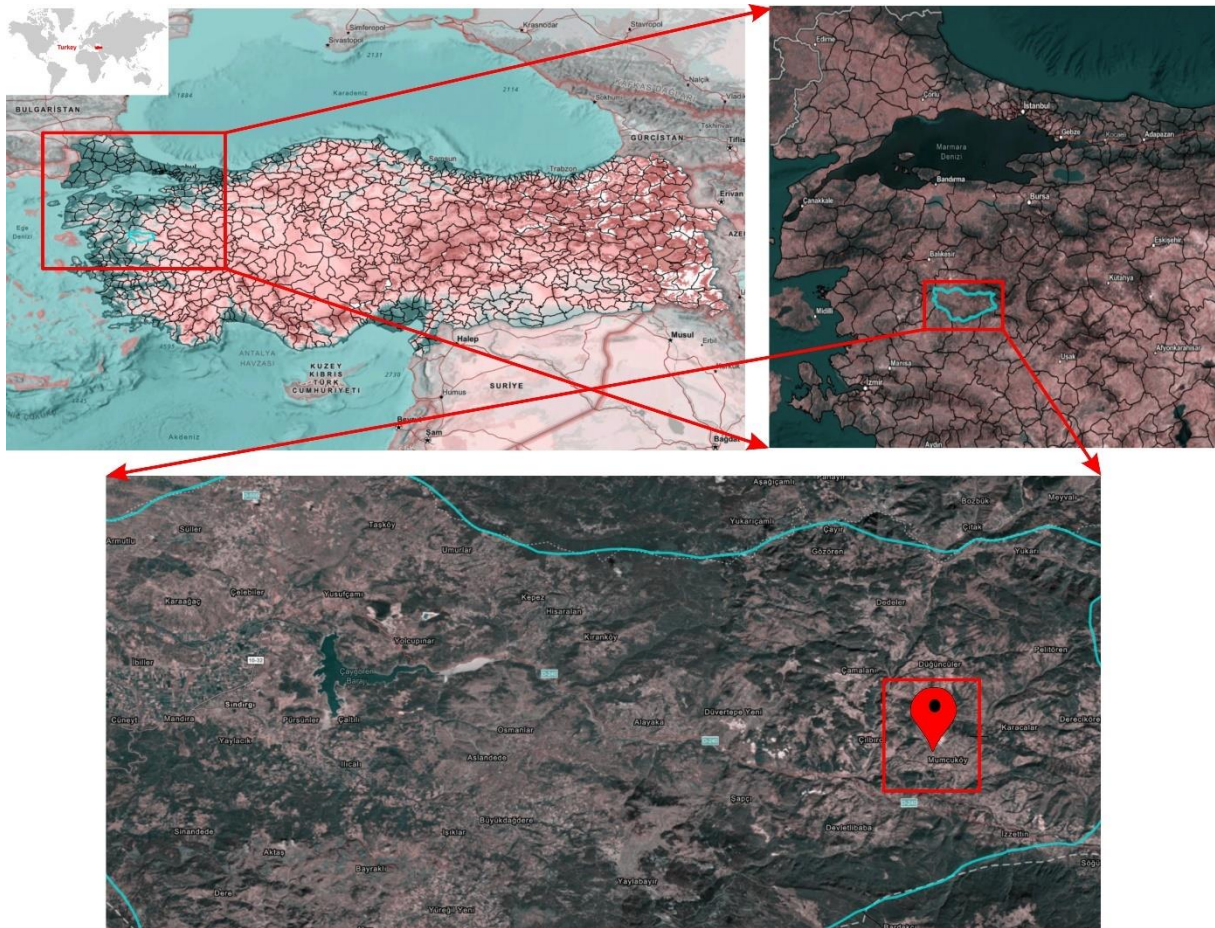
	Product name	Import		Export	
		Amount, kg	Dollar, \$	Amount, kg	Dollar, \$
2016	Kaolin; raw	183404647	14619349	34398136	1010578
	Kaolin; other	128728204	25454798	328054	91940
	Raw clays with kaolin	28363824	3540337	32442530	1052562
	Grounded kaolin clays	15915626	4028311	225103	105145
	<b>Total</b>	<b>356412301</b>	<b>47642795</b>	<b>67393823</b>	<b>2260225</b>
2017	Kaolin; raw	183172762	14969289	122035725	3384078
	Kaolin; other	170748066	31850972	497416	273715
	Raw clays with kaolin	22112094	2684761	19032038	651607
	Grounded kaolin clays	19625262	4062608	126891	52796
	<b>Total</b>	<b>395658184</b>	<b>53567630</b>	<b>141692070</b>	<b>4362196</b>
2018	Kaolin; raw	197013959	19867635	89885972	2775026
	Kaolin; other	134959313	27840715	501579	260337
	Raw clays with kaolin	31049679	3834970	1115275	122497
	Grounded kaolin clays	18673180	3865921	123802	45718
	<b>Total</b>	<b>381696131</b>	<b>55409241</b>	<b>91626628</b>	<b>3203578</b>
2019	Kaolin; raw	155152367	15572422	189498562	5090890
	Kaolin; other	104225122	22946331	525697	27375
	Raw clays with kaolin	18505356	2508130	750085	176399
	Grounded kaolin clays	16793926	3377944	197741	81403
	<b>Total</b>	<b>294676771</b>	<b>44404827</b>	<b>190972085</b>	<b>5622442</b>

According to these data, the difference between the foreign exchange spent for the import of kaolin and kaolin-containing clays and the foreign exchange earned from exported products is clearly visible between 2016 and 2019. The point to be noted here is that most of the income obtained from exports is obtained from the unprocessed raw form of kaolin.

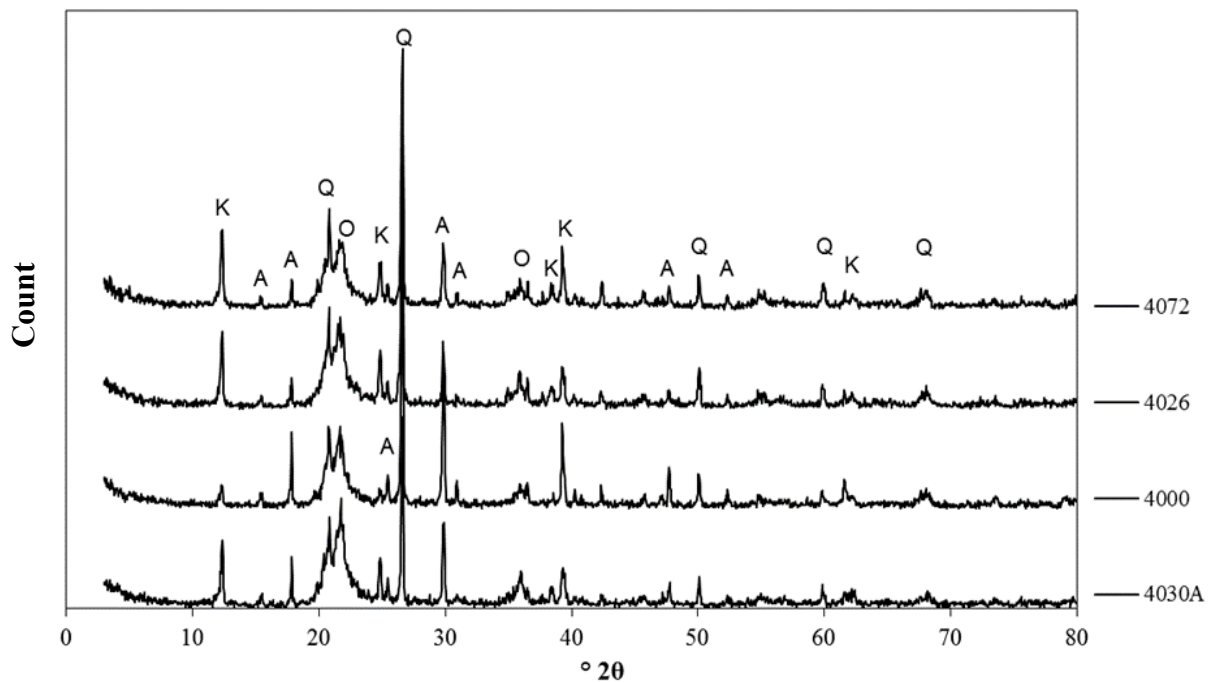
## 2. Characterization and identification of kaolin samples

In order to investigate the suitability of four different raw kaolin samples obtained from the Balıkesir Sındırgı region. Geographic information systems are very effective sources for geo-location maps (Yılmaz & Günen, 2023). The geo-location map prepared with QGIS open-source software is shown in Figure 1. For the areas where kaolin is most commonly used, a series of characterization studies were carried out to clearly understand the structure of these samples. In the density determination studies, the average density of the samples was determined to be  $2.45 \text{ g/cm}^3$ , and this value suggested that there is a mineral with a lower density than kaolinite in the structure. X-ray diffractometer (XRD) analyses of the samples (Figure 2) showed the presence of opal ( $2.09 \text{ g/cm}^3$ ) together with kaolinite ( $2.75 \text{ g/cm}^3$ ), alunite ( $2.74 \text{ g/cm}^3$ ), and quartz ( $2.65 \text{ g/cm}^3$ ), and it was concluded that the reason for the low density measured was the presence of opal.





**Figure 1.** Site location map of the obtained samples



**Figure 2.** XRD graphs of raw samples (K: kaolin; Q: quartz; A: alunite; O: opal)

XRD analyses were carried out on a RigakuD/max-IIIIC XRD in a measurement range of  $3\text{--}80^\circ 2\theta$ , with reading steps of  $0.02^\circ 2\theta$  at a measuring speed of  $3^\circ/\text{min}$  and in a  $\text{CuK}\alpha$  ( $1.54\text{\AA}$ ) radiation medium. The analyses determined that the samples generally contain kaolinite, quartz, opal, and alunite minerals. Since the densities of kaolinite ( $\sim 2.75\text{ g/cm}^3$ ), quartz ( $\sim 2.65\text{ g/cm}^3$ ), and alunite ( $\sim 2.74\text{ g/cm}^3$ ) minerals are close to each other, it



is thought that the presence of opal detected in the structure causes the measured average density of the samples ( $2.45 \text{ g/cm}^3$ ) to be low due to the low density of opal ( $\sim 2.09 \text{ g/cm}^3$ ).

In the literature studies on the region, it was revealed by XRD studies that kaolins in Balıkesir-Sındırgı region have similar mineral contents (Yılmaz, 2008; Ekinci, 2009; Demirtaş, 2011; Tatar, 2012).

In the XRD graphs obtained (Figure 1) for the alunite mineral,  $4.95 \text{ \AA}$  ( $17.8^\circ 2\Theta$ ),  $3.48 \text{ \AA}$  ( $25.5^\circ 2\Theta$ ),  $2.98 \text{ \AA}$  ( $29.8^\circ 2\Theta$ ),  $1.89 \text{ \AA}$  ( $47.7^\circ 2\Theta$ ) peaks for the alunite mineral,  $7.2 \text{ \AA}$  ( $12.34^\circ 2\Theta$ ),  $3.57 \text{ \AA}$  ( $24.8^\circ 2\Theta$ ),  $2.34 \text{ \AA}$  ( $38.36^\circ 2\Theta$ ) peaks for the kaolinite mineral, peaks of  $4.26 \text{ \AA}$  ( $20.83^\circ 2\Theta$ ),  $3.35 \text{ \AA}$  ( $26.6^\circ 2\Theta$ ),  $1.82 \text{ \AA}$  ( $50.1^\circ 2\Theta$ ),  $1.54 \text{ \AA}$  ( $59.87^\circ 2\Theta$ ) are characteristic for the quartz mineral, and peaks of  $4.05 \text{ \AA}$  ( $21.745^\circ 2\Theta$ ),  $2.48 \text{ \AA}$  ( $36^\circ 2\Theta$ ) for the opal mineral.

XRD results showed that the samples are kaolinite-containing alunite minerals. Literature studies also confirm this finding (Ekmekçi et al., 2001; Özdemir & Çetişli, 2005b; Yılmaz, 2008; Ekinci, 2009; Demirtaş, 2011; Tatar, 2012). The quartz mineral is dominant in all of the samples. In addition to quartz minerals, opal, another  $\text{SiO}_2$  source, is also observed in the analyses. Quartz, which is the most abundant mineral in each sample, is most abundant in sample 4026 and least abundant in sample 4000. In the other two samples, quartz is found in close ratios to each other. Among the samples, the one containing the most alunite mineral was the sample named 4000, while the one containing the least alunite mineral was the sample named 4026. The sample named 4030A contained the second highest amount of alunite mineral. The richest sample in terms of kaolinite mineral content was sample 4072, and the poorest sample was sample 4000. Sample 4030A was the second-poorest sample in terms of kaolinite.

Chemical analyses were also carried out to determine the basic oxide compounds and superheat losses (LOI) of the samples. Chemical analyses were carried out by the X-ray fluorescence method (XRF), and the results are shown in Table 7.

**Table 7.** Results of chemical analyses of raw samples

Sample code	%									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	<b>K.K.</b>
<b>4000</b>	65.2	13.93	1.04	0.11	0.03	0.07	2.74	0.23	9.189	15.96
<b>4026</b>	72.8	14.89	0.24	0.11	0.03	0.05	1.05	0.29	3.546	9.98
<b>4030-A</b>	70.0	15.02	0.47	0.12	0.03	0.05	1.48	0.30	4.869	11.59
<b>4072</b>	68.7	16.91	0.66	0.13	0.05	0.05	1.39	0.30	4.469	11.67

According to the results of the chemical analyses (Table 7), in which the basic oxide compounds and glow losses (LOI) of the samples were determined, the  $\text{SO}_3$  and  $\text{K}_2\text{O}$  compounds observed in the samples are obvious indicators of the alunite structure. XRD analysis results also show that the amounts of  $\text{SO}_3$  and  $\text{K}_2\text{O}$  compounds observed in the chemical analysis results coincide with the amounts of alunite. The presence of  $\text{K}_2\text{O}$  here may also be due to K-feldspar, which is present in small amounts in the structure (Ece & Ekinci, 2009).

Since the region where kaolin samples were obtained is a region formed as a result of volcano-sedimentation and consists of rhyodacitic and dacitic rocks, K-feldspar and plagioclase minerals are dominant. Geological studies conducted in the region also support the presence of the mentioned minerals. According to Ece & Ekinci (2009), who cited Akdeniz & Konak (1979) in their study, the area is known as the Akdağ Volcanics and Civanada Tuffs, and these volcanites are made up of lavas with the mineralogical compositions of rhyolite, dacite, rhyodacite, and andesite. In addition, Ekinci (2009), quoting Oygür (1997), stated that the epithermal mineralization in Mumcu (Balıkesir-Sındırgı) developed on faults cutting the Simav Graben vertically between Palaeozoic-aged metamorphics and Miocene-aged andesitic volcanics, and Elmacı (1989) stated that the Balıkesir-Sındırgı-Düvertepe region consists of Mesozoic-aged complex series from bottom to ceiling. He stated that it consists of Cenozoic aged basal tuff, basal opal, kaolin, ceiling opal, dacite tuff, clayey limestone-tuff, sandy kaolin, opal, pumice rhyolitic tuff, glassy rhyolitic lava, and rhyolite lava units.

Accordingly, the sources of  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , and  $\text{Na}_2\text{O}$  compounds seen in chemical analyses are thought to be orthoclase, albite, biotite, and hornblende, which are members of these mineral groups.

In addition, the presence of quartz and opal was also revealed in the mentioned studies. These minerals are the main sources of SiO<sub>2</sub> seen in the analyses. However, SiO<sub>2</sub> is also present in the structure of many minerals. Among these, kaolinite and K-feldspar are the most basic minerals found in the samples. The high silica contents in the samples may be due to quartz, opal, K-feldspar, and non-kaolin clay minerals, or other non-clay minerals.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> observed in the analyses indicates alunite, kaolinite, and K-feldspar structures. In most of the different studies in the literature, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content indicates iron minerals, which are frequently found with kaolin (Veglio et al., 1993; Veglio et al., 1996; Veglio 1997; Veglio et al., 1998; Ambikadevi & Lalithambika, 2000; Saikia et al., 2003; Calderon et al., 2005; Lee et al., 2006; Arslan & Bayat, 2009; Ciftlik, 2010), while iron minerals are not observed in any of the chemically analyzed samples. Bayraktar et al. (1999), stated in a study that the source of iron in alunitic kaolins of Balıkesir region is iron hydroxide plastered on the surfaces of goethite and kaolin grains (Bayraktar et al., 1999). In addition, Ece & Ekinici (2009) reported that jarosite, goethite, and Fe-hydroxyls were found as iron sources in the mineralogical composition of Sındırgı-Düvertepe kaolins. They determined that kaolinite, quartz, and alunite were the main minerals in the XRD analyses they applied to the kaolins obtained from the region, but they did not find any indication of iron minerals in the XRD analyses. This indicates that the amounts of iron minerals are too small to be seen in XRD analyses. In another study conducted with kaolins from Sındırgı region, Oygür (1997) mentioned the presence of biotite as a source of iron minerals. These findings also confirm the low Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of the samples in the chemical analyzes given in Table 7.

Analysis of the glow loss values reveals that they are parallel to the SO<sub>3</sub> values; the glow loss is higher in samples with higher SO<sub>3</sub> contents than it is in samples with lower SO<sub>3</sub> contents. The reason for this is that the glow loss measurement is performed above the decomposition temperature of SO<sub>3</sub> in the structure, and when these temperatures are reached, there is a loss due to the removal of SO<sub>2</sub> from the structure in the form of gas. In addition, the H<sub>2</sub>O content in the structure is another factor affecting the glow loss values.

When compared with kaolins found in other regions of our country, it is seen that the alunite kaolins found in the Bursa-Mustafakemalpaşa region have similar SO<sub>3</sub> contents, but when the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents of the kaolins in the same region are taken into consideration, it is seen that they are very poor in terms of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents, and conversely, they are very rich in terms of SiO<sub>2</sub> contents (Özdemir & Çetişli, 2005a). However, these kaolins need to go through enrichment stages in order to be used in ceramic production. It has been determined that the properties of kaolins found in Afyon Alayurt are similar to those of kaolins obtained from Balıkesir Sındırgı region in terms of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents, but the SO<sub>3</sub> content of kaolins in Afyon region is very low (Celik, 2010). Istanbul's Şile region has lower SiO<sub>2</sub> and higher Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents than the kaolins from the Afyon region. SO<sub>3</sub> contents do not differ. It is stated that both kaolin samples are suitable for use in ceramic production (Celik, 2010).

When compared with kaolins used in the ceramic sector and in great demand in the sector, it is seen that the SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratios of kaolins from Bulgaria, England (Bauer & Berger, 1998) and Ukraine (Eygi, 2009) are very close to the ideal ratio of 1.18, and they do not contain both coloring and polluting compounds such as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SO<sub>3</sub>. It becomes obvious that enrichment of the samples collected from the Balıkesir Sındırgı region is required when compared with kaolins, which can be used in different areas according to their chemical contents and mineral compositions.

### 3. Literature review

The enrichment of alunitic kaolins can be grouped under four main headings, considering the literature.

Some researchers tried to separate alunite from kaolin using physical methods such as washing-dispersion, magnetic separation, and hydrocyclone enrichment, but they were not successful with these methods (Sayın, 1995; Yapa, 1993; Day, 1996; Day & Toroğlu, 1997; İpekoğlu & Kurşun, 1999; Erkan, 2002). On the other hand, coarse quartz and iron with magnetic properties can be removed by using these methods. İpekoğlu & Kurşun (1999) first mechanically dispersed Çanakkale Tepeköy Dumanlı kaolins and then tried to enrich them with hydrocyclones. In this way, the SiO<sub>2</sub> content was reduced from 60.72% to 47.6%.

In another method of beneficiation based on physico-chemical properties, flotation, flocculation, or both methods are used. [Koca & Koca \(2000\)](#) tried to remove alunite from kaolin ore by flotation using a carrier mineral (calcite). They obtained kaolin concentrate with 1.03% SO<sub>3</sub> content from kaolin ore with 8.03% SO<sub>3</sub> content and 57.95% kaolin yield. [Ustuer & Gürgey \(1975\)](#) tried to remove alunite from artificially formed alunite and kaolin minerals by selective flocculation. As a result, they obtained concentrates with 5.13% SO<sub>3</sub> content after 1<sup>st</sup> selective flocculation, 1.01% SO<sub>3</sub> content after 2<sup>nd</sup> selective flocculation, and 0.19% SO<sub>3</sub> content after 3<sup>rd</sup> selective flocculation from alunite clays with 21.68% SO<sub>3</sub> content. [Yapa \(1993\)](#) tried to recover Balıkesir-Bağkiran, Çanakkale-Sarıbeyli and Bursa-Mustafakemalpaşa alunitic kaolins by flotation method using sodium oleate and obtained concentrates with 0.22%, 0.36%, and 1.99% SO<sub>3</sub> content with kaolin yields of 73.7%, 66%, and 28.6%, respectively. Apart from these, some researchers have tried to remove alunite from kaolin by using flotation and selective flocculation together ([Koca & Özdağ, 1994](#); [Abdel-Khalek et al., 1996](#); [Gebhardt, et al., 1998](#); [Tatar, 2012](#)).

[Veglio et al.](#) aimed to remove iron content from kaolin ores using sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and various organic acids ([Veglio et al., 1993](#); [Veglio et al., 1996](#); [Veglio 1997](#); [Veglio et al., 1998](#)). They also examined the effect of experimental parameters and obtained iron removal efficiencies up to 98%. Many researchers have also investigated the effects of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and organic acids on the removal of iron content from kaolin ore ([Ambikadevi & Lalithambika, 2000](#); [Saikia et al., 2003](#); [Calderon et al., 2005](#); [Lee et al., 2006](#)). [Arslan & Bayat \(2009\)](#) used oxalic acid for the removal of iron from kaolin and also investigated the effect of solid-liquid ratio, temperature, and acid concentration parameters on iron solubility. As a result of the experiments, they determined that temperature and solid-liquid ratio were effective parameters. In the chemical dissolution experiments carried out under optimum conditions, they determined the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> removal efficiency to be 94.89%. [Çiftlik \(2010\)](#) aimed to remove iron from kaolin by using one-stage oxalic acid and two-stage sulfuric acid + oxalic acid dissolution methods. As a result of the study, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> removal was determined to be 35.51% as a result of one-stage dissolution, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> removal was determined to be 36.95% as a result of two-stage dissolution.

Although dissolution processes using acids are generally used to remove the iron content in kaolin ore, there are also studies using acids to obtain aluminum from alunite ([Nazarov et al., 2001](#); [Özdemir & Çetişli, 2005a](#)). [Özdemir & Çetişli \(2005a\)](#) aimed to obtain Al from alunite ore by using acids such as H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at concentrations of 0.25-3M and hydrochloric acid (HCl) at concentrations of 0.5-0.6M in alunite ore calcined at different times and temperatures. Accordingly, the highest Al dissolution yields of 85% for H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 83% for HCl were obtained at 95 °C dissolution temperature, 1.5M acid concentration for H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> or 3M acid concentration for HCl, 76 µm average grain size, and 60 min at 650°C calcination temperature. Acids are also used to obtain aluminum from alunite as well as kaolin ore ([Al-Zahrani & Abdul-Majid, 2009](#); [Carroll & Starkey, 1971](#)).

[Ekmekçi et al. \(2001\)](#) aimed to remove sulfate from the alunite kaolin structure by using sodium carbonate (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). They were able to reduce the 1.53% SO<sub>3</sub> content to 0.75% in their dissolution studies at pH 12-13 at 60-65 °C temperatures. [Luo et al. \(2017a\)](#) aimed to dissolve alunite using potassium hydroxide (KOH) from flotation process waste containing kaolinite, alunite, dickite, and quartz. As a result of the study, all of the alunite in the flotation process wastes could be removed without damaging other minerals during dissolution at 90 °C for 30 minutes at a concentration of 13.5M KOH. In another study by [Luo et al. \(2017b\)](#), it was aimed to obtain potassium and aluminum from alunite wastes with an average grain size of 37.25 microns (µm) using KOH. As a result of their optimization studies, they reported that 99.5% of potassium, 84% of aluminum, and 5.6% of silicon could be dissolved at a solvent-solid ratio of 3.3% by mass, a temperature of 81.3 °C, 41.6 minutes, and a KOH concentration of 53.9% by weight, while other minerals, kaolinite and quartz, remained in the structure ([Luo et al., 2017b](#)).

Another method frequently used in the enrichment of alunitic kaolins is thermo-chemical. In these methods, alunitic kaolins are first heat treated, and then sulfate is removed by dissolution. [Girgin et al. \(1993\)](#) heat-treated alunitic kaolins with Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and sodium chloride (NaCl) in order to reduce the SO<sub>3</sub> content of alunitic kaolins with high SO<sub>3</sub> content and then dissolved them with water. After roasting at 600 °C, they obtained a concentrate with 0.48% SO<sub>3</sub> content from kaolin ore with 7.15% SO<sub>3</sub> content. As a result of a study conducted in our country on Balıkesir-Mustafa Kemal Paşa alunite kaolin with 12.73% SO<sub>3</sub> content, it was claimed that the calcined product with 2.14% SO<sub>3</sub> content obtained at 900 °C could be used in the ceramic industry ([Sümer, 1991](#)). [Ekmekçi et al. \(2001\)](#) first enriched İvrindi alunite kaolin with 1.14% SO<sub>3</sub> content with a hydrocyclone to reduce the iron content and obtained a product with 1.53% SO<sub>3</sub> content, and then after flotation tests they obtained a product with 1.06% SO<sub>3</sub> content. They obtained concentrates with 1.04% SO<sub>3</sub> content after

dissolution with sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) at 60-65 °C, 0.75%  $\text{SO}_3$  content after dissolution with sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) at 60-65 °C and 0.48%  $\text{SO}_3$  content after roasting at 1000°C. In a study by Genç (1994), the usability of kaolin with alunite as a raw material in the ceramic and refractory industries was investigated. For this purpose, he subjected alunite kaolin + salt mixtures to heat treatment at 500-900 °C temperature ranges, dissolved the products degraded as a result of heat treatment in hot water, and tried to take all the sulfate in the structure into solution as potassium sulfate and sodium sulfate. Thus, they obtained a calcination product with 1-1.5%  $\text{SO}_3$  content. Alpar et al. (1973) conducted ceramic test studies on the calcined product as a result of the calcination of clays containing alunite at 800 °C.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , potassium sulfate ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), and ammonium sulfate ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) were chemically produced as a result of thermally treating alunite at 500–600 °C. Hoşgün et al. (1997) examined the dissolution kinetics of kaolin under acidic and alkaline conditions and found that 94% of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  was dissolved from kaolin treated with 10M HCl for 5 hours after calcining at 750 °C.

Alpar et al. (1973) used water dissolution, sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodium phosphate ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  to remove sulfate from İvrindi kaolin within the scope of a research project, and as a result, they found that water could not be used for sulfate removal. They found that  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  at 5% concentration provided 57.5%  $\text{SO}_3$  removal at 80 °C,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  at 5% concentration provided 56.9%  $\text{SO}_3$  removal, and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  at 5% concentration provided 63.2%  $\text{SO}_3$  removal. The researchers also obtained 56.1%  $\text{SO}_3$  removal efficiency in their experiments using  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . They also carried out roasting experiments at 800 °C and found that the  $\text{SO}_3$  content decreased to 0.26%, but the structure of kaolin deteriorated during this process.

Özdemir (1995), removed sulfate by 95% and reduced the sulfate content below 1% by dissolving the products obtained as a result of the thermal degradation of alunite kaolin ore at 700 °C using KOH and potassium chloride (KCl) in water at 75 °C. A similar study was conducted by Çetişli et al. (1993).

In his study, Yılmaz (2008) applied thermal treatments using NaCl and KCl salts at 600-1000 °C using alunite kaolin with 9.45%  $\text{SO}_3$  content. As a result, kaolin with 0.28%  $\text{SO}_3$  content was obtained by thermal degradation at 1000 °C. However, in all of the heat treatment methods, a meta-kaolinite phase was formed, which negatively affected the casting properties. Therefore, the use of these methods has negative consequences for the ceramic industry. Özdemir & Çetişli (2005b) aimed to remove sulfate from kaolin by mixing kaolin dry with KCl and KOH, then calcining and leaching in purified water. They obtained the best sulfate removal values with a removal efficiency of 97% after dry mixing 17.8% of kaolin ore with KCl and kaolin with alunite and calcining at 700 °C. They reduced the sulfate content of the alunitic kaolin ore from 12.97% to 1%.

Tatar (2012), in a study in which she tried to obtain products from kaolin with alunite using different beneficiation methods, was able to successfully remove the coloring oxides by mechanical dispersing-sieving and gradual grinding-sieving methods while reducing the  $\text{SO}_3$  content from 4.05% to 3.44%. After this stage, she conducted flotation studies to produce a concentrate that she employed as a pre-enrichment stage. This concentrate had a recovery efficiency of 18.39%, a  $\text{SO}_3$  concentration of 1.35%, and a mass ratio of 50.67%.

#### 4. Conclusions

The basis of this study is to examine the sectoral utilization potentials of kaolin in the Balıkesir Sındırgı region, which contains a large amount of kaolin reserves in our country. In this direction, the usage areas of kaolin, and the standards determined according to the sectors were examined, and the importance of kaolin for the economy of our country was emphasized.

The suitability of four samples supplied from Balıkesir Sındırgı region with different chemical contents for industrial use was investigated by chemical and mineralogical analyzes, and the results were compared with the standards specified according to the sectors.

It has been determined that the kaolin samples supplied from the region are not suitable for use in the ceramic, paint, or paper industries in their raw form, and it has been concluded that the samples should undergo enrichment processes.

In particular, it was determined that the kaolins found in this region are also rich in alunite minerals, and the use of these kaolins in the industry will be a problem due to the sulfate content of the alunite minerals.

In addition, the enrichment methods of kaolins obtained from this and other regions were examined by reviewing the studies in the literature, and in light of this information, alternative enrichment methods that will shed light on future studies for the enrichment of kaolins in the Balıkesir Sındırgı region were put forward.

### Acknowledgement

This research is a section of Dr. İlker Erkan's doctoral dissertation, "Extraction of Sulphate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) from Balıkesir Sındırgı Alunitic Kaolins Using NaOH" which is supported by the Karadeniz Technical University's Scientific Research Projects unit through the 9022 coded "NaOH Liçi ile Kaolenden Sülfat Uzaklaştırılması" project.

### Author contribution

Concept/Design, Data Collection, Processing, Literature Search, Drafting manuscript: IE;  
Concept/Design, Critical revision of manuscript: IA

### Declaration of ethical code

The authors declare that all of the rules stated to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" were followed, and none of the actions specified under the title of "Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" have been carried out.

### Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- Abdel-Khalek, N.A., Omar, A.M.A., & Hassan Y. (1996). Froth flotation of ultrafine Egyptian kaolin ore. In M. Kemal, V. Arslan, A. Akar, & M. Canbazoglu (Eds), *Changing Scopes in Mineral Processing*, (pp. 395-400). AA Belkama, Rotterdam.
- Akdeniz, N., & Konak, N. (1979). Rock units of the Menderes Massif around Simav and location of metabasic and metaultrabasic rocks. *TJK Bulletin*, 22, 175-184. (in Turkish).
- Alpar, S.R., Gürgey, İ., Rodopman, K., & Ustaer, C. (1973). *Treatment of sulfate and pyrite containing kaolin minerals*, TÜBİTAK, Engineering Research Group, MAG-246. (in Turkish).
- Al-Zahrani, A.A., & Abdul-Majid, M.H. (2009). Extraction of alumina from local clays by hydrochloric acid process. *Journal of King Abdulaziz University: Engineering Science*, 20(2), 29-41.
- Ambikadevi, V.R., & Lalithambika, M. (2000). Effect of organic acids on ferric iron removal from iron-stained kaolinite. *Applied Clay Science*, 16, 133-145.
- Arslan, V., & Bayat, O. (2009). Upgrading of kaolin ores by chemical leaching and bioleaching methods. *Kibited*, 1(3), 175-184. (in Turkish).
- Bauer, A., & Berger, G. (1998). Kaolinite and smectite dissolution rate in high molar KOH solutions at 35° and 80°C. *Applied Geochemistry*, 13(7), 905-916.
- Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö. Y., Ekmekçi, Z., & Can, N. M. (1999). Temel seramik ve cam hammaddelerimizdeki feldispat kuvars ve kaolin kalite sorunları ve çözüm önerileri. *3<sup>rd</sup> Industrial Raw Materials Symposium* (pp.22-33), Ankara. (in Turkish).
- Calderon, G.D.T., Rodriguez, J.I., Ortiz-Mendez, U., & Torres-Martinez, L.M. (2005). Iron leaching of a Mexican clay of industrial interest by oxalic acid, *Journal of Materials Online*, 1, 1-8.
- Carroll, D., & Starkey, H.C. (1971). Reactivity of clay minerals with acids and alkalies. *Clays and Clay Minerals*, 19, 321-333.



- Celik, H. (2010). Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. *Applied Clay Science*, 50, 245-254.
- Çiftlik, S. (2010). *Removal of metals from kaolin ores by using leaching method*, [MSc Thesis, Süleyman Demirel University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- D.P.T. (1995). *Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1995-1999). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı. Yayın No, 2418/477, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- D.P.T. (2001). *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı. Yayın No: 2611/622, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- Day, N., & Toroğlu, I. (1997). Bilecik (Sögüt) yöresi killerinin AKW hidrosiklonu ile zenginleştirilmesi. *2<sup>nd</sup> Industrial Raw Materials Symposium* (pp. 187-192), Izmir. (in Turkish).
- Day, N. (1996). *Kaolinite beneficiation with hydrocyclone* [MSc Thesis, Zonguldak Karaelmas University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Demirbilek, F. (2007). The change in the physical characteristics, mineralogic structure and plasticity of kaolin and illite ceramic clays [MSc Thesis, Dumlupınar University, Science and Technology Institute] (in Turkish)
- Demirtaş, G. (2011). Analysing the being fried properties of Balıkesir-Sındırgı-Düvertepe alunitic kaolin with different contents of alunite [MSc Thesis, Dumlupınar University, Science and Technology Institute] (in Turkish)
- Ece, I., & Yüce, A.E. (1999). *Kaolin*. Istanbul Mineral Exporters Association. (in Turkish).
- Ece, Ö.I., & Ekinci, B. (2009). *Tektonik Olarak Aktif Simav Grabeni Boyunca Oluşan Düvertepe Kaolin-Alunit Yataklarının Mineralojik-Jeokimyasal Değişimi ve Orijini*, TUBİTAK ÇAYDAĞ-106Y070, İstanbul. (in Turkish).
- Ekinci, B. (2009). *Geological, mineralogical and geochemical investigation of kaolin (+/- alunite) occurrences in Düvertepe-Şapçı regions (Sındırgı, Balıkesir)* [MSc Thesis, Istanbul Technical University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Ekmekçi, Z., Gülsoy, Ö., Ersayın, S., & Bayraktar, İ. (2001). Desulphurisation of İvrindi alunitic kaolin, *Yerbilimleri*, 23, 53-60.
- Elmacı, M. (1989). *Balıkesir İli-Sındırgı İlçesi-Düvertepe Nahiyesi Güneyi ve Çıkrıkçı Kuzeyi ÖİR 1930 No'lu M.T.A. Alüminyum (Kaolen) Ruhsatlı Sahasına Ait Maden Jeolojisi Raporu*. M.T.A. Report No: 2889. (in Turkish).
- Erkan, Z.E. (2002). *Balıkesir – Sındırgı Düvertepe bölgesi Döküştepe mevki kaolin cevherinin zenginleştirilmesi* [MSc Thesis, Dokuz Eylül University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Eygi, M.S. (2009). *Improving the usage of kaolin in ceramic with the aid of polyelectrolyte* [PhD Thesis, Istanbul Technical University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Gebhardt, J.E., Piga, L., & Schena, G. (1998). Flocculation and flotation behavior of a low-grade alunite ore, *Minerals and Metallurgical Processing*, 15(4), 48-52.
- Genç, S. (1994). *Sulphate removal from alunite kaolins and production of ceramic raw material* [PhD Thesis, Osmangazi University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Girgin, Ü., Ekmekçi, Z., & Erkal, F. (1993). Sındırgı alunitli kaolini zenginleştirme çalışmaları. *13<sup>th</sup> Mining Congress of Türkiye* (pp. 549-560), İstanbul. (in Turkish).
- Güneş, A.N., Akçıl, A.U., Çiftlik, S., & Handırı, İ. (2009). *Kaolinlerin organik asitler kullanılarak liç yöntemiyle saflaştırılması*. TUBİTAK, Project No: 108M180. (in Turkish).
- Hoşgün, H.L., Altokka, M.R., & Çıtak, A. (1997). Kaolinin HCl ve NaOH çözeltilerinde çözünme kinetiğinin incelenmesi, *8<sup>th</sup> National Clay Symposium* (pp. 195-204), Kütahya. (in Turkish).
- İpekoğlu, B., & Kurşun, I. (1999). Dumanlı kaolinlerin zenginleştirilmesi, *3<sup>rd</sup> Industrial Raw Materials Symposium* (pp. 16-21), İzmir. (in Turkish).
- Koca, S., & Koca, H. (2000). Carrier flotation of alunite from kaolin clay. *XXI. International Mineral Processing Congress* (pp. 1-8), Italy



- Koca, S., & Özdağ, H. (1994). Flotation of alunite from kaolin, progress in mineral processing technology, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Lee, S.O., Tran, T., Park, Y.Y., Kim, S.J., & Kim, M.J. (2006). Study on the kinetics of iron oxide leaching by oxalic acid. *International Journal of Mineral Processing*, 80, 144-152.
- Luo, M-J., Liu, C-L., Jiang, Y., Xue, J., Li, P., & Yu, J-G. (2017b). Green recovery of potassium and aluminium elements from alunite tailings using gradient leaching process. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1080-1090.
- Luo, M-J., Liu, C-L., Xue, J., Li, P., & Yu, J-G. (2017a). Leaching kinetics and mechanism of alunite from alunite tailings in highly concentrated KOH solution. *Hydrometallurgy*, 174, 10-20.
- Nazarov, Sh. B., Gulakhmadov, Kh. Sh., Khakhdodov, M.M., & Aminov, Sh. G. (2001). Processing of aluminum sulfates into alumina. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 74(8), 1392-1394.
- Oygür, V. (1997). Anatomy of an epithermal mineralization: Mumcu (Balıkesir-Sındırgı), inner-western Anatolia, Turkey. *Bulletin of The Mineral Research and Exploration*, 119, 29-39.
- Özdemir, M., & Çetişli, H. (2005a). Extraction kinetics of alunite in sulfuric acid and hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 76, 217-224.
- Özdemir, M., & Çetişli, H. (2005b). Sulphate removal from alunitic kaolin by chemical method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44, 3213-3219.
- Özdemir, M. (1995). *The removal of sulphate from alunitic kaolins by chemical method the utilization in potassium sulphate and aluminum sulphate production* [PhD Thesis, Osmangazi University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Saikia, N.J., Bharali, D.J., Segupta, P., Bordoloi, D., Goswamee, R.L., Saikia, P.C., & Borthakur, P.C. (2003). Characterization, beneficiation and utilization of a kaolinite clay from Assam, India. *Applied Clay Science*, 2, 93-103
- Sayın, S.A. (1995). Kaolinit içeren kil yataklarının hidrosiklon ile zenginleştirilmesi. *7<sup>th</sup> National Clay Symposium*, Ankara. (in Turkish).
- Sümer, G. (1991). *Alunitli Kaolinlerin Zenginleştirilmesi* [MSc Thesis, Anadolu University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Tatar, İ. (2012). *Determination of usage areas of the products obtained from alunitic kaolins by means of different enrichment approaches* [PhD Thesis, Dumlupınar University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- TUİK. (2020). *Import-Export Data of Kaolin*, Turkish Statistical Institute. (in Turkish).
- Tunçay, N.Ö. (2006). *A linear programming model implementation for mine mixture and transportation costs minimization with a case study* [MSc Thesis, Balıkesir University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Ustuer, C., & Gürgey, I. (1975). The separation of alunite in alunitic kaolin by selective flocculation. *Clays and Clay Minerals*, 23, 468-472.
- Veglio, F. (1997). Factorial experiments in the development of a kaolin bleaching process using thiourea in sulphuric acid solutions. *Hydrometallurgy*, 45, 181-197.
- Veglio, F., Pagliarini, A., & Toro, L. (1993). Factorial experiments for the development of a kaolin bleaching process. *International Journal of Mineral Processing*, 39, 87-99.
- Veglio, F., Passariello, B., Barbaro, M., Plescia, P., & Marabini, A.M. (1998). Drum leaching tests in iron removal from quartz using oxalic and sulphuric acids. *International Journal of Mineral Processing*, 54, 183-200.
- Veglio, F., Passariello, B., Toro, L., & Marabini, A.M. (1996). Development of a bleaching process for a kaolin of industrial interest by oxalic, ascorbic, and sulphuric acids: preliminary study using statistical methods of experimental design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35, 1680-1687.
- Yapa, N. (1993). *Alunitli Kaolinlerin Değerlendirilmesi* [PhD Thesis, Istanbul Technical University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).

- Yılmaz, B. (2008). *Sulphate removal from alunite kaolines and production of ceramic raw material* [MSc Thesis, Osmangazi University, Science and Technology Institute]. (in Turkish).
- Yılmaz, H. Ö., & Günen, M. A. (2023). Is environment destiny? Spatial analysis of the relationship between geographic factors and obesity in Türkiye. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-13.

## Nokta bulutu verisi ile su kütlesi tespitinde geometrik özneliklerin etkisi

*The impact of geometric features on the detection of water body from point clouds*

Samed ÖZDEMİR\*<sup>1</sup> , Fevzi KARSLI<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 17.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 23.10.2023

### Öz

Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinden su kütlelerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi ve çıkarılması, su kaynakları yönetimi, su kalitesi izleme, doğal afet acil müdahaleleri gibi kritik uygulama alanlarında stratejik bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, geleneksel su kütle çıkarma yöntemleri, özellikle görüntü dokusu ve karakteristik özelliklerin seçilmesi konusunda çeşitli zorluklar sunmaktadır. Bu çalışmada, nokta bulutu verilerinden çıkarılan geometrik öznelikler ve hava fotoğraflarından alınan spektral bilgileri bir araya getirerek, su kütlelerinin sınırlarının daha etkin bir şekilde tanımlanmasını ve çıkarılmasını sağlayan bir metodoloji önerilmektedir. Üç boyutlu (3B) yapı tensöründen yararlanılarak nokta bulutlarından üretilen geometrik öznelikler algılayıcı sistemin ürettiği spektral bilgiler ile birleştirilerek, yüksek boyutlu verilere uygunluğu, hızı ve aşırı uyuma direnci ile bilinen Rastgele Orman (RO) sınıflandırıcısı su kütlelerinin tespiti için eğitimde kullanılmıştır. Matlab ortamında geliştirilen metodolojinin etkinliği, Türkiye’de topografik ve bitkisel özellikleri farklı dört farklı lokasyon üzerinde test edilmiştir. Sınıflandırma işlemi ile tespit edilen su kütlesi sınırlarının doğruluk analizi F-Skoru üzerinden değerlendirildiğinde, Çalışma Alanı-1 için: %85.7, Çalışma Alanı-1 Akarsu için %76.6, Çalışma Alanı-2 için %93.7, Çalışma Alanı-3 için %94.9, ve Çalışma Alanı-4 için %73.6, olarak elde edilmiştir. Çalışma, sunulan metodolojinin farklı mekânsal ölçekler ve sensör türleri için uygulanabilir olduğunu ve çevresel ve hidrolojik araştırmalarda geniş kapsamlı kullanımlar için potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Nokta bulutu, Rastgele orman, Sayısal yükseklik modeli, Sınıflandırma, Su kütlesi çıkarımı

### Abstract

High-resolution remote sensing imagery plays a strategic role in critical applications such as water resource management, water quality monitoring, and emergency responses to natural disasters for the quick and accurate identification and extraction of water bodies. However, traditional water body extraction methods present various challenges, particularly in the selection of image texture and characteristic features. In this study, a methodology is proposed that combines geometric features extracted from point cloud data with spectral information obtained from aerial photographs to more effectively define and extract the boundaries of water bodies. The geometric features generated from three-dimensional (3D) structure tensors are merged with the spectral information produced by the sensor system, and the well-known Random Forest (RF) classifier suitable for high-dimensional data, speed, and resistance to overfitting is used for training in water body detection. The effectiveness of the methodology developed in Matlab has been tested over four different locations in Turkey with varying topographic and vegetative characteristics. When the accuracy analysis of the detected water body boundaries is evaluated through the F-Score, the following were obtained: 85.7% for Study Area-1, 76.6% for Study Area-1 River, 93.7% for Study Area-2, 94.9% for Study Area-3, and 73.6% for Study Area-4. The study demonstrates that the presented methodology is applicable across different spatial scales and sensor types and carries potential for comprehensive uses in environmental and hydrological research.

**Keywords:** Point cloud, Random forest, Digital elevation model, Classification, Water body extraction

\* Samed ÖZDEMİR; samed.ozdemir@gumushane.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Ekosistemin hidrolojik döngüsü için kritik bir bileşen olmasının yanı sıra günlük yaşantıdan endüstriyel ihtiyaçlara kadar geniş bir yelpazede önemli bir rol oynayan temel bir kaynaktır. Bu bağlamda, su kütlelerinin zamansal ve hassas bir şekilde izlenmesi su kaynakları yönetimi, su kalitesi izleme ve doğal afet acil müdahaleleri gibi konulara yönelik hızlı ve doğru ölçekli bölgesel su kütle araştırmaları ve dinamik izlemeler yapılması büyük önem taşımaktadır (Pech-May vd., 2023, Wang vd., 2021). Geçtiğimiz yıllarda, uzaktan algılanmış görüntülerle gerçekleştirilen su kütlesi tespit işlemleri günümüzde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) yaygınlaşması ile yaygın olarak hava platformlarından elde edilen görüntüler üzerinden gerçekleştirilmeye başlamıştır. Hava platformları, uzay platformlarına kıyasla hem zamansal hem de mekânsal olarak daha yüksek çözünürlüklü veriler sağlaması nedeni ile pek çok haritalama işinde tercih edilmektedir. Özellikle son yıllarda, Light Detection and Ranging (LiDAR) ve Structure from Motion (SfM) gibi uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemler ile üretilen nokta bulutu kaynaklı yüksek çözünürlüklü arazi verileri, zemin yüzey özelliklerinin karakterizasyonunda önemli bir ilerleme sağlamıştır (Zheng vd., 2019). Bu sayede, su kütlesi araştırmaları, sadece zamansal olarak su kütlesi sınırlarının değişiminin izlenmesi ile sınırlı kalmamakta ayrıca su kütlelerinin çevresindeki topografya ile olan etkileşimini de açığa çıkarabilmektedir.

LiDAR nokta bulutlarından su kütlesi çıkarmak, yoğunluk bilgileri, yükseklik histogramları, düşme oranı ve 3B öznitelikler kullanılarak geliştirilmiş birçok yaklaşımın olduğu aktif bir araştırma alanıdır. Vetter vd. (2009), LiDAR nokta bulutlarından elde edilen radyometrik olarak düzeltilmiş yoğunluk ve sinyal yitimi (drop-out) bilgilerini, ayrıca su kütlelerinin yerel pürüzlülük bilgilerini kullanarak eşik temelli bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde, Toscano vd. (2014), yükseklik histogramları ve yoğunluk bilgilerini kullanarak su kütlelerini tanımlayan iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Canaz vd. (2015), RANSAC algoritması kullanarak LiDAR nokta bulutundan su kütlelerini çıkarmak üzere Noktaların Açısı (AOP) ve LiDAR'dan Image (LTI) algoritmalarından faydalanan bir yaklaşım geliştirmiştir. Ancak, bu tarz yaklaşımlar, su kütlelerinin çevresindeki topografyaya göre düz ve homojen veya boş alanlar olması gibi genel varsayımlara dayanır. Bu nedenle, kentsel ve büyük ölçekli çalışma alanlarında başarılı sonuçlar almak zor olacaktır. Maksimum Olabilirlik Sınıflandırması (MLC), Temel Bileşen Analizi (PCA), Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve derin öğrenme gibi sınıflandırma tabanlı yaklaşımlar, bu eksiklikleri telafi edebilir ve su kütlelerinin tespiti için geliştirilebilir bir yaklaşım sunabilecek potansiyele sahiptir. Smeets vd. (2013), yükseklik bilgisi, yerel nokta yoğunluğu ve yerel şekil parametrelerini kullanarak LiDAR nokta bulutlarından su kütlelerinin sınıflandırılmasında SVM sınıflandırıcısından faydalanmıştır. Ancak, LiDAR sensörünün yaydığı lazer ışınının spektral özellikleri nedeniyle, çalışma alanındaki nesnelere (örneğin asfalt) yansıtıcı özellikleri, sınıflandırma doğruluğunu kolayca olumsuz etkileyebilmekte olduğunu belirtmişlerdir. Shaker vd. (2019) çok bantlı (MS) LiDAR (Teledyne Optech Titan) nokta bulutlarından üretilen yükseklik, yoğunluk ve 3 bant oranlarının varyansını hesaplayarak MLC sınıflandırıcısı ile su kütlelerinin tespiti üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. MS LiDAR sensörünün sağladığı farklı spektral özelliklerin bir arada kullanılmasına olanak sağlaması nedeni ile su kütlelerini tespit etmede doğruluğu artırabileceği belirtilmiştir. Ancak, MS LiDAR görece yeni bir teknoloji olması nedeni ile, bu yeni teknolojiye ve verilerine ulaşmak güçtür.

Son yıllarda, İnsansız Hava Araçları (İHA) kolay ulaşılabilmesinin yanı sıra RGB, MS ve Termal gibi çeşitli sensörlerle entegrasyonu sayesinde fotogrametri ve uzaktan algılama çalışmaları arasında popülerlik kazanmıştır. Son yıllarda, İHA platformlarının yük kapasitesinin artması ve LiDAR ve RADAR gibi aktif sensörlerin İHA platformları ile uyumlu hale gelmesi nedeniyle çoklu sensör veri üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Tymków vd., 2019; Bandini vd., 2020). Tymków vd. (2019) RGB kamera, termal kızılötesi kamera ve LiDAR sensörü ile entegre bir İHA kullanarak denetimli bir sınıflandırma yaklaşımı kullanarak su kütlesi sınırlarını belirledikleri bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ancak, sınırlı menzil ve yük kapasitesi nedeniyle, bu platformlar çoğunlukla küçük ölçekli uygulamalar için kullanılabilir. Bu nedenle, büyük ölçekli SYM'ler oluşturmak için büyük taşıyıcı platformlara entegre LiDAR ve hava kameraları daha faydalı ve ekonomik olacaktır.

Bu çalışmada, hava fotoğrafları ve LiDAR olmak üzere iki farklı kaynaktan elde edilen nokta bulutlarından durağan ve akarsu kütlelerinin otomatik olarak çıkarılması için yenilikçi bir yaklaşım önerilmektedir. Matlab ortamında geliştirilen yaklaşımla, hava fotoğraflarından ve LiDAR verilerinden elde edilen spektral bilgilerin, nokta bulutlarından elde edilen yerel geometrik öznitelikler ile zenginleştirilerek spektral özellikleri

değişkenlik gösteren farklı boyut ve türlerdeki su kütlelerinin daha kaliteli bir şekilde karakterize edilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yaklaşım üç ana adımdan oluşmaktadır: nokta bulutlarından öznitelik çıkarımı, sınıflandırma ve sınır düzeltme. İlk olarak, nokta bulutlarının yerel geometrik öznitelikleri, 3B yapı tensörü kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci olarak, seçilen öznitelikler ile spektral bilgiler birleştirilerek çok bantlı öznitelik haritaları üretilmiş ve Basit Lineer iteratif Kümeleme (Simple Linear Iterative Clustering SLIC) algoritması kullanılarak süper-piksel segmentasyonu gerçekleştirilerek homojen görüntü parçaları oluşturulmuştur. Süper-piksel segmentasyonu, piksel tabanlı sınıflandırmaya kıyasla hem karmaşık sahnelerde bile daha başarılı olması hem gürültüye karşı olan daha yüksek toleransının olması hem de sınıflandırma işlem süresini kısaltması gibi faydaları nedeni ile tercih edilmiştir. Oluşturulan süper-pikseller, yüksek boyutlu veriyi işleyebilme, hızlı ve aşırı uyuma karşı dirençli olması ile bilinen RO sınıflandırıcısı ile su kütlelerini tespit etmek üzere sınıflandırılmıştır. Son aşamada ise, su kütlesi tespit doğruluğunu iyileştirmek amacı ile tespit edilen su kütlesi sınırlarından oluşturulan bir sahte su yüzeyinin Sayısal Arazi Modeli (SAM) ile keşif edilmesi ile yeni su kütlesi sınırları hesaplanmıştır. Önerilen yaklaşım, LiDAR ve fotogrametrik nokta bulutu verileri ile dört farklı çalışma alanında test edilmiştir. Sınıflandırma işlemi ile tespit edilen su kütlesi sınırlarının doğruluk analizi F-Skoru üzerinden değerlendirildiğinde, Çalışma Alanı-1 için: %85.7, Çalışma Alanı-1 Akarsu için %76.6, Çalışma Alanı-2 için %93.7, Çalışma Alanı-3 için %94.9, ve Çalışma Alanı-4 için %73.6, olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın çeşitli senaryolara uygulanabilir olduğunu ve su kütlelerini yüksek doğrulukla tespit etmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Çalışmanın bu kısmında, öncelikle çalışma alanları tanıtılmış ve ardından öznitelik haritalarının hangi aşamalardan geçerek üretildiği, su kütlesi tespitinde uygulanan sınıflandırma prosedürleri, su kütlesi tespit sınırlarının iyileştirilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluk analizinde kullanılan ölçütlere yer verilmiştir.

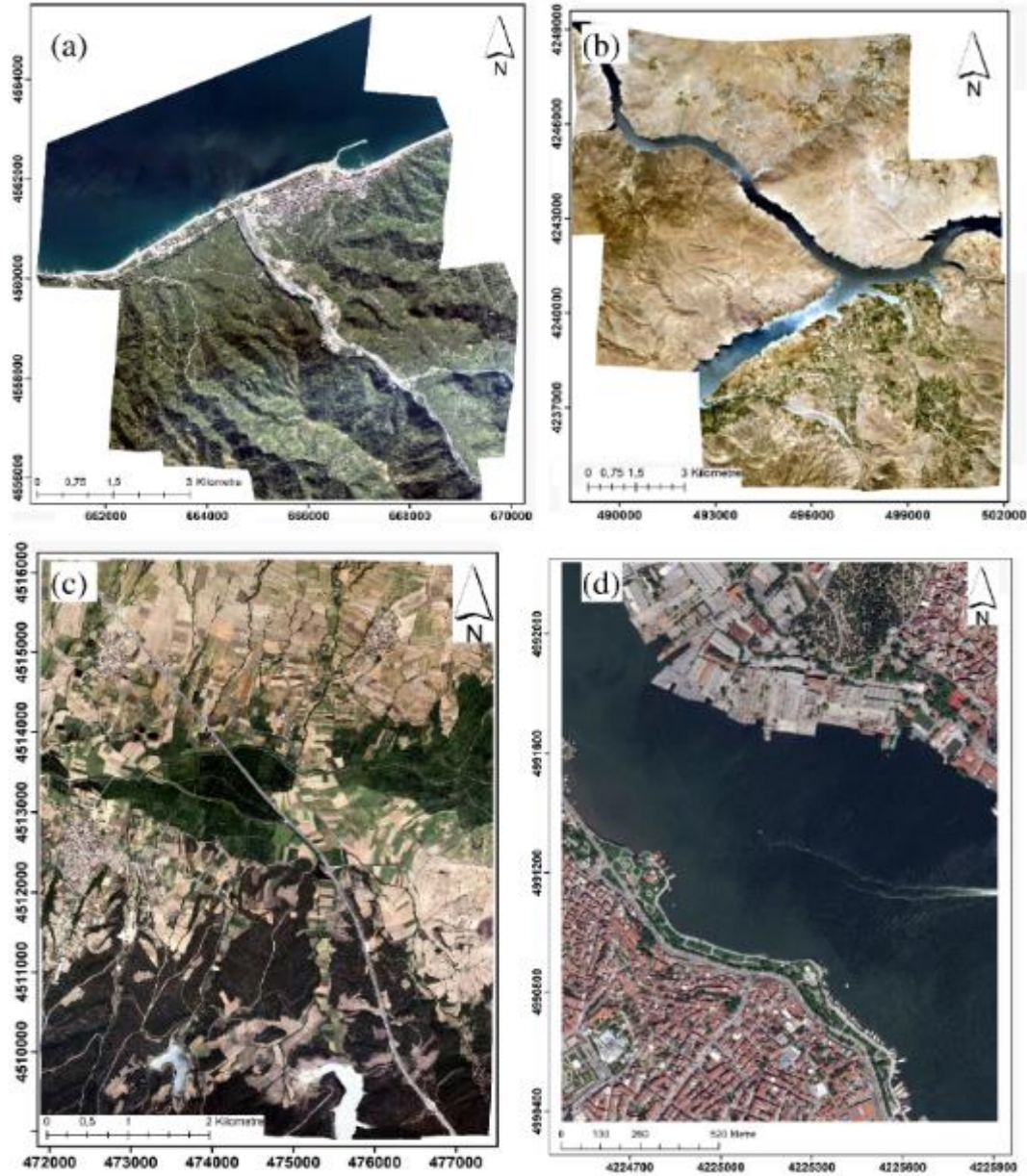
### 2.1. Çalışma alanı

#### 2.1. Study area

Dört çalışma alanı, Türkiye'nin topografik ve bitki örtüsü özelliklerini en iyi yansıtan farklı coğrafi bölgelerden seçilmiştir. Bu bölgeler Doğu Karadeniz, İç Anadolu ve Marmara bölgelerini içermekte ve Türkiye'nin su kütlesi özelliklerini temsil etmektedir (Şekil 1). Ek olarak, Marmara Bölgesi'ndeki Çalışma Alanı-4, önerilen yaklaşımın LiDAR nokta bulutları üzerindeki uygulanabilirliğini incelemek için veri setine eklenmiştir. Rize'nin Ardeşen ilçesinde bulunan Çalışma Alanı-1 (Şekil 1 a), deniz ve akarsu olmak üzere iki farklı tip su kütlesine sahiptir. Güneyden gelen iki akarsu kolu birleşerek su arıtma tesisi ve köprü gibi pek çok insan yapısını geçerek kuzeyde kıyıları doğal ve yapay yapılarla çevrili deniz ile birleşmektedir. Hava fotoğrafının alım tarihinde su seviyesinin düşük olmasından dolayı yatak genişliği 35-160 metre arasında değişen akarsu yatağında alüvyonlu adalar ile karşılaşmaktadır. Dağlık ve seyrek bitki örtüsünün yanı sıra az sayıda yapılaşmaya sahip olan Çalışma Alanı-2 (Şekil 1 b), Karakaya baraj gölünün Kale ve Doğanyol arasındaki bölgede bulunmaktadır. Gölün genişliği, en dar kısmında yaklaşık 360m, en geniş kısmında 650m'ye kadar çıkabilmektedir. Çalışma Alanı-3 (Şekil 1 c), Edirne'nin Keşan ilçesinde, düz topoğrafya ve yoğun orman örtüsüyle iki sulama göletine ev sahipliği yapmaktadır. İlk gölet 450 m × 550 m boyutlarına sahipken, Dokuzdere Göleti ise 350 m × 1.300 m boyutlarındadır. İstanbul Haliç bölgesinden seçilen Çalışma Alanı-4 (Şekil 1 d) hafif eğimli topoğrafyaya ve yoğun yapılaşmaya sahiptir. Çalışma alanının sınırları, sahil düzenlemeleri ve çeşitli iskeleler tarafından belirlenmektedir. Çalışma alanlarının hava görüntüleri, iç ve dış yöneltme parametreleri ve su kütlesi sınırlarının vektör verileri HGM tarafından sağlanmıştır. Güncel vektör verileri mevcut olmadığında, su kütlesi sınırları ortofoto görüntü üzerinden manuel olarak çizilmiştir. Çalışma Alanı-1, 2 ve 3 için Fotogrametrik nokta bulutlarının oluşturulmasında, HGM tarafından sağlanan hava fotoğrafları ve dış yöneltme parametreleri temel alınmıştır.

Çalışma Alanı-1,2 ve 3'e ait hava fotoğrafları, 13080×20010 piksel çözünürlüğünde RGB bantlarına sahip Vexcel UltraCam Eagle kamerası ile çekilmiştir. Bu çalışma alanlarına ait nokta bulutu, SAM ve ortofoto, HGM tarafından sağlanan iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak Agisoft PhotoScan yazılımı ile üretilmiştir. Yer örnekleme aralığı (YÖA-GSD), uçuş yüksekliği, nokta bulutundaki nokta sayısı ve nokta yoğunluğu bilgileri, her bir çalışma alanı için Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma Alanı-4'e ait LiDAR verileri için herhangi bir ek işlem uygulanmadan doğrudan sonraki aşamalarda kullanılmıştır.





**Şekil 1.** Çalışma alanları; a) Çalışma alanı-1 (Rize), b) Çalışma alanı-2 (Malatya), c) Çalışma alanı-3 (Edirne), d) Çalışma alanı-4 (İstanbul).

**Figure 1.** Study areas; a) Study area-1 (Rize), b) Study area-2 (Malatya), c) Study area-3 (Edirne), d) Study area-4 (Istanbul).

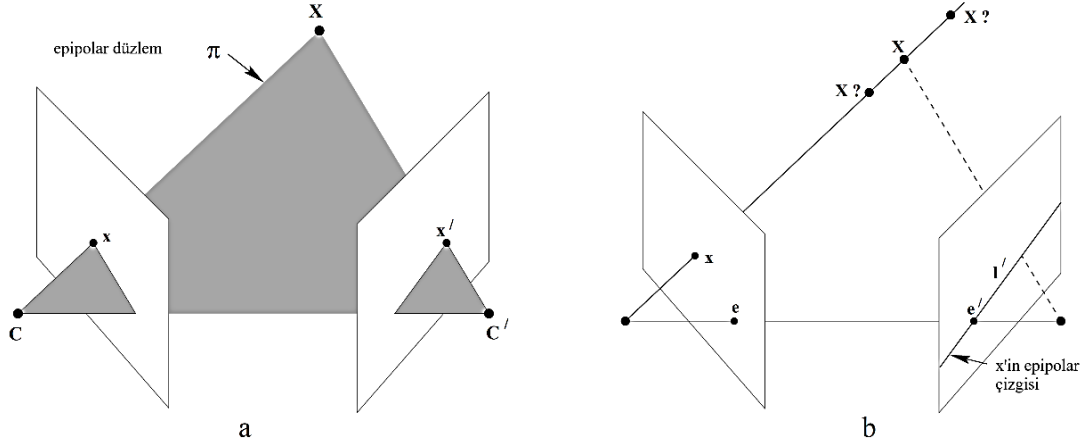
**Tablo 1.** Çalışma alanlarının genel veri toplama istatistikleri  
**Table 1.** General data collection statistics of the study areas

	Uçuş yüksekliği	Ortofoto GSD	SAM GSD	Nokta sayısı	Nokta yoğunluğu	Alan
Çalışma alanı-1	~7000 m	1 m	1 m	83.387.238	1,3 nkt/m <sup>2</sup>	74 km <sup>2</sup>
Çalışma alanı-2	~7500 m	1 m	1 m	410.539.623	2,6 nkt /m <sup>2</sup>	170 km <sup>2</sup>
Çalışma alanı-3	~4500 m	1 m	1 m	126.277.462	3,8 nkt /m <sup>2</sup>	44 km <sup>2</sup>
Çalışma alanı-4	-	-	1 m	8.585.192	5,7 nkt /m <sup>2</sup>	1,5 km <sup>2</sup>

Çalışma Alanı-1, 2 ve 3 için hava fotoğraflarından nokta bulutu üretim aşamasında kullanılan SfM tekniği temel olarak; öznitelik tespiti ve demet dengeleme aşamalarından oluşur. Öznitelik tespiti aşamasında, Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşüm (Scale-Invariant Feature Transform, SIFT), Hızlandırılmış Sağlam Öznitelikler (Speeded Up Robust Features, SURF) ve Yönlendirilmiş FAST ve Döndürülmüş BRIEF (Oriented FAST and Rotated BRIEF, ORB) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Öznitelik tanımlayıcılar sayesinde resim çiftleri arasında, rijit dönüşümler (döndürme, ölçekleme, kaydırma vb.) veya



paralaks etkilerine karşı dayanıklı, güçlü eşleştirmeler yapılması sağlanır. Yüksek kaliteli eşleşmelere ve geometrik konfigürasyonları, 3D yapıyı güvenilir bir şekilde tahmin etmeye uygun olan az iki kamera görüşü seçilerek epipolar geometri (Şekil 2) ile 3B sahne yapısı oluşturulur. Bu aşamada ayrıca kamera konumları ve dönüklükleri de hesaplanır. Ardından demet dengeleme aşamasında tüm kamera parametreleri ve 3D nokta koordinatları eş zamanlı olarak optimize edilerek görüntüler, kamera ve 3D noktalar arasındaki tüm geometrik ilişkiler iyileştirilir. Bu aşamada genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır. Son olarak, birbirleri ile daha hassas bir şekilde geometrik ilişkileri tanımlanmış olan görüntü çiftlerinden yoğun nokta bulutu üretilir (Westoby vd., 2012).



**Şekil 2.** Epipolar geometri (Hartley & Zisserman, 2004); a) C ve C' iki farklı kamera merkezini temsil etmektedir. Bu kamera merkezleri, üç boyutlu uzayda yer alan X noktası ile aynı düzlemde bulunur. Bu düzlem, aynı zamanda X noktasının iki görüntüdeki izdüşümleri olan x ve x' noktalarını da içerir ve  $\pi$  olarak adlandırılır, b) Bir görüntü noktası olan x, ilk kamera merkezi C'den çıkan 3B uzaydaki bir ışınla eşleşir. Bu ışın, ikinci görüntüde l' olarak gösterilen bir çizgiye karşılık gelir. Üç boyutlu uzaydaki X noktası, bu ışının üzerinde bulunur; dolayısıyla ikinci görüntüdeki X'in izdüşümü de l' çizgisi üzerinde olmalıdır.

**Figure 2.** Epipolar geometry (Hartley & Zisserman, 2004); a) C and C' represent two different camera centers. These camera centers lie on the same plane with point X, which exists in three-dimensional space. This plane also includes the projections of point X in two images, represented by points x and x', and is denominated as  $\pi$ , b) A point in the image, denoted as x, corresponds to a ray in 3D space originating from the first camera center C. This ray translates to a line denoted as l' in the second image. The point X in the three-dimensional space must lie on this ray; therefore, the projection of X in the second image should also be on line l'.

## 2.2. Yöntem

### 2.2. Method

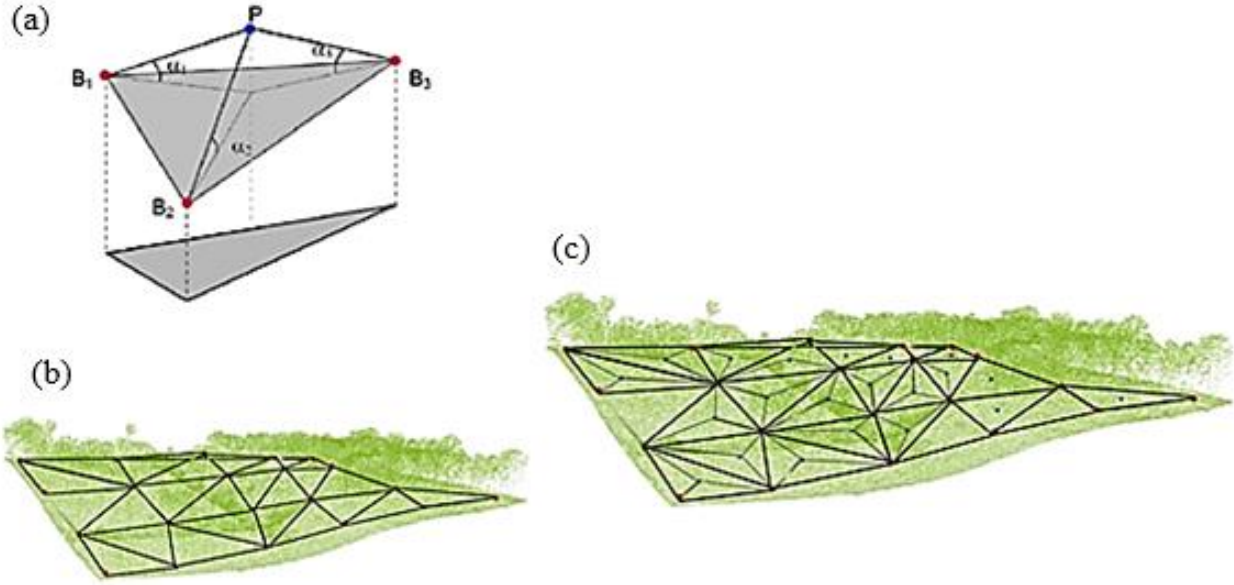
Su kütlesi tespiti iş akışı sırası ile; nokta bulutu filtreleme ve nokta bulutlarından yerel geometrik öznitelik çıkarma, süper-piksel segmentasyonu ve sınıflandırma ve çıkarılan su kütlesi sınırlarının düzeltilmesi olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Nokta bulutu filtreleme ve nokta bulutlarından yerel geometrik öznitelik çıkarma adımı, su kütlesi tespiti için kullanılacak yerel geometrik özniteliklerin çıkarılması amacıyla nokta bulutu verileri işlenmektedir. Süper-piksel segmentasyonu ve sınıflandırma aşamasında, yerel geometrik özelliklerden türetilen öznitelik haritaları ile spektral bilgi birleştirilerek birleşik çok bantlı bir görüntü oluşturulur. Daha sonra bu çok bantlı görüntüye süper-piksel segmentasyonu uygulanır ve RO sınıflandırıcısı kullanılarak görüntü su ve su olmayan sınıflara ayrılır. Çıkarılan su kütlesi sınırlarının düzeltilmesi adımı, tespit edilen su kütlesi sınırlarının doğruluğunu ve arazi gerçeği ile uyumunu artırmak için bu sınırların rafine edilmesi; adımlarından oluşmaktadır.

### 2.2.1 Nokta bulutu filtreleme

#### 2.2.1 Point cloud filtering

Üretilen nokta bulutları, zemin ve zemin üstü noktalar olarak LAStools yazılımı ile filtrelenmiştir. LAStools yazılımı, zemin çıkarımı için ilk tohum noktalarından oluşturulan bir Üçgenleştirilmiş Düzensiz Ağ

(Triangulated Irregular Network, TIN) yinelemeli olarak yoğunlaştırılmasına dayanan Aşamalı TIN Yoğunlaştırma (Progressive TIN Densification, PTD) Axelsson (2000) algoritmasını kullanmaktadır. PTD yönteminde ilk adım, kullanıcı tarafından belirlenen bir grid üzerinde çekirdek noktaların seçilmesidir. Bu noktalar genellikle grid hücrelerindeki en düşük yükseklik değerine sahip noktalar olarak belirlenir. Grid boyutu, çalışma alanındaki maksimum bina boyutuna göre seçilir ki bu, modelin doğruluğu ve hassasiyeti için önemli bir parametredir. Bu çekirdek noktaları ile oluşturulan başlangıç TIN modeli, iteratif bir şekilde sıklaştırılır. Her iterasyon için TIN'in yoğunlaştırılmasında, yoğunlaştırma parametreleri, TIN'e ait zemin noktaları kullanılarak belirlenir. Eğer bir P noktası,  $B_1$ ,  $B_2$  ve  $B_3$  noktaları tarafından oluşturulan TIN yüzeyine göre hem açı ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) hem de mesafe değerleri, belirlenen yoğunlaştırma parametrelerinin sınırlarında ya da altındaysa, bu nokta TIN'e eklenir (Şekil 3).



**Şekil 3.** PTD algoritmasının çalışma prensibi (Axelsson, 2000); a) Zemin ve zemin üstü noktaların ayrıştırılması, b) Çekirdek noktalarından üretilen TIN ve c) Yoğunlaştırılmış TIN.

**Figure 3.** The working principle of the PTD algorithm (Axelsson, 2000); a) Separation of ground and above-ground points, b) Generation of TIN from seed points, and c) Densification of the TIN.

Nokta bulutu filtreleme işleminden sonra, zemin üstü nokta yükseklikleri, zemin olmayan noktaların çıkarılmasıyla oluşan boşlukları doldurmak için zemin seviyesine indirilmiştir. Boşlukları doldurulan nokta bulutu kullanılarak, her çalışma alanı için 1 m GSD'li bir SAM oluşturulmuştur. Nokta bulutlarından çıkarılan yerel geometrik öznitelikler kullanarak ikili sınıflandırma yapabilmek için, yalnız zemin ve su kütleleri arasındaki etkileşimi anlamak için filtreleme işlemleri gereklidir. Filtreleme, özellikle kanopi penetrasyonunun olmaması nedeniyle fotogrametrik nokta bulutları için ve Çalışma Alanı-4 gibi kentsel alanlardaki LiDAR nokta bulutları için oldukça önemlidir. Zemin filtreleme işleminden sonra, yalnız arazi yüzeyi nokta bulutlarında boşluklar oluşabilmektedir; bu boşluklar, kesintisiz bir yüzey oluşturmak için uygun yükseklik değerleriyle doldurulmalıdır. Bu amaçla, zemin olmayan noktaların yüksekliklerini yaklaşık bir zemin yüzey yüksekliğine indirerek 3B nokta bulutundaki boşlukları dolduran *PCFill* algoritması MATLAB ortamında oluşturulmuştur (Tablo 2). Girdi olarak zemin nokta bulutu ve GSD bilgilerini alan algoritma, doldurulmuş nokta bulutunu çıktı olarak vermektedir.

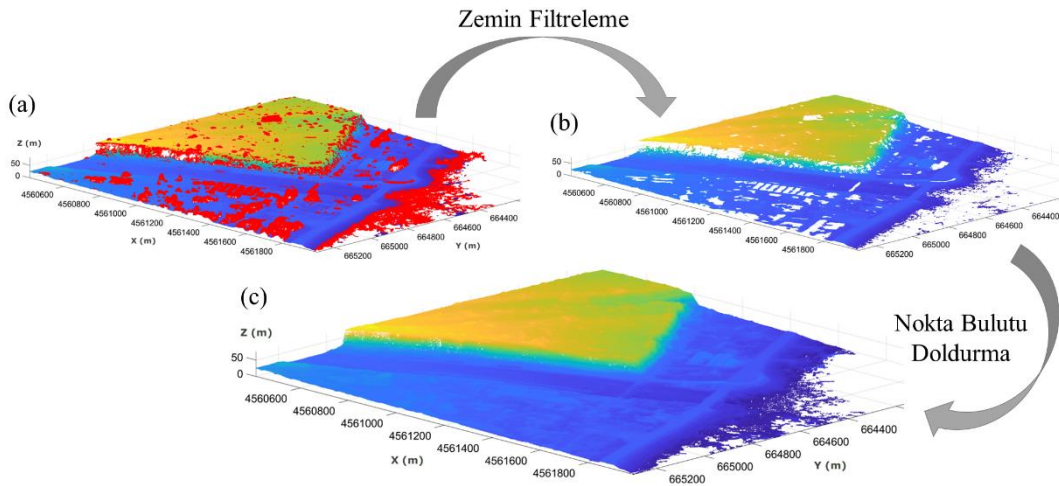
Başlangıçta, algoritma boşlukları tespit etmek için nokta bulutundan bir alfa şekli (alpha shape) oluşturur ve ilgili boşluk için yerüstü noktalarını tespit eder. Daha sonra algoritma, zemin nokta bulutu verileri üzerinde bir enterpolasyon uygulayarak bu noktalar için yeni yükseklik değerleri belirler. Bu süreç, özniteliklerin hesaplanması sırasında zemin olmayan noktaların çıkarılması nedeniyle boşluklar etrafında yoğunlaşan kenar etkilerini ortadan kaldırır ve daha doğru bir topografik karakterizasyon sağlar (Şekil 4).

**Tablo 2.** PCFill algoritması**Table 2.** PCFill algorithm

```

1: işlem PCFill(NoktaBulut, GSD, ExtrapTercihi, AlphaYarıçap, AlphaEşik)
2: Eğer AlphaEşik ya da AlphaYarıçap tanımlı değilse:
3:   shp ← alphaShape(NoktaBulut.x, NoktaBulut.y)
4: Aksi takdirde:
5:   shp ← alphaShape(NB.x, NB.y, AlphaYarıçap, 'RegionThreshold', AlphaEşik)
6: Son
7:
8: GSD/2'yi hgsd olarak tanımla
9: X ve Y gridini belirle
10: Zgrid değerlerini enterpolasyonla belirle
11: NaN değerlere sahip GridPoints'ları sil
12: shp içinde olmayan GridPoints'ları Fillers olarak kaydet
13: NoktaBulut ve EklenenNoktalar'ı birleştirerek DoldurulmuşNoktaBulutunu elde et
14:
15: Eğer tek çıktı isteniyorsa:
16:   çıktı ← DoldurulmuşNoktaBulut
17: Eğer çift çıktı isteniyorsa:
18:   çıktı ← DoldurulmuşNoktaBulut, EklenenNoktalar
19: Son
20: işlemi bitir

```



**Şekil 4.** Zemin üstü noktaların filtrelenmesi ve boşlukların doldurulması; a) Zemin üstü noktalar (kırmızı), b) Zemin noktaları, c) Doldurulmuş nokta bulutu.

**Figure 4.** Filtering of above-ground points and filling of gaps; a) Above-ground points (red), b) Ground points, c) Filled point cloud.

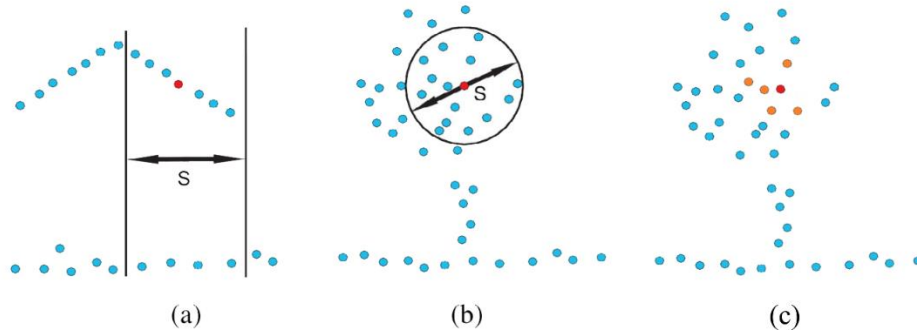
Bu çalışmada, 3B yapı tensörü nokta bulutlarından 3B geometrik öznitelikler hesaplamak için kullanılmıştır. 3B yapı tensörü, özdeğerler kullanarak yerel 3B şekli bir 3B elipsoit olarak temsil eder. 3B yapı tensörü (1) denkleminde göre hesaplanır. Burada  $\bar{X}$  komşuluğun geometrik merkezinin koordinatlarını,  $X_i$  ( $i \in \{1,2,\dots,k\}$ ) komşu noktaların koordinatlarını,  $k$  komşu sayısını temsil etmektedir. 3B yapı tensörü  $S$ 'in  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$  olmak üzere üç adet özdeğeri  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  bulunmaktadır. Bu özdeğerler  $e_i = \lambda_i / \Sigma \lambda$  ( $i \in \{1,2,3\}$ ) şeklinde normalize edilerek öznitelik çıkarımında kullanılmıştır.

$$S = \frac{1}{k+1} \sum_{i=0}^k (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})^T \quad (1)$$

3B yapı tensörü ile nokta bulutlarından geometrik özniteliklerin çıkarılması; yerel komşulukların oluşturulması, optimal komşuluk boyutunun hesaplanması ve belirlenen komşuluk boyutu kullanılarak yerel özniteliklerin hesaplanması aşamalarından oluşur.

Nokta bulutları, genellikle her bir noktanın X, Y ve Z koordinatlarını içeren düzensiz bir liste şeklinde tanımlanır. Dolayısı ile mekânsal topolojik ilişkilerin hızlı ve etkili bir şekilde oluşturulabilmesi için uzay bölütleme algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, uzay bölütleme algoritmaları arasında en yaygın olarak kullanılan Kd-tree (Bentley, 1975) algoritması kullanılmıştır. Kd-tree, k-boyutlu uzay içerisinde mekânsal ilişkileri verimli bir biçimde sorgulayabilmek amacıyla tasarlanmış bir veri yapısıdır. Sıklıkla arama ve sıralama operasyonlarında tercih edilir. Her düğümü, k-boyutlu bir noktayı temsil eder ve ağaç, her seviyesinde farklı bir boyut üzerinden alt ağaçlara bölünür. Kd-tree, belirli bir nokta için, işaretçiler aracılığıyla veri setini hızlıca tarayarak en yakın düğüme erişim sağlar. Bu sayede, bir noktanın komşularını hiçbir topolojik ilişkinin olmadığı nokta bulutlarında hızlı ve verimli bir şekilde bulmak mümkün olmaktadır.

Nokta bulutlarında, mekânsal ilişkilerin tanımlanmasından sonraki aşamada komşuluk türlerinin tanımlanması gerekmektedir. Komşuluk tipleri, silindirik, küresel ve en yakın komşuluk olmak üzere üçe ayrılabilir (Şekil 5). Öznitelik çıkarımı için küresel komşuluk tipi silindirik ve en yakın komşuluk tiplerine kıyasla daha tutal bir mekânsal bağlam sağladığı için çalışmada tercih edilmiştir.



**Şekil 5.** Komşuluk tipleri; a) Silindirik komşuluk, b) Küresel komşuluk ve c) En yakın komşuluk (Guo vd., 2015).

**Figure 5.** Neighborhood types; a) Cylindrical neighborhood, b) Spherical neighborhood, and c) Nearest neighborhood (Guo et al., 2015).

Seçilen komşuluk boyutu, öznitelik haritalarının kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Daha büyük bir komşuluk boyutu, daha düzgün öznitelikler üretirken, daha küçük bir komşuluk boyutu daha fazla gürültülü öznitelikler üretir (Pauly vd., 2003; Guo vd., 2015; Weinmann vd., 2015). Bu nedenle, öznitelik çıkarımından önce, optimal bir komşuluk boyutu seçimi işlemi gereklidir. Bu çalışmada, nokta bulutlarından öznitelik çıkarımında en önemli parametrelerden biri olan optimal komşuluk boyutunu belirlemek amacı ile Weinmann vd. (2015) tarafından önerilen Eigen-entropi (7) tabanlı teknik benimsenmiştir.

Toplamda sekiz yerel geometrik öznitelik olan doğrusallık  $L_\lambda$  (2), düzlemsellik  $P_\lambda$  (3), saçılma  $S_\lambda$  (4), omnivaryans  $O_\lambda$  (5), anizotropi  $A_\lambda$  (6), eğrilik değişikliği  $C_\lambda$  (7) hesaplanmıştır, Eigen-entropi  $E_\lambda$  (8), ve özdeğerler toplamı  $\sum_\lambda$  (9).

$$L_\lambda = \frac{e_1 - e_2}{e_1} \quad (2)$$

$$O_\lambda = \sqrt[3]{e_1 e_2 e_3} \quad (3)$$

$$P_\lambda = \frac{e_2 - e_3}{e_1} \quad (4)$$

$$A_\lambda = \frac{e_1 - e_3}{e_1} \quad (5)$$

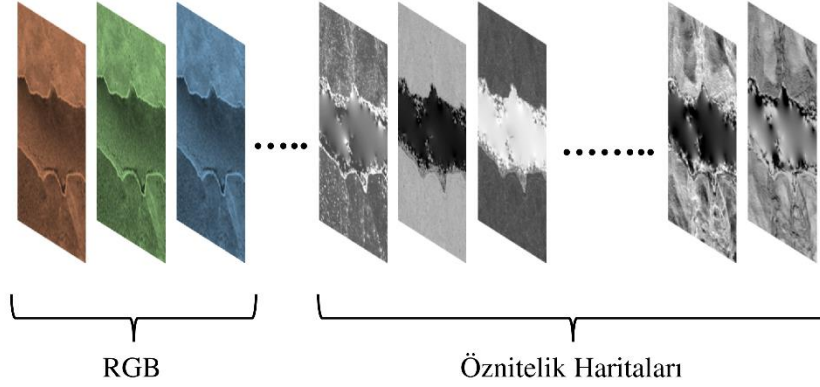
$$S_\lambda = \frac{e_3}{e_1} \quad (6)$$

$$C_\lambda = \frac{e_3}{e_1 + e_2 + e_3} \quad (7)$$

$$E_{\lambda} = -\sum_{i=1}^3 e_i \ln(e_i) \quad (8)$$

$$\Sigma_{\lambda} = e_1 + e_2 + e_3 \quad (9)$$

Daha sonra, her nokta için çıkarılan öznelikler, her bir bandın bir özneliği temsil ettiği 1 m GSD'li çok bantlı bir raster'a dönüştürülmüştür. Öznelik haritaları, ilgili çalışma alanının spektral bilgileri ile birleştirilmiştir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Öznelik haritalarının RGB bantlar ile birleştirilerek çok bantlı öznelik haritalarının üretimi.

**Figure 6.** Production of multi-band feature maps by combining feature maps with RGB bands.

Geleneksel piksel tabanlı görüntü işleme algoritmaları, genellikle yüksek çözünürlüklü görüntüleri etkili bir şekilde kullanamaz ve nesne ilişkilerini göz ardı eder. Bu durum işleme süresi ve sınıflandırma doğruluğunda kısıtlamalara yol açar (Kavzoğlu & Tonbul, 2018; Song vd., 2020). Bu sorunu ele almak için, sınıflandırma performansını artırmak ve karmaşıklığı azaltmak amacıyla su kütlesi çıkarımı için bir Rastgele Orman modeli eğitilmeden önce birleştirilmiş öznelik haritalarından anlamlı segmentler oluşturmak üzere SLIC yöntemi kullanılmıştır. K-ortalama kümeleme yaklaşımına dayanan SLIC süper-piksel segmentasyon algoritması, yaklaşık süper-piksel boyutunu ( $k$ ) tek bir parametre olarak kullanarak etkili bir şekilde süper-pikseller üretir ve belirlenen aralıklar  $S$  (10) üzerindeki örnekler aracılığıyla küme merkezlerini belirler (Achanta vd., 2012).

$$S = \sqrt{N_{pixel}/k} \quad (10)$$

$N_{pixel}$ , görüntüdeki piksel sayısını,  $k$  ise yaklaşık süper-piksel boyutunu temsil eder. Küme merkezleri, kenar ve gürültü içeren pikselli önlemek için  $3 \times 3$  komşuluk içinde en düşük gradyanlı pozisyona kaydırılır (Achanta vd., 2012). SLIC algoritması, süper-piksel görüntüler oluşturmak için  $S$  parametresini kullanır. 5 ile 50 piksel arasında değişen  $S$  değerleri ile yapılan deneysel testler sonucunda, 20 piksel  $S$  değerinin daha uniform ve kompakt süper-piksel segmentleri ürettiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tüm çalışma alanları için süper-piksel segmentasyon aşamasında 20 piksel  $S$  parametresi kullanılmıştır.

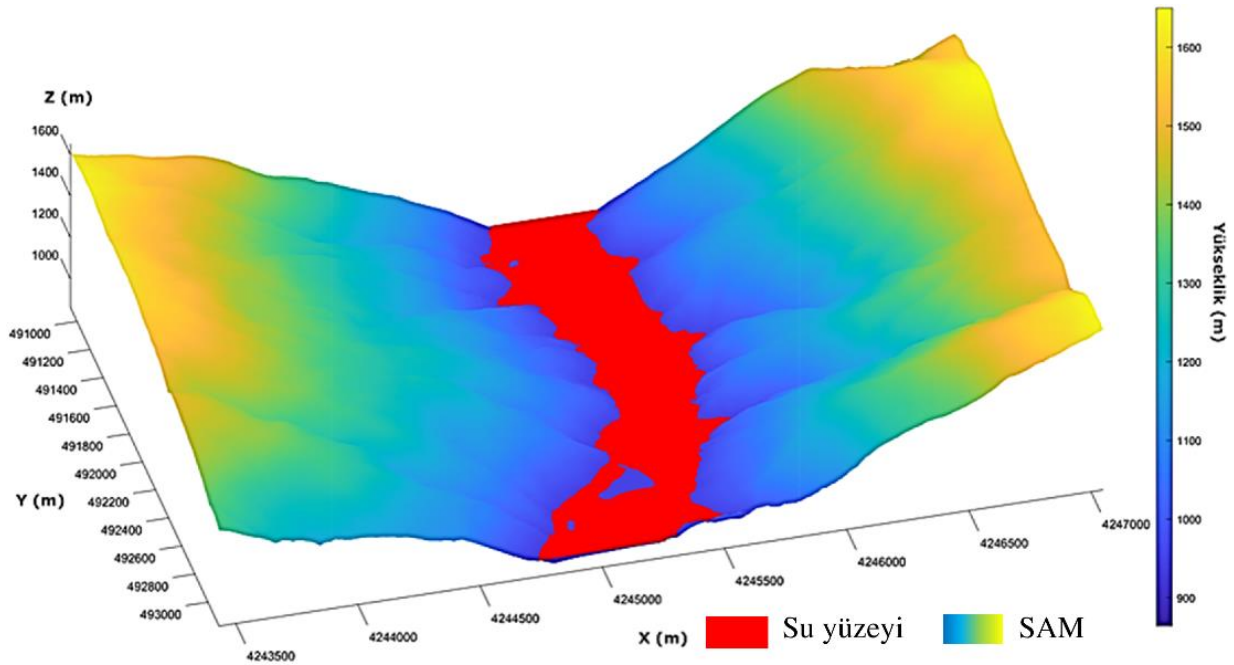
Su kütleleri sınıflandırmasında temel olarak iki sınıf bulunmaktadır: su ve su olmayan. Çalışmada, Rastgele Orman sınıflandırıcısı, yüksek boyutlu veriyi işleyebilme, hız ve aşırı uyuma dirençli olma özellikleri nedeniyle seçilmiştir (Belgiu & Drăgut, 2016; Roelens vd., 2018). Bu sınıflandırıcı, tahmin doğruluğunu artırmak ve korelasyonu azaltmak için bir torbalama yaklaşımından faydalanan çoklu karar ağaçlarını kullanır (Breiman, 2001). Su kütleleri ve su olmayan alanları sınıflandırmak için 500 ağaçlı bir RO sınıflandırıcısı kullanılmış ve eğitim, vektör su kütleleri sınırlarından türetilen öznelik haritaları ve karşılık gelen ikili referans verilerinin alt kümeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Öznelik haritaları, SLIC süper-piksel algoritması kullanılarak segmente edilmiş ve eğitim verilerindeki her öznelik için tüm süper-piksel segmentlerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu segmentler, RO sınıflandırıcısı eğitim fazı sırasında girdi olarak kullanılmış ve eğitilen RO modeli, kalan öznelik haritalarındaki her piksel için sınıfı tahmin etmek üzere uygulanmıştır.



### 2.2.3 Su kütlesi sınırlarının düzeltilmesi

#### 2.2.3 Water body boundary correction

Bu aşamada, RO sınıflandırma sonuçlarından elde edilen ikili görüntüler, morfolojik işlemler uygulanarak su kütlesi ile kara arasındaki düzensizlikler ve bazı çelişkili küçük pikseller ortadan kaldırılarak düzeltilmiştir. Nokta bulutlarında yüksek saçılım ve veri kaybı nedeniyle su yüzeylerinden güvenilir yükseklik bilgisi almak mümkün değildir (Legleiter, 2012; Bandini vd., 2020). Ancak, bu tutarsızlıklar su kütlelerinin kıyılarında karşılaşmamaktadır. Bu nedenle, su kütlesi sınırlarının düzeltilmesi için su yüzey yüksekliklerinin su kütlelerinin kıyı çizgisinden alınması kararlaştırılmıştır. Bu amaçla, çıkarılan su kütlesi sınırlarına karşılık gelen SAM yükseklikleri toplanmıştır. Doğru su yüzey yüksekliğini elde etmek için bu yüksekliklerle bir yükseklik histogramı oluşturulmuştur. Daha sonra, bu yükseklik histogramının tepe değeri hesaplanmış ve su yüzey yüksekliği olarak kullanılmıştır. Elde edilen su yüzey yüksekliği ve su kütlesi sınırları ile sahte bir su yüzeyi girdi raster boyutlarında boş bir görüntüde su kütlesi sınırları içinde kalan piksellere tespit edilen su yüksekliğinin yazılması ile oluşturulmuştur. Akarsu su kütlelerinde bu işlem, tespit edilen su kütlesi sınırları boyunca belirli aralıklarla (çalışmada 100 m kesit aralığı kullanılmıştır) yerleştirilen kesit noktalarından elde edilen su yüzey yüksekliklerinin akış yönü boyunca enterpole edilmesi ile oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sahte su yüzeyi daha sonra su kütlesi sınırlarının düzeltilmesi için kullanılmıştır. Sahte su yüzeyinin SAM ile kesişiminden elde edilen yeni sınırlar düzeltilmiş su kütlesi sınırları olarak kabul edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Sınıflandırma sonucu elde edilen su kütlesi sınırlarından üretilen sahte su yüzeyi

Figure 7. Synthetic water surface generated from the extracted water body boundaries.

### 2.2.4 Doğruluk ölçütleri

#### 2.2.4 Accuracy metrics

Sınıflandırma sonuçlarının piksel tabanlı doğruluk analizinde, doğru pozitif (DP) hem sınıflandırma haritasında hem de referans haritasında bulunan pikselleri, yanlış negatif (YN) referans haritasında bulunup sınıflandırma sonucunda bulunamayan pikselleri ve yanlış pozitif (YP) sınıflandırma haritasında bulunan fakat referans haritasında olmayan pikselleri temsil etmektedir (Rutzinger vd., 2009). Piksel tabanlı doğruluk değerlendirme aşamasında, F-Skoru, Hassasiyet, Duyarlılık ve Kalite metrikleri hesaplanmıştır (11, 12).

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP+YP} \quad \text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad \text{Kalite} = \frac{DP}{DP+YN+YP} \quad (11)$$

$$\text{F-Skoru} = \frac{2 \times \text{Hassasiyet} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Hassasiyet} + \text{Duyarlılık}} \quad (12)$$

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Bu bölümde, önerilen yaklaşım ile su kütlesi tespitinde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır ve önerilen yaklaşımın uygulanmasıyla elde edilen temel bulgular ve kazanımlar vurgulanmaktadır.

#### 3.1. Öznitelik haritalarının rastgele orman sınıflandırma başarımı

##### 3.1. Classification performance of random forest using feature maps

İlk olarak, RO sınıflandırıcısının performansı analiz edilmiştir. Tablo 3, F-Skoru, Hassasiyet, Duyarlılık ve Kalite metrikleri kullanılarak çıkarılan su sınırları için doğruluk değerlendirme sonuçlarını sunmaktadır. Sonuçları iyileştirmek için, tüm ikili sınıflandırma görüntülerine morfolojik bir açma (morphological opening) işlemi uygulanmıştır, bu da 500 pikselden daha küçük yanlış sınıflandırılmış alanların çıkarılmasına yardımcı olmaktadır.

**Tablo 3.** Öznitelik haritalarının rastgele orman sınıflandırma doğrulukları  
**Table 3.** Accuracy of random forest classification on feature maps

	F-Skoru	Hassasiyet	Duyarlılık	Kalite
Çalışma alanı-1	<b>0.9231</b>	<b>0.8959</b>	0.9520	<b>0.9783</b>
Çalışma alanı-2	0.8782	0.8701	0.8860	0.9162
Çalışma alanı-3	0.9190	0.8880	<b>0.9530</b>	0.9046
Çalışma alanı-4	0.6912	0.7701	0.6269	0.9007
Çalışma alanı-1 akarsu	0.7368	0.6266	0.8941	0.5620

Tablo 3, önerilen yaklaşımın, özellikle yakındaki bitki örtüsünden düşük derecede etkilenen su kütleleri nedeniyle, Çalışma Alanı-1, Çalışma Alanı-2 ve Çalışma Alanı-3 gibi çoğu çalışma alanında yüksek sınıflandırma performansı elde ettiğini göstermektedir (Şekil 8). Çalışma Alanı-4, önerilen yaklaşımın LiDAR verilerine uygunluğunu test etmek için seçilmiştir ve doğruluk analizi sonuçları, önerilen yaklaşımın LiDAR verilerine de başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir, ancak F-Skoru yetersiz eğitim verisi nedeniyle daha düşüktür. Çalışma, önerilen yaklaşımın farklı sensörlerden ve farklı ölçeklerde elde edilen nokta bulutlarından su kütlelerini doğru bir şekilde tespit edebileceğini göstermektedir. Çalışma Alanı-1 Akarsu verileri için önerilen segmentasyon yöntemi göreceli olarak iyi sonuçlar vermiştir. Ancak, çalışma alanındaki nehir, veri toplama zamanına bağlı olarak su kütlelerinin üzerine gölgeler oluşturan yüksek tepelerle çevrilidir. SfM bir görüntü tabanlı algoritma olduğu için, bu gölgeli bölgelerden doğru yükseklik verileri çıkaramaz. Bu sorun, öznitelik çıkarma işlemine de doğrudan etki eder, böylece sınıflandırma işleminin etkinliği azalır. Başka bir dezavantaj, veri toplama sırasında nehrin yoğunlukla kurumuş olması ve görünür zemin parçalarının olmasıdır.

#### 3.2. Su kütlelerinde sınır düzeltme işlemi

##### 3.2. Boundary correction on water body boundaries

Tablo 4, düzeltilmiş su kütlelerinin doğruluk değerlendirmesini ve sınıflandırma sonuçları üzerinde elde edilen iyileştirmeleri göstermektedir. Sınır düzeltme işlemi kullanılarak, çıkarılan su kütleleri sınırlarının iyileştirilmesi mümkündür. Bu sayede SAM üzerindeki gerçek su kütleleri sınırlarına daha kesin bir yaklaşım sağlanabilir.

Çalışma Alanı-1 için, F-Skoru, Kesinlik ve Duyarlılık ölçütlerinde, sınıflandırma doğruluk değerlendirmesi sonuçlarıyla kıyaslandığında %1.59'dan %5.85'e kadar bir artış gözlemlenmiştir. Sınır düzeltme işlemi, F-Skoru, Kesinlik ve Duyarlılık ölçütlerini yükseltirken, Kalite ölçütünde %0.29 oranında bir düşüş yaşanmıştır. Çalışma Alanı-2'de, düzeltilmiş su kütlesi sınırları, yer yüzeyi ile olan sınırlarıyla yüksek derecede örtüşmektedir. Sınır düzeltme işlemi, eksik su kütlesi sınırlarını başarıyla tamamlayabilmiştir. Çalışma Alanı-2'nin açık topografik yapısı ve nokta bulutu verisinde su kütlesi sınırlarında gözlemlenen yükseklik değerlerinin tutarlı olması, bu başarımın elde edilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Ancak, Çalışma Alanı-3 için su kütlesi sınırlarında gözlemlenen yükseklik değerleri, yoğun bitki örtüsü ve SfM nokta bulutlarının doğası nedeniyle tutarsızdır. Bu durum, sınır düzeltme işleminin belirli bölgelerde yetersiz kalmasına ve F-

Skoru, Duyarlılık ve Kalite ölçütlerinde %12'ye varan düşüşe neden olmuştur. Ancak, Kesinlik ölçütünde %10'luk bir iyileşme gözlemlenmiştir (Şekil 9).



**Şekil 8.** Sınıflandırma sonucu elde edilen su kütlesi sınırları. a) Çalışma alanı-1, b) Çalışma alanı-2, c) Çalışma alanı-3, d) Çalışma alanı-4 ve d) Çalışma alanı-1 akarsu.

**Figure 8.** Water body boundaries obtained as a result of classification. a) Study area-1, b) Study area-2, c) Study area-3, d) Study area-4, and e) Study area-1 river.

**Tablo 4.** Düzeltilmiş su kütlesi sınırlarının doğruluk analizi

**Table 4.** Accuracy analysis of corrected water body boundaries

	F-Skoru		Hassasiyet		Duyarlılık		Kalite	
Çalışma alanı-1	0.9576	3.74%	0.9484	5.85%	0.9670	1.59%	0.9754	-0.29%
Çalışma alanı-2	<b>0.9991</b>	13.77%	<b>0.9982</b>	14.72%	<b>1.0000</b>	12.82%	<b>0.9859</b>	7.61%
Çalışma alanı-3	0.9001	-2.09%	0.9814	10.51%	0.8313	-12.77%	0.8887	-1.76%
Çalışma alanı-4	0.9753	<b>41.1%</b>	0.9772	25.71%	0.9973	<b>56.72%</b>	0.9746	8.2%
Çalışma alanı-1 akarsu	0.8851	20.12%	0.8656	<b>38.15%</b>	0.9054	1.27%	0.7429	<b>32.19%</b>





**Şekil 9.** Sınır düzeltme işlemi sonucu elde edilen su kütlesi sınırları. a) Çalışma alanı-1, b) Çalışma alanı-2, c) Çalışma alanı-3, d) Çalışma alanı-4 ve d) Çalışma alanı-1 akarsu.

**Figure 9.** New water body boundaries obtained after the boundary correction process. a) Study area-1, b) Study area-2, c) Study area-3, d) Study area-4, and e) Study area-1 river.

### 3.3. Tartışma

#### 3.3. Discussion

Bu çalışmada, HGM ve TKGM gibi kurumlar tarafından sıklıkla kullanılan sayısal hava kameralarından elde edilen verilerle, su kütlelerinin otomatik olarak tespit edilmesi ve sınır düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Modern bilgisayarla görme teknikleri ve SfM algoritmaları sayesinde, manuel işlemlere olan ihtiyaç büyük ölçüde azaltılmıştır. MATLAB ortamında geliştirilen bu yaklaşım, farklı topoğrafik ve çevresel koşullara sahip alanlarda etkin bir şekilde uygulanmıştır. Çalışmada, yerel geometrik özniteliklerin su kütlelerinin tespitinde etkili olduğu gösterilmiştir. Ancak, LiDAR ve fotogrametrik yöntemlerle üretilen nokta bulutlarında, özellikle su yüzeyine ait yükseklik bilgilerinde tutarsızlıklar ve hatalar gözlemlenmiştir. Bu, sınıflandırma ve modelleme doğruluklarını sınırlayan bir faktör olarak ortaya çıkmıştır.

Çalışmada, veri işleme aşamasında bazı zorluklar ile karşılaşmıştır. Özellikle Kd-tree algoritması, yüksek yoğunluklu nokta bulutlarını işlerken zaman ve bellek yetersizliği sorunlarına yol açmıştır. Bu sorunu çözmek için, çalışma alanı 500×500 m'lik parçalara bölünmüş ve paralel işleme yöntemi kullanılmıştır. Öznitelik çıkarımı için bu yaklaşım, işlem süresini kısaltmış ve bellek yetersizliği sorununu gidermiştir. Ancak, nokta bulutlarından geometrik özniteliklerin çıkartılması zaman açısından maliyetli olmaya devam etmektedir. Sınıflandırma aşamasında, durağan su kütlelerinin tespiti genellikle başarılı olmuş fakat sık bitki örtüsü, gölge, parlama ve saçılım gibi pek çok olumsuz etkinin bir araya geldiği bölgelerde sınıflandırma doğruluğunda belirgin düşüşler gözlemlenmiştir.

## 4. Sonuçlar

### 4. Conclusions

Bu çalışmada, LiDAR ve fotogrametrik yöntemler ile elde edilen nokta bulutları üzerinde 3B yapı tensörü kullanarak üretilen öznetelik haritalarının su kütlelerinin tespitinde kullanım olanaklarını araştırmaktadır. Çalışma alanlarının ortofoto görüntüleri ve oluşturulan öznetelik haritalarına entegre edilmiş ve bu sayede çok bantlı öznetelik haritaları elde edilmiştir. Elde edilen bu haritalar, SLIC süper piksel segmentasyon tekniği ile işlenmiş ve RO sınıflandırıcısı kullanılarak su kütleleri tespit edilmiştir. Önerilen yaklaşım, literatürde sıkça kullanılan Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) ve Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI) gibi indisler yerine, yerel geometrik özneteliklerin su kütlelerini tespitindeki etkinliğini araştırmaktadır. Geliştirilen bu yaklaşım, farklı algılayıcılar ve ölççeklerden elde edilen nokta bulutları için genelleştirilebilir bir çerçeve sunmaktadır.

Yalnızca yüzey öznetelikleri hedeflenerek, oluşabilecek boşluklar doldurulmuş ve spektral bantlar entegre edilerek öznetelik haritaları zenginleştirilmiştir. RO sınıflandırıcısı, her bir çalışma alanına özgü olarak 500 ağaç ile eğitilmiş ve morfolojik operasyonlar ile hatalı sınıflandırmalar düzeltilmiştir. Sınıflandırma işlemi ile tespit edilen su kütleleri sınırlarının doğruluk analizi F-Skoru üzerinden değerlendirildiğinde, Çalışma Alanı-1 için F-Ölçütü: %85.7, Çalışma Alanı-1 Akarsu için %76.6, Çalışma Alanı-2 için %93.7, Çalışma Alanı-3 için %94.9, ve Çalışma Alanı-4 için %73.6, olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, özellikle durağan su kütlelerinin LiDAR veya fotogrametrik nokta bulutu fark etmeksizin başarılı bir şekilde tespit edilebildiğini göstermektedir; ancak akarsu kütlelerinin tespitinde mevsimsel nedenlerden dolayı su seviyesinin düşüklüğünün akarsu yatağında açığa çıkardığı kompleks morfolojik özellikler hem de yüksek bitki örtüsü kaynaklı bazı zorluklar ile karşılaşmıştır. Gelecekte, öznetelik çıkarım süreçlerinin optimizasyonu hedeflenmekte ve bu sayede yaklaşımın daha geniş çalışma alanlarına adapte edilebilirliği üzerinde çalışılacaktır.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu çalışma, HGM tarafından çağrıya çıkılan ve tamamlanan “Su Kütlelerinin Sayısal Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi Modeli Otomatik Hidro-Düzleştirme” adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin doğrulamasının yapılması amacıyla kullanılan LiDAR veri setini sağlayan BİMTAŞ A.Ş.’ye teşekkürlerimizi sunarız.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Fevzi KARSLI danışmanlığında yürütülen “Su Kütlelerinin Sayısal Yüzey ve Arazi Modellerinden Otomatik Olarak Çıkarılması ve Düzleştirilmesi” isimli Doktora Tezinden üretilen bu çalışmada; Samed Özdemir ve Fevzi KARSLI veri toplama, metodoloji, analiz ve yazım aşamalarına eşit derecede 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*

- Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., & Süstrunk, S. (2012). SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(11), 2274–2281. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.120>
- Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, 110–117.
- Bandini, F., Sunding, T. P., Linde, J., Smith, O., Jensen, I. K., Köppl, C. J., Butts, M., & Bauer-Gottwein, P. (2020). Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111487. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111487>
- Belgiu, M., & Drăgut, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Bentley, J. L. (1975). Multidimensional binary search trees used for associative searching, *Communications of the ACM*, 18(9) 509-517.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Canaz, S., Karlı, F., Guneroglu, A., & Dihkan, M. (2015). Automatic boundary extraction of inland water bodies using LiDAR data. *Ocean and Coastal Management*, 118, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.07.024>
- Guo, B., Huang, X., Zhang, F., & Sohn, G. (2015). Classification of airborne laser scanning data using JointBoost. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.04.015>
- Hartley, R. & Zisserman, A. (2004). *Multiple view geometry in computer vision (2nd Ed.)*. Cambridge University Press.
- Kavzoglu, T., & Tonbul, H. (2018). An experimental comparison of multi-resolution segmentation, slic and k-means clustering for object-based classification of vhr imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 39(18), 6020–6036. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1506592>
- Legleiter, C. J. (2012). Remote measurement of river morphology via fusion of LIDAR topography and spectrally based bathymetry, *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(5), 499-518.
- Mazzoleni, M., Paron, P., Reali, A., Juizo, D., Manane, J., & Brandimarte, L. (2020). Testing UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. *Natural Hazards*, May. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03963-4>
- Pauly, M., Keiser, R., & Gross, M. (2003). Multi-scale feature extraction on point-sampled surfaces. *EUROGRAPHICS 2003*, 22(3).
- Pech-May, F., Aquino-Santos, R., & Delgadillo-Partida, J. (2023). Sentinel-1 SAR images and deep learning for water body mapping. *Remote Sensing*, 15(12), 3009.
- Roelens, J., Höfle, B., Dondeyne, S., Van Orshoven, J., & Diels, J. (2018). Drainage ditch extraction from airborne LiDAR point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146(May), 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.10.014>
- Rutzinger, M., Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Rottensteiner, F., & Pfeifer, N. (2009). A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(1), 11–20. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2009.2012488>
- Shaker, A., Yan, W. Y., & LaRocque, P. E. (2019). Automatic land-water classification using multispectral airborne LiDAR data for near-shore and river environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152(July 2018), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.005>

- Smeckaert, J., Mallet, C., David, N., Chehata, N., & Ferraz, A. (2013). Large-scale classification of water areas using airborne topographic LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 138, 134–148. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.004>
- Song, S., Liu, J., Liu, Y., Feng, G., Han, H., Yao, Y., & Du, M. (2020). Intelligent object recognition of urban water bodies based on deep learning for multi-source and multi-temporal high spatial resolution remote sensing imagery. *Sensors*, 20(2), 397. <https://doi.org/10.3390/s20020397>
- Toscano, G. J., Gopalam, U. K., & Devarajan, V. (2014). Auto hydro break line generation using lidar elevation and intensity data. *ASPRS 2014 Annual Conference: Geospatial Power in Our Pockets, Co-Located with Joint Agency Commercial Imagery Evaluation Workshop, JACIE 2014, 2009*.
- Tymków, P., Józków, G., Walicka, A., Karpina, M., & Borkowski, A. (2019). Identification of water body extent based on remote sensing data collected with unmanned aerial vehicle. *Water (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/w11020338>
- Vetter, M., Hofle, B., & Rutzinger, M. (2009). Water classification using 3D airborne laser scanning point clouds. *Vermessung & Geoinformation*, 2, 227–238.
- Wang, Y., Li, S., Lin, Y., & Wang, M. (2021). Lightweight deep neural network method for water body extraction from high-resolution remote sensing images with multisensors. *Sensors*, 21(21), 7397.
- Weinmann, M., Urban, S., Hinz, S., Jutzi, B., & Mallet, C. (2015). Distinctive 2D and 3D features for automated large-scale scene analysis in urban areas. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 49, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.01.006>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314.
- Zheng, X., Godbout, L., Zheng, J., McCormick, C., & Passalacqua, P. (2019). An automatic and objective approach to hydro-flatten high resolution topographic data. *Environmental Modelling and Software*, 116(February), 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.02.007>

## Analysis of customer reviews for digital banking applications with text mining methods

*Metin madenciliği yöntemleri ile dijital bankacılık uygulamalarına yönelik müşteri yorumlarının analizi*

**Burcu SAYIN OKATAN\***<sup>1</sup> , **Handan ÇAM**<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Received: 16.09.2023

• Accepted: 23.10.2023

### Abstract

Virtual services, which provide an important comfort area in today's digital world, are used by the majority of people. Accordingly, digital banking is one of the most used online financial services. In this research, it was aimed to analyze the digital banking services used by bank customers at a high rate and by using text mining methods using a data pool consisting of their comments. In the study, in the light of the data of the Banks Association of Turkey, the digital banking data of the 10 most used private banks and 3 state banks and a total of 13 banks constitute the population. The data covers the period from January 2020 to August 2022. In total, between 1,200,000-1,250,000 raw data were obtained from social media platforms where the relevant banks could be interpreted. Banks were examined one by one; Analyzes about word density were applied, wordcloud data visuals were created, and the perspective on banks was measured with individual sentiment analyses. As a result of the study, the most frequently cited by bank customers are The ease, usefulness, and service fees of digital applications are interpreted. Therefore, it has been understood that the digital services of private banks and public banks do not differ much, but the digital services of private banks are more efficient in terms of usefulness and self-renewal. As a result of the analysis, different suggestions were made to banks within the scope of customer satisfaction and quality service delivery in terms of digital banking services.

**Keywords:** Digital banking, Sentiment analysis, Text mining, Word cloud

### Öz

Günümüz dijital dünyasında önemli bir konfor alanı sağlayan sanal hizmetler, insanların çoğunluğu tarafından kullanılmaktadır. Bu anlamda Dijital bankacılık da en çok faydalanılan çevrimiçi finans hizmetlerindedir. Bu araştırmada da, banka müşterileri tarafından oldukça yüksek oranda kullanılan dijital bankacılık hizmetleri ile yapmış oldukları yorumlardan oluşan veri havuzu kullanılarak metin madenciliği yöntemleri ile analiz amaçlanmıştır. Çalışmada, Türkiye Bankalar Birliği verileri ışığında en çok kullanılan 10 adet özel banka ve 3 adet devlet bankası ile toplamda 13 adet bankaya ait dijital bankacılık verileri anakütleyi oluşturmaktadır. Veriler, Ocak 2020 ile Ağustos 2022 tarihleri arası baz alınarak elde edilmiştir. Toplamda 1.200.000-1.250.000 arasında ham veri ilgili bankaların yorumlanabildiği sosyal medya platformlarından elde edilmiştir. Bankalar tek tek incelenmiş olup; kelime yoğunlukları hakkında analizler uygulanmış, wordcloud veri görselleri oluşturulmuş ve yine tek tek duygu analizleri ile bankalara bakış açısı ölçümlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, banka müşterileri tarafından en çok; dijital uygulamaların kolaylığı, kullanılabilirliği, hizmet ücretleri yorumlanmıştır. Dolayısıyla özel bankalar ile kamu bankalarına ait dijital hizmetlerin çok fazla farklılık göstermediği ancak özel bankalara ait dijital hizmetlerin kullanılabilirlik ve kendini yenileme anlamında daha verimli olduğu anlaşılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bankalara, dijital bankacılık hizmetleri açısından müşteri memnuniyeti ve kaliteli hizmet sunumu kapsamında farklı önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Dijital Bankacılık, Duygu Analizi, Kelime Bulutu, Metin Madenciliği

\*Burcu SAYIN OKATAN; burcusayinokatan@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

All people worldwide are affected by technological advances, people, societies, and economies are affected by technology development and renew their life routines to these developments. The majority of the sectors have gone to change in service, functioning and many more areas due to technological advances.

The banking sector is among the areas most affected by technological developments. With these financial developments, many different fields such as different banking terms, new different products, digital services and products, virtual money have entered the economy sector. Therefore, it is inevitable for the banking sector affected by technological developments to be digitized and become a digital sector in this field (Laukkanen, 2014). Especially digital service opportunities, the increase in the use of computers and mobile phones have become an increasingly important element as new digital services implemented in the banking sector. The share of smart mobile phones with a particularly high usage rate in this area is quite high. Mobile phones have an important place in this sector with digital banking applications. Digital banking services are now being used more instead of traditional banking services. Thus, the banking sector, which has survived the time limit, can serve 24 hours a day. Therefore, physical competition in the banking sector leaves its place to virtual competition in the sense of digitality (Johnsson, 2005; Coelho & Easingwood, 2003).

The developing digital banking sector has made more progress with the Covid-19 outbreak, which has completely taken the world from 2020. In other words, the digital banking sector, which is progressing at normal speed in terms of meeting the need, was among the most important digital services of the period by showing a development at a much higher speed with the pandemic period. In addition, people who already use digital banking have developed digital applications more in terms of use and started to perform their transactions faster. On the other hand, banks that maintain their traditionality have been compelled to move their services to the digital environment in order to keep up with increasing demand and developing technology and have developed well in terms of digitalization (Andrian et al., 2022). Competition in the banking sector in the world has made further progress with digitalization. This situation increased significantly during the Covid-19 Pandemic period. People who have to be independent from the outside world have received online banking services with internet banking and digital banking applications, so banks that have been able to offer this digital service in the best way have been the winners of this period. Therefore, digitized traditional banks and only virtual banks have increased competition by fueling competition (Onashabay, 2021).

Customers can be shown as the most important banking element in the digitalization and development of banks. One of the most important benefits of this changing banking sector can be shown as people's communication with banks. Much more comfortable and fast access is now available. Accordingly, customers who can evaluate this communication in the internet environment have access to service evaluation. These evaluations usually consist of comments that the bank has been criticized positively or negatively by the customer party. These customer comments are mostly made through banks' internet branches, mobile applications, various forum sites and many social media outlets. These comments provide an important repository in terms of the digitalization of the banking sector and its ability to provide a more efficient service in this field (Andrian et al., 2022). Today, the banking sector now, because it performs a large part of its services in Turkey and the world from digital media, development is still realized thanks to customer feedback.

In this research, in the analysis of customer comment data; Text mining methods were used using the python programming language. When the literature on research given in the other section was examined, many studies were found on this subject. The digital banking sector, which has become a particularly popular issue today, where digitalization has accelerated, has become the subject of most different areas. It was taken with customer comments obtained over the internet and text mining methods of different data of the bank and different analyzes were carried out. Accordingly, various forward estimates have been made. The research first mentioned the importance of working with the introduction and continued with the literature review. Later, methodology and implementation were mentioned, and analysis results were evaluated on the server, suggestions and discussion sections were organized on the subject.

## 2. Literature

Facing the large repository brings with it the problem of obtaining the desired data and arranging it. One of the important areas where the desired data acquisition is carried out is the text mining methods that make up

the methodology part of the study. Artificial intelligence techniques are used in text mining methods. There is not much work on digital banking, which is examined by text mining methods. The research on the closest to the research in this field is the 2021 study by [Chang and his friends](#). In this research, artificial intelligence has been applied to provide information and find a viable process that will play a crucial role in providing innovative value in environmental education. In this research, which is stated as two main areas of artificial intelligence and natural language processing (NLP) intelligence agents leading the artificial intelligence trend. Between 2011 and 2020, NLP was adopted for the analysis of research topics of environmental education research journals in the Web of Science (WoS) database, and summary categories and features for environmental education articles were interpreted. In the research, ash data was selected from summaries and keywords of research journal articles analyzed by text mining, cluster analysis, secret Dirichlet allocation (LDA) and co-word analysis methods. By comparing the results of the research, most categories known by K-vehicles and LDA methods have been shown to be the same and share similar words; however, minor differences were obtained in the two categories. Participation of field experts in the research; helped consistency and accuracy of classified topics and documents ([Chang et al., 2021](#)). Again in 2021, emotion analysis (SA) techniques were used by [Ogunleye and Oluwatoba](#) to investigate customers' attitudes towards banking using Twitter data. With the bet they faced in [Ogunleye and Oluwatoba](#) studies; The unstructured nature of the data and word uncertainty stated that it complicates emotion analysis. In the context of this study, it was stated that it is more difficult than DA, Pidgin English in the bank area and the processing of English words in natural language, and it was stated that there was a problem in this regard ([Ogunleye & Oluwatoba, 2021](#)).

Another text mining study is the research of [Park and his friends 2022](#). It is an emotion analysis study based on the shooting and processing of twitter shares of a particular region constructions in America with text mining methods. [Park and his friends \(2022\)](#) aimed to determine the impact of the land bank program on housing satisfaction using Twitter data. Approximately 300,000 Twitter posts with location information created in the city of Detroit in the research. It was collected to determine the degree of sensitivity to each tweet and categorized as positive and negative emotions with emotion analysis to determine the relationship between housing satisfaction and the land bank program. As a result of the research practice, the increase in ownership, the year of construction, the number of properties sold by home value and land banking; It has been determined that it has a negative impact on neighborhood satisfaction in Detroit. Although the results of the study showed that the land bank program did not significantly increase housing satisfaction in Detroit; It has been stated that it makes a partial contribution to the improvement of living standards ([Park et al., 2022](#)). Another research is the research of [Andrian and his friends in 2022](#). In this research, customer satisfaction of digital banking in Indonesia was measured based on the emotion analysis on text data obtained by text mining from Twitter ([Andrian et al., 2022](#)). [Mazinani and his friends](#) aim to introduce the current literature in this field in 2022. In addition, in this research, each system was compared with the rest and its main distinguishing factors were determined. With this article, research that tries to estimate stock prices based on text mining and sensitivity analysis in a systematic review document has been summarized and systematized. Accordingly, research findings showed that text mining analyzes are often used in stock estimates and capital market issues ([Mazinani et al., 2022](#)). Again, most recently, [Ngo and his friends \(2023\)](#) contributed differently to the current literature on CBDC (Central bank digital currency). First of all, this study, which uses social media to investigate public discourses about CBDC worldwide, has identified the most frequently discussed issues related to CBDC among the public worldwide. Unlike this study, authors who comment on the main results of text mining, emotion analysis and regression models measure the attitude towards the currency specifically released ([Ngo et al., 2023](#)).

**Table 1.** The studies closest to the research in the literature

	Author, Year	Subject
Studies examining digital banking with Text Mining methods	<a href="#">Chang et al., 2021</a>	“Applying Text Mining, Clustering Analysis, And Latent Dirichlet Allocation Techniques for Topic Classification Of Environmental Education Journals”
	<a href="#">Ogunleye &amp; Oluwatoba, 2021</a>	“Statistical learning approaches to sentiment analysis in the Nigerian banking context”



Table 1 Continue

	Author, Year	Subject
Studies examining digital banking with Text Mining methods	Park et al., 2022	“Analysis Of Residential Satisfaction Changes by The Land Bank Program Using Text Mining”
	Andrian et al., 2022	“Sentiment Analysis on Customer Satisfaction of Digital Banking In Indonesia”
	Mazinani et al., 2022	“A Comprehensive Review of Stock Price Prediction Using Text Mining”
	Ngo et al., 2023	“Governance and monetary policy impacts on public acceptance of CBDC adoption”

### 3. Method and application

In the research using text mining, text mining was briefly introduced, its varieties were mentioned, and the methods applied were specified.

#### 3.1. Text mining

Text mining provides a framework for maximizing the value of information requested from a large text data; therefore, the rate of preference of text mining techniques has increased steadily in recent years and has created a variety of excess (Hassani et al., 2020). Also, due to the structural centrality of the natural language text, text mining; It also benefits from developments in other computer science disciplines related to the study of natural language. As an important element, text mining uses techniques and methods in computational linguistics based on information extraction, information retrieval and compilation of information obtained (Gonzales et al., 2016). Therefore, text mining refers to the extraction of implicit potentially valuable information and patterns from high-volume unstructured textual data such as natural language texts, automatically or semi-automatically unknown (Feldman & Sanger, 2007).

Text mining is a subfield of data mining that enables obtaining valuable new information from unstructured (or semi-structured) sources (Feldman & Sanger, 2007). The system scheme of text mining is shown in summary as follows.

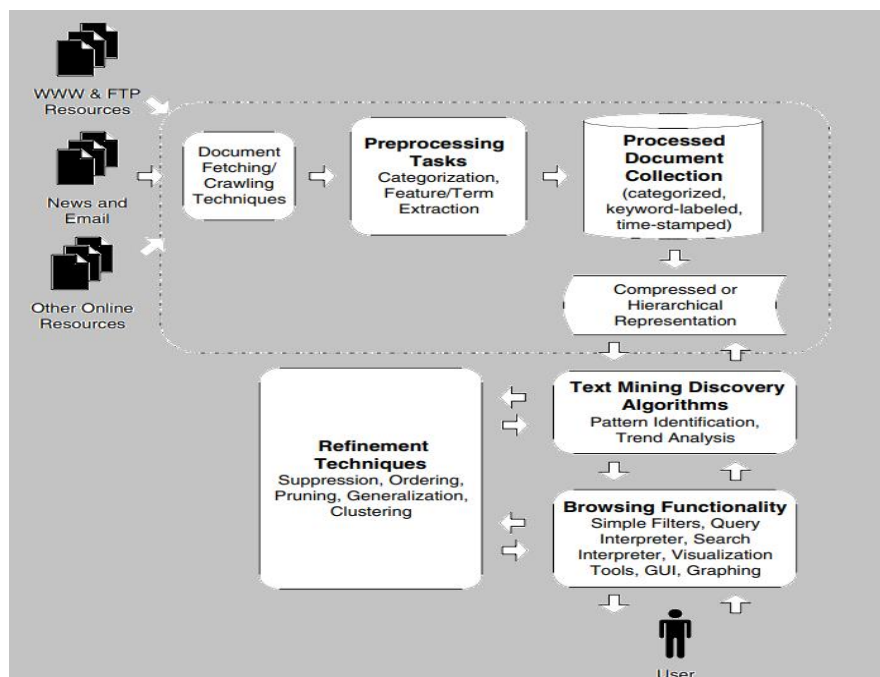
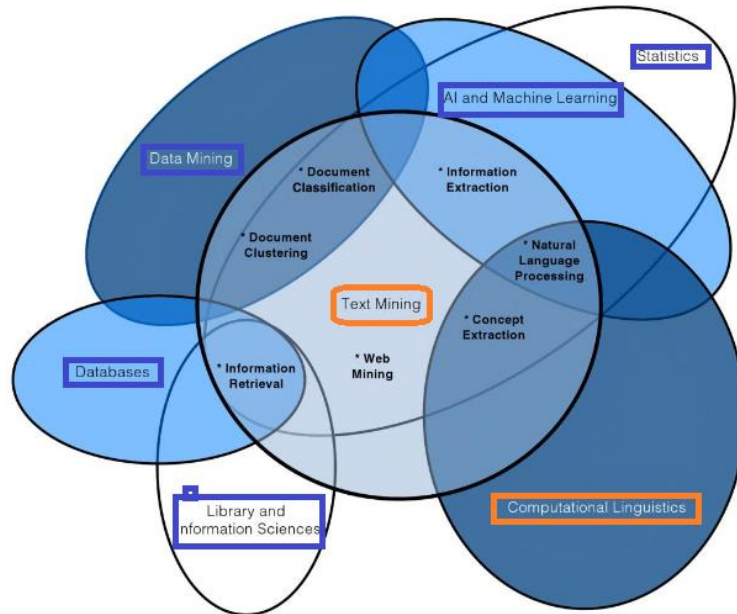


Figure 1. System architecture for generic text mining system (Feldman & Sanger, 2007).

### 3.1.1. Areas where text mining is applied

Text mining is an area that should be focused on as a general concept, similar to the field of data mining. Applications, techniques, and tools under this concept roof have different uses according to different fields of study and disciplines to which text mining is linked. The areas where Text Mining is used are general main topics; document classification and document clustering, information access and extraction, natural language processing, concept extraction and web mining (Miner et al., 2012).



**Figure 2.** Areas where text mining is used (Miner et al., 2012)

Application areas where text mining is related and used directly are shown. Below are briefly stated in the definitions of these areas.

**Document Classification:** Using data mining classification techniques; are applications for grouping and categorizing documents, paragraphs, and terms. In these applications, classification model data is trained with labeled data. It is a controlled type of application (Miner et al., 2012).

**Document Klustering:** Using data mining clustering techniques; It includes grouping and categorizing documents, paragraphs, and terms. (Miner et al., 2012). It is especially used in text analysis discoveries. Application is carried out using unsupervised learning algorithms (Zhai & Massung, 2016).

**Information Retrieval:** It covers the search, storage and acquisition of text data by keyword (Miner et al., 2012: 35). It is the process of bringing many relevant information in connection with the user's search data to obtain many information needed (Zhai & Massung, 2016).

**Information Extraction:** is the process of obtaining information and information relationships from textual data that is unstructured. It is therefore to obtain structured text data from semi-structured or unstructured text data (Miner et al., 2012).

**Natural Language Processing:** a text mining area that is mostly synonymous with computational linguistics, where language processing and language understanding tasks are applied in the lower plan (Miner et al., 2012). Syntax applications obtained by semantic analyzes are examined within the scope of this field.

**Concept Extraction:** The process of dividing words and word groups into semantically similar groups (Miner et al., 2012). It includes the process of summarizing the text by identifying all conceptual possibilities in textual data and determining the most important as a result of algortimic values (Villalon & Calvo, 2009).

Web Mining: applications made in the web environment of text mining with a focus on the interconnection and scales of texts (Miner et al., 2012). If it is a different definition; It is the area where controlled and unsupervised text mining algorithms are used in the automatic discovery of documents in the web environment, extracting information from these documents and creating general patterns (Saini & Mohan Pandey, 2015).

Multiple text mining areas were used in the research. Information extraction and natural language processing areas have been particularly used.

### 3.2. Application

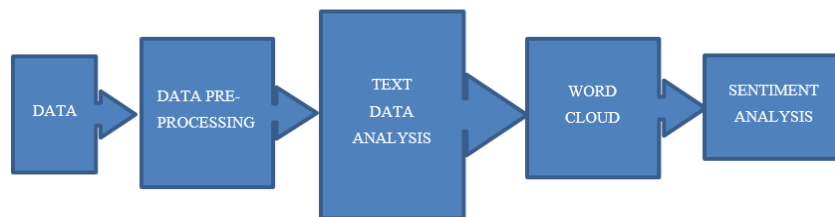
In this section, which could be the focus of the research, user comments were analyzed, and the data obtained as a result of this analysis was shared.

#### 3.2.1. Purpose and importance of the research

As stated in the literature section, a few studies conducted in the light of evaluation data of digital banking services were examined mostly on the basis of a single or a few banks. Additionally, a local research effort was made to determine customer attitudes towards digital banking. Unlike the above-mentioned studies, the purpose of this study is to analyze the digital banking interpretations obtained from freely accessible forum sites and Google Play applications as data sources, by examining the detailed word and emotion densities using text mining methods, and to analyze these digital applications. This study, which aims to look at digital banking in today's Turkey from the customer's perspective, aims to provide clearer inferences by analyzing realistic and first-hand data by applying text mining methods.

#### 3.2.2. Application model and tools used

The text mining application stages are illustrated in the diagram below.



**Figure 3.** Text mining analytics application model (Sayın Okatan, 2023)

The tools used in the study are as follows;

- Many Social Sharing Forum Sites and Google Play constitute data sources
- Python Programming language
- Jupiter Notebook

Various data extraction operations were performed, and text mining was performed on Jupiter Notebook using the Python programming language used in the study. Data pre-processing, machine learning, data analysis and data visualization were performed with the obtained data. Jupyter Notebook is a type of working environment in which we analyze the texts obtained from the internet, run the codes written in Python language, and analyze the cleaned and preprocessed data, so all operations are carried out in this environment.

#### 3.2.3. Application analysis

After determining the working problem, Turkey Banks Association data in the light of the most used 13 Bank data created our general sample set. It was determined as the date range between January 2020 and July 2022. Digital banking comments from 12 banks in total, including 3 state banks and 10 private banks, created the dataset. Data extraction was done with the help of various codes using the Jupiter notebook. In the shooting process, Python programming language was used and completed using various key codes. The total number of uncleaned data is between 1,200,000-1,250,000, and as a result of pretreatments, the total data is determined

around 580,000. On average, there are close to 50,000 data per bank, and certain elements from this data are (News Texts, With the ready expressions and the data that the text general makes no sense, cleaning operations were made by making) and the analyzes were applied as such. Letters determined by the author for the reason that there is no ethical violation regarding the use of their data in the banks study and does not create any perception of bias; B, U, R, C, S, A, Y, I, N, Data outputs were shared, and their analysis was examined by specifying O, K, T, N, G.

The data obtained in the research were processed in the Jupiter notebook with the help of various text mining methods and encodings using the python programming language, taking into account the subject model of the text mining method. Accordingly, the application model and method review are given in detail in the previous sections. In addition, the tools used in the study were mentioned in the application model section. In the study, data preprocessing and machine learning, data analysis and data visualization were made using the Python programming language. Jupyter Notebook refers to a kind of working environment where we analyze texts and run codes written in Python and analyze text data. There are many coding environments where the Python language is used, as well as many non-python programming languages using the Jupiter notebook. However, in the use of the python language as a reason for preference, the Jupiter environment is clear and understandable in terms of design and can be shown to offer an interactive open source working environment. From the data collected, intermediate results were obtained for each bank, which were created in excel form separately. This part, which includes the removal of text from plug-ins like many shape video websites, is the first and very important stage of research. It is also the first stage of text mining, known as pretreatment, to purify this data from punctuation and helpful words - which will not work in analysis.

Preliminary processes, also known as extortion processes, can be shown as the most basic cleaning methods in text mining (Gupta & Lehal, 2009). These extration processes are the processes for editing the comment data we receive as data. So, configuring data is the primary goal at this stage. Text mining, preprocessing the textual data obtained, storing intermediate results for use when necessary, converting the data into structured data with this pretreatment, using some techniques to pass structured data through various analyzes and visualizing the final results (Vijayarani et al., 2015).

In addition, text preprocessing is a method that transfers text to a machine-readable format for further analysis. Text includes steps such as preprocessing, text normalization, rooting and symbolization (Chintalapudi et al., 2021). Text mining analyzes were applied because the data obtained about banks over the Internet are text data. Interpretations are syntactically in different formats. Therefore, they have been subjected to some pretreatments. Various libraries of the python program were used for the analysis of the data set. Selenium, which helps to extract text data from sites with certain input information, in processing the data drawn in the field of Natural Language Processing, NLTK (Natural Language Toolkit), a library containing open source Python modules and datasets to manage and develop our research; reading data in the project, which allows us to work with multi-dimensional arrays and matrices, NumPy ( Numerical Python), Pandas libraries are used, ensuring the availability of data preprocessing and data cleaning stages. String and Random libraries are used, providing complex variable substitutes, the ability to format values and generate random numbers with the method described in the text in the form of built-in string class (Desai, 2019).

Accordingly, each bank comments whose data were withdrawn at the stage of pretreatments (disconnection-extration operations) were handled separately. Using NLTK, Pandas, String and Numpy libraries; dividing the text into desired shapes (usually divided into words) and each bank comments are handled separately to save it to the series, words were cut into pieces and converted to string very format with tokenization i.e. Tokenization (Icification) processes. Punctuation (Nokaat) process was applied by removing the punctuation marks from the text produced by this conversion, and the frequencies of the words were calculated with the FreqDist function and the auxiliary words that were repeated very often. The FreqDist function used here and also in wordcloud analysis is an important step in determining word densities.

Then, the removal of words in the text will not make any difference in meaning; stopping words, pronouns, prepositions, words that do not 'add value' to the research context, etc. Stopwords (Meaningless word extraction) has been implemented to extract unnecessary words such as. In this way, the size of the text data is reduced, and faster processing of the text data is provided (Feldman & Sanger, 2007). Lemmatization (Rooting) has been processed to remove attachments of words, which are the continuation of these word extraction

processes and another step-in simplification. Then in the text with the help of various encodings; Hashtags, usernames, URL links and numerical expressions starting with '#' have been removed.

The texts were cleared of the above-mentioned characters and all elements that prevent analysis; In addition, the normalization process was made, and the regulation was made and made suitable for the analysis.

Word Cloud is a type of analysis that is the visualization of abstract data with schematic or graphical tools. The word cloud was determined as the first data visualization tool used in the study. Word Cloud is an image of many words that imply the content of the analysis document. The words are presented in the section where the application outputs in various shapes and colors are examined according to the frequency and importance of the document. The larger the text form, the higher the number of formations (Jadhav et al., 2022). For this reason, the validity of word cloud outputs is higher due to the excess of the processed text data.

In emotion analysis, Wordcloud is used to find the frequency of dominant words and then draw conclusions based on the subject and condition of the study (Mustaqi et al., 2020). So, it offers the impression of a kind of issue distribution map. Word intensities in certain periods are shown after the extraction of entries (text pretreated) received and edited from forum sites and google play over the Internet. In this analysis, the WordCloud library was used, and data visualized as a used data visualization provider that also tems text data that specifies the dimensional frequency and importance of each word. The wordcloud outputs for each bank are discussed separately, with emotion analysis outputs and sample comments in which the bank's general opinion is understood, in the ubular section.

In the last stage of implementation, it was tried to understand the issues that customers are general bleeding of banks and especially positive/ negative/ neutral from bank comments by analyzing emotions. Emotion analysis, an active research area that has emerged recently; It is a discipline that extracts people's emotions, thoughts, thoughts, and behaviors using the Natural Language Processing (NLP) methods from users' text data (Danneman & Heimann, 2014). Another method used in data visualization in the study is emotion analysis. Emotion analysis is defined as a field where written language analysis is conducted, which allows people to evaluate their emotions, thoughts, and opinions on a particular subject. The Internet has made the lives of people who are highly used in digital banking, especially in the pandemic process and after, and thus created an environment where emotions and thoughts are reflected through social networks. For this reason, emotion analysis has become one of the most preferred analysis tools in text mining and natural language processing due to increased data flow (Al-Hashedi et al., 2022).

Emotion analysis, also defined as idea mining, is often used with the help of python programming language NLTK (Natural Language ToolKit) and TextBlob libraries. TextBlob's output is polarity and subjectivity. Polarity score (-1 to 1); here -1, 'lousy', 'bad', 'useless' and 1, 'beautiful', 'good', 'useful'... defines the most positive words like. The subjectivity score is between (0 and 1), indicating the amount of personal thinking. If a sentence has a high subjectivity and close to 1, it appears that the text contains more personal opinions than real information (Sharma et al., 2014). Emotion analysis was made using textblob, matplotlib and seaborn libraries in the study; A diagram image of this sensitivity analysis was created with neutral, positive and negative variables. To be detailed, the polarity values of the comments were obtained with the textblob library, and these polarity values were visualized as a distribution graph using the seaborn library. The outputs obtained as a result of the analyzes made accordingly will be examined in the findings section below.

## 4. Results

Since the figures obtained as a result of the analyzes made in this section are used in Turkish data, their contents are Turkish, and their originality is preserved. Emotional analysis charts with word cloud outputs and polarities of comments are provided.

### 4.1. B public bank analysis results

As can be seen from the wordcloud output when the comments of Bank B are examined, many customer comments have been reached that there are serious problems with the entry processes regarding the Use of Mobile Bank and that the system has discarded them even if the entry is made. In general, it was noticed that there were serious problems related to the application. The fact that the R&D of the Mobile Banking





#### 4.4. Analysis results of the C private bank

In the comments that the results of the analysis were analyzed, it was emphasized that it became much more complex with the updating of the system. It has been stated that its old applications are much more useful, and it has been shown that the update has been made in general, causing negative comments.

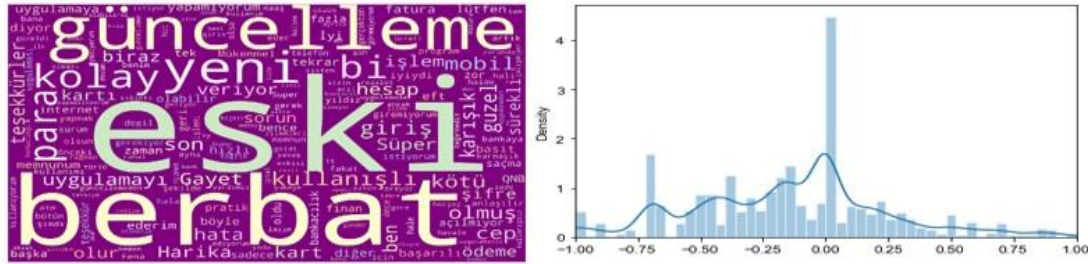


Figure 7. Wordcloud and sentiment analysis chart of C private bank

#### 4.5. Analysis results of the S private bank

Looking at the comments of the S Private Bank, it is remarkable that the interpretations are seriously different and positive. In this sense, it is understood that private banks are different from each other.

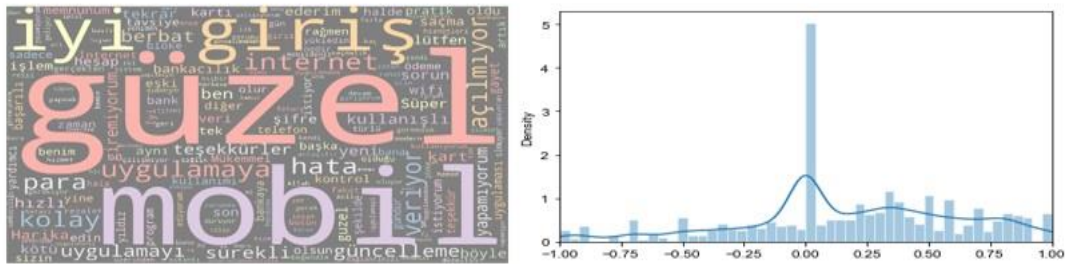


Figure 8. Wordcloud and sentiment analysis chart of S private bank

#### 4.6. Analysis results of the A private bank

Considering the analysis results of bank, A, it is remarkable that the fees cut by the bank are criticized by customers.

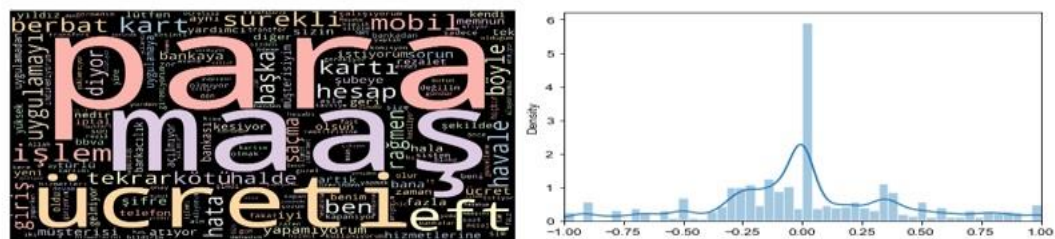


Figure 9. Wordcloud and sentiment analysis chart of A private bank

#### 4.7. Analysis results of the Y private bank

Y Bank is a Private Deposit bank and is a bank that is generally liked by the customers in the first reviews. As seen at first glance, it consists of a good impression of digital banking from the word cloud.

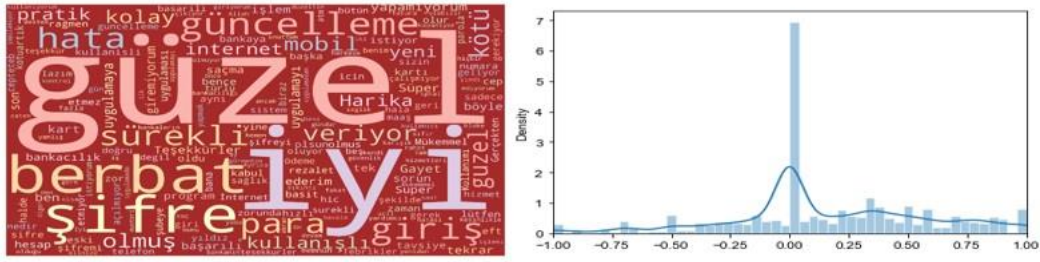


Figure 10. Wordcloud and sentiment analysis chart of Y private bank

#### 4.8. Analysis results of the I private bank

In the majority of the comments made about Bank I, there is thanks and praise to mobile banking services, whether it be internet banking services or mobile banking services. Especially the usefulness, ease, practicality and openness of the application are praised. It is understood from the comments made that customers attach great importance to usefulness and convenience in digital banking. Because satisfaction in this matter generally praises the digitality of the bank.

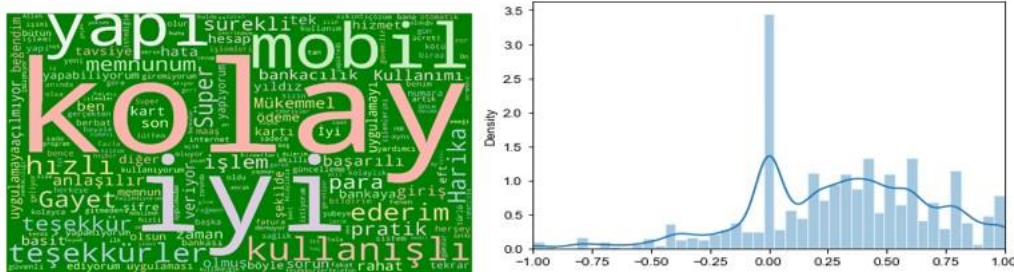


Figure 11. Wordcloud and sentiment analysis chart of I private bank

#### 4.9. Analysis results of the N private bank

N private bank is a private deposit bank that has been serving for many years. The N bank, whose experience in banking is considered to be excessive, has a preliminary impression that contradicts the various analysis results made with customer comment data.

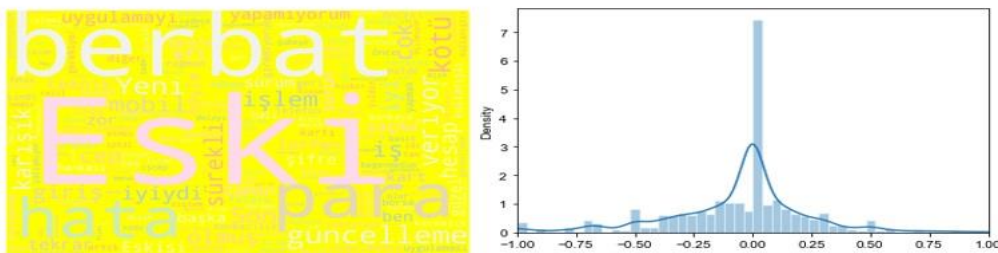
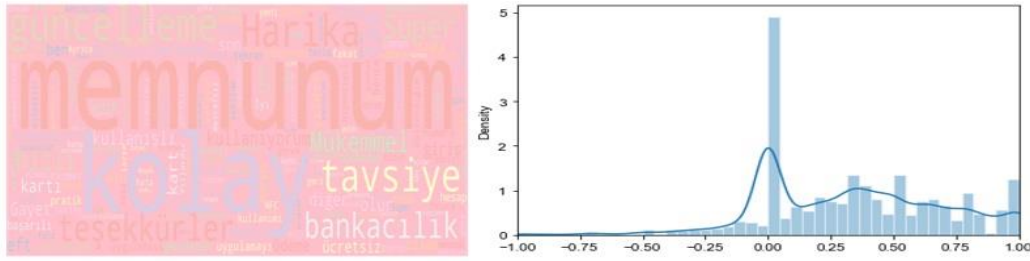


Figure 12. Wordcloud and sentiment analysis chart of N private bank

#### 4.10. Analysis results of the O private bank

The results of the analysis from that bank reveal the bank's success in digital banking. Among the analyzes made, it became a bank that stands out with its positive positivity. Therefore, it can be said clearly that he is successful in digital banking related to the bank.

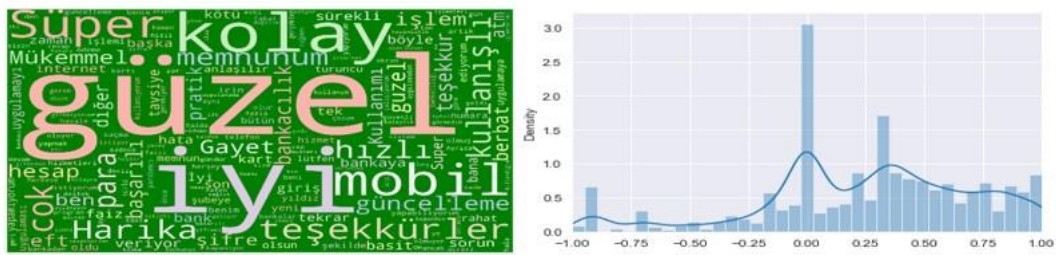




**Figure 13.** Wordcloud and sentiment analysis chart of O private bank

#### 4.11. Analysis results of the K private bank

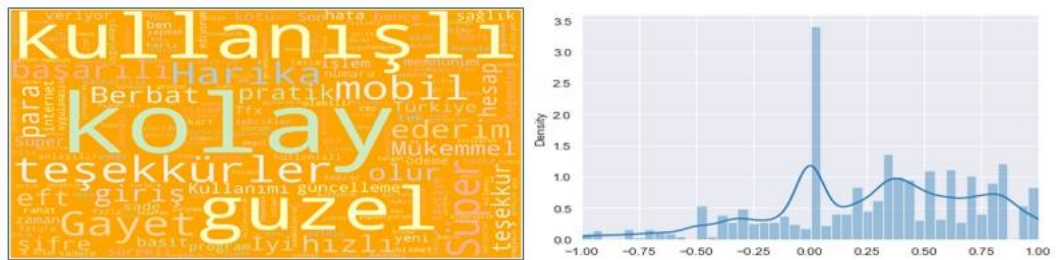
When the interpretative outputs of the K bank are examined, it shows an environment of satisfaction similar to that bank.



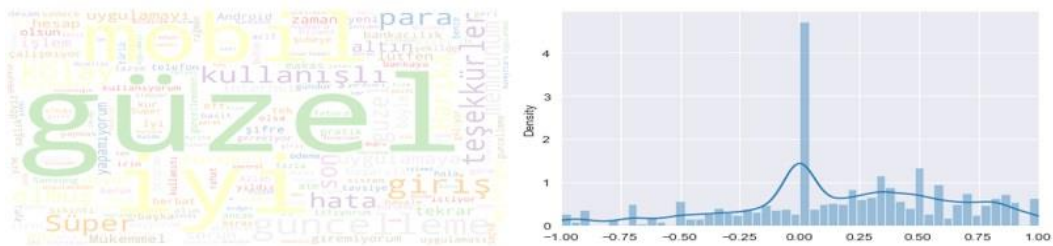
**Figure 14.** Wordcloud and sentiment analysis chart of K private bank

#### 4.12. Analysis results of T and G private participation banks

Private participation banks are important in comparing their analysis with other banks and being compared in themselves. It has been tried to understand how customers' view of the digital banking of these participation banks and what direction their complaints are.



**Figure 15.** Wordcloud and sentiment analysis chart of T private participation bank



**Figure 16.** Wordcloud and sentiment analysis chart of G private participation bank

According to G Bank's T Bank, it shows the negative feeling more. In the emotion analysis, in which both banks evaluated approximately 25 thousand data analysis results, it was seen that the G bank was criticized more on some issues. It is understood that this criticism situation is due to the 'update' problem. People have made many comments regarding the inability to benefit from the services of the bank in question after the update.

#### 4. Discussion

In the results of the analysis, data related to the development of banks and their own development were obtained. However, there are some limitations and points to be developed in the study. If the lack of forum sites that include complaints and comments about internet banking or if it is considered on sites that do not share data, less data on this subject is seen as a constraint of the study. In addition, the fact that the customer who has problems does not give a positive return that his problem has been fixed after writing a comment is another constraint. The analysis, which also compares to the public and private banks, is limited by the fact that the public participation banks are not analyzed. This study can be examined in more detail by adding public participation banks. Another point is Compared to the text data collected; it was understood that the number of comments on public banks was more limited than private banks. Although sufficient comment data has been obtained; this can be demonstrated as the constraint of the study on analyzing public banks.

With this study, an important contribution has been made to the literature in terms of evaluating the digital services of public and private banks through the eyes of customers and seeing the progress in digital banking services of recent years. With other similar studies, its difference was examined, and it was stated that they added it to the literature. It is stated that text data from open access forum sites and open access Google play sites are used over the Internet. It was the first digital banking study to use these resources. As a study close to research, Emotion analysis (SA) techniques were used by [Ogunleye and Oluwatoba in 2021](#) to investigate customers' attitudes towards banking using Twitter data. The Pidgin English used in the research affected the analysis's proper results and it was stated that the desired efficiency could not be reached due to lack of data. The fact that the data density of this research is quite satisfactory, and the sample is wide shows its most important difference. [Ngo and his friends \(2023\)](#), CBDC (The central bank contributes in different ways to the current literature on the digital currency). Unlike this study, the authors who comment on the main results of text mining, emotion analysis and regression models measure the attitude to the currency that was released. Although this study is methodically similar, the evaluated variables differ. Customer satisfaction of digital banking in Indonesia was measured based on the emotion analysis on text data obtained by text mining from Twitter in the 2022 study of [Andrian and others](#). In this article, which is very similar to this study, customers' overview of digital banking was tried to be measured. This research differs from that of [Andrian and his friends](#), as banks are evaluated individually, densities are measured on a word basis, with detailed focal points specified, and data density is incomparably superior. This research, which is different in terms of the source and analysis of this text data with the textual data used, also differs from [Cheng's](#) research in 2021. In addition, [Cheng and his Friends](#) are concentrated on a single bank, and no information about rival banks has been obtained. The work done in terms of revealing digital banking differences with other banks that are important in terms of benchmarking differs. It is seen in the literature under review that it has been observed that studies trying to estimate stock prices based on the results of text mining word cloud and emotion analysis using together or in combination with different analyzes have gained intensity. With this study, which analyzed text data from the data source, where customers convey their ideas of direct application and internet banking, the perspective of more direct digital banking was revealed.

This study was determined by the word cloud from the dominant words, and it was understood that sufficient inferences could be made since the positive and gative perspectives were determined by the emotion analysis. However, by expanding the same study data, research can be conducted with different implications with LDA (Latent Dirichlet Allocation), which is the subject modeling method of text mining methods. In addition, by downloading the returns of banks in digital media, the return data can be examined accordingly and the developments in this sense can be explored.

#### 5. Conclusions

The findings detailed in the application section show that; It has shown that customers use digital banking users much more than internet banking. When the comment data drawn over the internet is examined, it is



understood that customer returns are mostly related to mobile banking. Looking at the general review data, it seems that the mobile banking usage rate is much higher. In addition, it is understood from the comment data; It is understood that the pandemic period has a developmentally positive effect on digital banking. This inference is more about the height of the rate of comment after the pandemic period. The historical information of the comments received shows that the data for the period 2021-2022 are much more. This shows that the rate of digital banking use increased with the pandemic period. In particular, 2022 data shows that digital banking services continue to serve by seriously renewing itself and strengthening its digital infrastructure. However, it is understood from wordcloud outputs that; customers had problems with these renewal and updates of some banks. The fact that the website or application slows down, freezes, and problems with excretion from the system causes customers to give a revision by commenting on these banks, especially when logging in or performing a transaction. These criticisms, which express the negative side especially in the emotion analysis graph, did not leave their place to positive comments when the bank services improved. They are also frequently mentioned in comments in technical status assessments, corrections, renewals and updates. The renewal and updating of an application system that is especially accustomed to causes some criticism of the customer.

The most common in the application findings by customers; usefulness, convenience, service fees, especially in mobile banking, the application has been mentioned to be comfortable and fast. In this sense, in digital banking services, the distinction is noticed between private banks and public banks, even if there are no excessive differences. It has been understood that private banks have updated much more frequently, have more renewal in their digital services and have a solid infrastructure as it is stated to be faster and easier to reach. State banks follow private banks in the back, but it has been understood that it has closed this difference, especially according to the 2022 comment data. In addition, private participation drew attention to the positive difference that does not appear in the word cloud of banks and appears in emotion analysis. The difference between public banks and private banks can be seen as equivalent to the difference between private banks and private participation banks. If it is necessary to rank briefly from the best to the less good; private participation banks, private banks and public banks can be shown.

It is understood that mobile and internet baccarat is more preferred by mobile banking customers within the scope of digital banking. Mobile baccarat gives more confidence in this than being standard, and the fact that smartphone usage is high is the biggest factors. With the satisfactory size of internet banking by becoming more standard, the usage rate can be increased, if not as much as mobile banking.

### **Acknowledgement**

This article was produced from Burcu Sayın Okatan's doctoral thesis.

### **Author contribution**

Res. Ass. Dr. Burcu Mr. Okatan: Creation of data, analysis and evaluation, writing articles.  
Assoc. Dr. Handan Çam: Interpreting the results, writing an article.

### **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-specific permission.

### **Conflicts of interest**

The authors declare that they have no conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

### **References**

Al-Hashedi, A., Al-Fuhaidi, B., Mohsen, A. M., Ali, Y., Gamal Al-Kaf, H. A., Al-Sorori, W., & Maqtary, N. (2022). Ensemble classifiers for Arabic sentiment analysis of social network (Twitter data) towards COVID-19-related conspiracy theories. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2022, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/6614730>

- Andrian, B., Simanungkalit, T., Budi, I., & Wicaksono, A. F. (2022). Sentiment analysis on customer satisfaction of digital banking in Indonesia. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(3). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130356>
- Chang, I. C., Yu, T. K., Chang, Y. J., & Yu, T. Y. (2021). Applying text mining, clustering analysis, and latent dirichlet allocation techniques for topic classification of environmental education journals. *Sustainability*, 13(19), 10856. <https://doi.org/10.3390/su131910856>
- Chintalapudi, N., Battineni, G., & Amenta, F. (2021). Sentimental analysis of COVID-19 tweets using deep learning models. *Infectious Disease Reports*, 13(2), 329-339. <https://doi.org/10.3390/idr13020032>
- Coelho, F. & Easingwood, C. (2003). Multiple channel structures in financial services: a framework. *Journal of Financial Services Marketing*, 8(1), 22-34. <https://doi.org/10.1057/palgrave.fsm.4770104>
- Danneman, N., & Heimann, R. (2014). *Social media mining with R*. Packt publishing ltd.
- Desai, R. (2019, December 26). *Top 10 python libraries for data science*. <https://towardsdatascience.com/top-10-python-libraries-for-data-science-cd82294ec266>
- Feldman, R., & Sanger, J. (2007). *The text mining handbook: advanced approaches in analyzing unstructured data*. Cambridge University Press, 35-46.
- Gonzalez, G. H., Tahsin, T., Goodale, B. C., Greene, A. C., & Greene, C. S. (2016). Recent advances and emerging applications in text and data mining for biomedical discovery. *Briefings in Bioinformatics*, 17(1), 33-42. <https://doi.org/10.1093/bib/bbv087>
- Gupta, V. & Lehal, G. S. (2009). A survey of text mining techniques and applications. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, 1(1), 60-76.
- Hassani, H., Beneki, C., Unger, S., Mazinani, M. T., & Yeganegi, M. R. (2020). Text mining in big data analytics. *Big Data and Cognitive Computing*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.3390/bdcc4010001>
- Jadhav, A., Kaur, M., & Akter, F. (2022). Evolution of software development effort and cost estimation techniques: five decades study using automated text mining approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2022/5782587>
- Jonsson, S. & Gunnarsson, C. (2005). Internet technology to achieve supply chain performance. *Business Process Management Journal*, 11(4), 403-417. <https://doi.org/10.1108/14637150510609426>
- Laukkanen, T. (2014). Internet vs mobile banking: comparing customer value perceptions. *Business Process Management Journal*, 788. <https://doi.org/10.1108/14637150710834550>
- Onashabay, N. (2021). *Effects of COVID-19 pandemic on the key profitability factors of digital challenger banks. Starling Bank case study* [Doctoral Dissertation, Central European University].
- Ogunleye, B. O. (2021). *Statistical learning approaches to sentiment analysis in the Nigerian banking context* [Doctoral dissertation, Sheffield Hallam University].
- Mazinani, M. T., Hassani, H., & Raei, R. (2022). A comprehensive review of stock price prediction using text mining. *Advances in Decision Sciences*, 26(2), 1-36.
- Miner, G., Elder IV, J., Fast, A., Hill, T., Nisbet, R., & Delen, D. (2012). *Practical text mining and statistical analysis for non-structured text data applications*. Academic Press.
- Mustaqim, T., Umam, K., & Muslim, M. A. (2020). Twitter text mining for sentiment analysis on government's response to forest fires with vader lexicon polarity detection and k-nearest neighbor algorithm. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1567(3), 032024. IOP Publishing. <https://doi:10.1088/1742-6596/1567/3/032024>
- Ngo, V. M., Van Nguyen, P., Nguyen, H. H., Tram, H. X. T., & Hoang, L. C. (2023). Governance and monetary policy impacts on public acceptance of CBDC adoption. *Research in International Business and Finance*, 64, 101865. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101865>

- Park, S., Lee, J., & Park, Y. (2022). Analysis of residential satisfaction changes by the land bank program using text mining. *Sustainability*, 14(18), 11707. <https://doi.org/10.3390/Su141811707>
- Saini, S., & Mohan Pandey, H. (2015). Review on web content mining techniques. *International Journal of Computer Applications*, 118(18), 33–36. <https://doi.org/10.5120/20848-3536>
- Sayın Okatan, B. (2023). Investigating customer reviews on digital banking applications through text mining methods, [Doctoral dissertation, Gümüşhane University Graduate Institute].
- Sharma, R., Nigam, S., & Jain, R. (2014). Opinion mining of movie reviews at document level. *arXiv preprint arXiv:1408.3829*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.3829>
- Vijayarani, S., Ilamathi, M. J., & Nithya, M. (2015). Preprocessing techniques for text mining-an overview. *International Journal of Computer Science & Communication networks*, 5(1), 7-16.
- Villalon, J., & Calvo, R. A. (2009). Concept extraction from student essays, towards concept map mining. In *2009 ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 221–225. IEEE. <https://doi:10.1109/ICALT.2009.215>
- Zhai, C., & Massung, S. (2016). *Text data management and analysis: a practical introduction to information retrieval and text mining*. Morgan & Claypool Publishers. <https://doi.org/10.1145/2915031>

## An effective approach for analysis of shoreline change and determination of its future location using satellite imagery: A case study of the Lake Burdur, Turkey

*Uydu görüntüleri kullanılarak kıyı şeridi değişimi analizi ve gelecekteki konumunun belirlenmesi için etkili bir yaklaşım: Burdur Gölü örneği*

Amine KOÇ<sup>1</sup> , Nuray BAŞ<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Department of Geomatics Engineering, 58140, Sivas, Turkey

• Received: 03.03.2023

• Accepted: 23.10.2023

### Abstract

Lake shoreline changes can have a significant impact on the biodiversity and ecosystems of wetland. This study was aimed to calculate the coastal change of Lake Burdur in Turkey during the elapsed period from 2013 to 2023. Within this framework both remote sensing based approach and Digital Shoreline Analysis System (DSAS) was performed using Landsat-7 (TM) and Landsat-8 (OLI) images. To estimate shoreline change rates along the coastal zone, statistical parameters such as End Point Rate (EPR), Linear Regression Rate (LRR), and Net Shoreline Movement (NSM) were calculated. A hybrid algorithm, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Tasseled Cap Analysis, is utilized to emphasize the distinction between the lake bodies and coastal zone. The maximum shoreline change in the northeast part of the lake was observed, and it resulted in a change of 543.12 m/yr for EPR and 610.07 m/yr for LRR statistics in the 2013-2023 time period. The lake to land position has only been observed in a small amount which are resulted in for EPR -4.91 m/yr. and -3.17 m/yr for LRR statistics. The lake area decreased from 139 km<sup>2</sup> to 118 km<sup>2</sup> between 2013 and 2023. The results indicate that if the decision-maker does not measure, the area of the lake will be lost by 14% until 2033 and 27% until 2043.

**Keywords:** Lake Burdur, Nsm-Epr-Lrr statistics, Shoreline change, Tasseled cap

### Öz

Göl kıyı şeridi değişikliklerinin sulak alanın biyolojik çeşitliliği ve ekosistemleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'deki Burdur Gölü'nün 2013-2023 yılları arasındaki kıyı değişiminin belirlenmesi amaçlamıştır. Bu çerçevede Landsat-7 (TM) ve Landsat 8 (OLI) görüntüleri ile hem uzaktan algılama tabanlı yaklaşım hem de Sayısal Kıyı Şeridi Analiz Sistemi (DSAS) yöntemi kullanılmıştır. Kıyı bölgesi boyunca kıyı şeridi değişim oranlarını tahmin etmek için Son Nokta Oranı (EPR), Doğrusal Regresyon Hızı (LRR) ve Net Kıyı Şeridi Mesafesi (NSM) gibi istatistiksel parametreler hesaplanmıştır. Göl ile kıyı bölgesi arasındaki ayrımı vurgulamak için ise, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Tasseled Cap Analizi adlı hibrit bir algoritma kullanılmıştır. En fazla kıyı şeridi değişikliği gölün kuzeydoğu kesiminde gözlenmiş olup, 2013-2023 dönemi için EPR değeri 543,12 m/yıl, LRR değeri ise 610,07 m/yıl olarak sonuçlanmıştır. Göl-kara yönünde meydana gelen değişim EPR -4,91 m/yıl ve LRR -3,17 m/yıl olarak yalnızca küçük bir miktarda gözlemlenmiştir. Göl alanı ise, 2013-2023 yılları arasında 139 km<sup>2</sup>'den 118 km<sup>2</sup>'ye kadar düşmüştür. Elde edilen sonuçlar, eğer otoritelerce önlem alınmazsa göl alanının 2033 yılına kadar %14, 2043 yılına kadar ise %27 oranında kayıp yaşayacağını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Burdur Gölü, Nsm-Epr-Lrr istatistikleri, Kıyı değişimi, Tasseled cap

\*Nuray BAŞ; nuraybas@gmail.com

## 1. Introduction

The shoreline changes of wetlands play a critical role in ecosystems. Over time, the coastline undergoes significant changes due to exposure to nature (Wang et al., 2022) and anthropogenic factors (Addo, 2012). The effects of climate change on the world can be clearly observed due to global warming, which is defined as one of the biggest disasters. There are a lot of lakes/wetlands around the world that are in danger or have a significant decrease in water volume. One of them is Lake Burdur, which is under the influence of climate change and anthropogenic effects and is the seventh largest lake in Turkey.

In recent years, the dams built on the rivers and the use of water in agricultural activity, intense evaporation due to climate change have led to water loss and increased salinity in the Lake. Burdur Lake is an important ecosystem that hosts a large number of animals. Furthermore, it has great important wetland for birds wintering periods. For example, *Aphanius sureyanus* fish lives only in Lake Burdur (Tamer et al., 2020).

Lake Burdur has been consistently observed for years to examine the current situation and potential changes by the General Directorate of State Hydraulic Works. The first measurements were performed in 1959 and the water level was measured at 851.32 m. Over time, water levels have been increasing and decreasing. The lake's surface reached its highest point at 857.62 m in 1970, followed by 841.82 m in 2015 and 837.68 m in 2022. The main causes of negative impacts on the Lake can be identified as unplanned construction, artificial coastal backfill, agricultural irrigation, dam construction, unconscious groundwater use, and global warming. For example, Kale et al. (2019) found that the dam constructed in the Yeşilirmak Delta in Turkey had a major impact on the coastline.

A variety of methods are used to monitor coastal changes in literature. For example, Kuleli & Bayazit (2022) have developed a methodology for measuring shoreline sustainability with phased approach using criteria indicator sets. Today, photogrammetric techniques have been widely used with the development of space technology (Carvalho et al., 2020; Amroini et al., 2009). The most significant one is remote sensing technology, which has included a lot of images. Low resolution image like Spot-Pan, Aster, Landsat, etc. are often preferred because they are not time-consuming and cost-effective (Mitri et al., 2020; Qiao et al., 2018). For example, Dervişoğlu et al. (2022) examined changes in the water surface from 1985 to 2020 using Sentinel-2 and Landsat images. Synthetic Aperture Radar (SAR) images (Pradhan et al. 2018) and UAV technology can be shown as for potential coastal analysis (Lowe et al., 2019).

To calculate shoreline positions of the Lake have been commonly used End Point Rate (EPR), Linear Regression Rate (LRR) and Weighted Linear Regression (WLR) statistical analysis (Mishra et al., 2021; Dey et al., 2021).

In recent years, several pixel-based classification methods have been widely used as an active research topic in the field of remote sensing. Iterative Self-Organizing Data Analysis (ISODATA) was first introduced by Ball and Hall in 1965 and has been used by many researchers (Abedisi et al., 2021; Santa et al., 2023). Similar to classification methods, a number of methods have been utilized as a water spectral index for shoreline detection. The Normalized Difference Water Index (NDWI), and Tasseled Cap were successfully applied the coastal areas (Aishi & Hasan 2022).

Many more countries, including Turkey, have been facing a reduced availability of surface water resources due to global warming. Understanding the changes in these resources from the past to the present can help us avoid facing dangerous situations in the future.

Our objective in this study is to accurately determine the future and most recent positions of Lake Burdur to overcome this problem. In this context, shoreline extraction of the Lake Burdur was carried out by using Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR) and Linear Regression Rate (LRR) statistical methods via DSAS tools. The analysis involved the use of Landsat images with time intervals (2013-2015-2017-2021-2023). Specific details of the study include:

- (1) To achieve a more efficient result of land/lake discrimination, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Tasseled Cap combination were utilized.



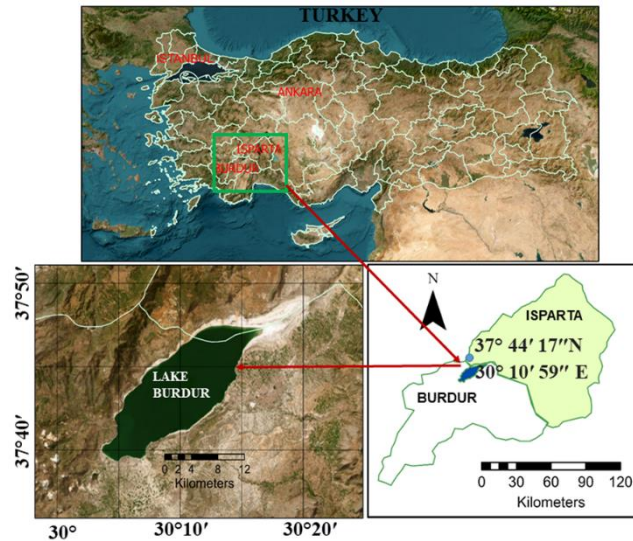
(2) The future shoreline positions were forecast for Burdur Lake in the 2033–2043-time intervals.

This study's purpose was to provide advice to the authorities and draw attention to the danger of coastal retreat in Lake Burdur.

## 2. Material and method

The materials and methods used in the study are presented in the following chapters.

### 2.1. Study area and data



**Figure 1.** Location of the study area (a) geographic coordinates (b) Satellite image of Burdur Lake

Lake Burdur, located at the border between Burdur and Isparta provinces in Turkey, was chosen as the study area (Figure 1). This tectonic origin and large salinity lake is geographically located between 37° 44' 18" North Longitude and 30° 11' 00" East Latitude. Lake Burdur is one of the largest and deepest lakes in Turkey. The length of the distance is 34 km, and the width is 9 km. The elevation is 842.87 meters high. The water level was measured at 851.32 m for the first time in 1959. In 1970, this level reached its highest level at 857.62 m, but it has steadily decreased over time. The city settlements are situated to the east of Burdur Lake. The population is reported by TUIK as 273799 people (TUIK, 2022). Lake water is not used for domestic and agricultural purposes due to its high salinity and arsenic content. Despite the increase in precipitation since 1995, water levels are still declining due to the retention of stormwater in dams and ponds.

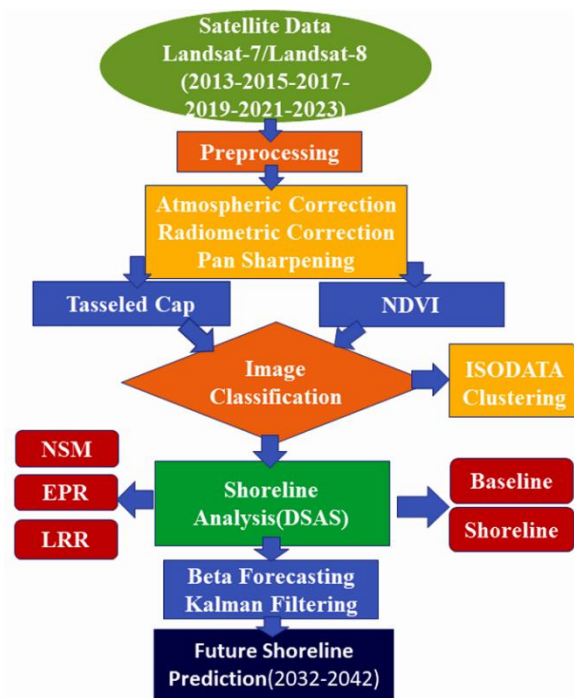
In this study, Landsat-7 (TM) and Landsat-8 OLI have been used as freely downloadable data from the United States Geological Survey (USGS) website (Table 1), (Survey, 2022). The resolution of the images is 15m panchromatic and 30m multispectral. These images were used by selecting the lowest cloud (10%) in terms of data quality. The data used in this study include the dates of 05/20/2013- 05/26/2015- 05/24/2017- 05/14/2019- 05/26/2021-04/30/2023. The month of May was chosen primarily because of the average rainy season.

**Table 1.** Satellite image properties used in study.

Landsat-8 OLI/TIRS(2019-2021) Bands	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Landsat 7 TM (2013-2017) Bands	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )
Panchromatic		Panchromatic	0.52-0.90
Band 1-Coastal aerosol	0.43-0.45	Band 1-Blue	0.45-0.52
Band 2-Blue	0.45-0.51	Band 2-Green	0.52-0.60
Band 3-Green	0.53-0.59	Band 3-Red	0.63-0.69
Band 4-Red	0.64-0.67	Band 4-(Near-IR)	0.77-0.90
Band 5-(NIR)	0.85-0.88	Band 5-(Mid-IR)	1.55-1.75
Band 6-Swir-1	1.57-1.65	Band 6-Termal-IR)	10.31-12.36

## 2. 2. Method

Figure 2 presents the flow chart of the study's methodology.



**Figure 2.** Flowchart of the proposed method

This study is divided into four stages. Preprocessing and image processing: Atmospheric and radiometric corrections and pan sharpening applications were applied to all Landsat images using QGIS software. To enhance the spatial resolution of the Landsat images, pan sharpening techniques were used. (2) Combined Tasseled Cap and NDVI analysis: In this study, the NDVI and Tasseled Cap combinations were used to determine the coastal boundary more clearly. The Tasseled Cap transformation and the process of wetness, brightness and greenness have been applied to all images. (3) Unsupervised Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) Classification: After the NDVI and Tasseled cap operations, ISODATA classification was applied to the composite images to generate classified images. (4) DSAS Analysis: The DSAS tool, an add-on to ArcGIS 10.4 software, was used to calculate the change rate of coastline line within the specified time interval. Finally, the Beta forecasting toolbox and the Kalman Filtering method were utilized to obtain coastal forecasting for the next 10 and 20 years.

### 2.2.1. Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA), NDVI analysis and Tasseled Cap algorithm

Iterative Self-Organizing Data Analysis (ISODATA) is commonly utilized in remote sensing applications for large areas. This algorithm divides the image pixels into user-specific groups. Furthermore, the classified image was grouped into two categories (land and water). Before applying this process, atmospheric and radiometric corrections were performed on the image. To reduce errors, it is necessary to apply pre-processing steps to the image, including atmospheric and topographic effects, the angle of reflection from the sun, cloud effect, and shadow (Canbaz et al., 2018; Canbaz et al., 2017).

In the next steps the hybrid methods which were Tasseled cap and NDVI method was performed to enhance spectral discrimination of water body. Tasseled cap provides an analytical approach, giving measure of greenness, wetness and brightness of each pixel over a long or short time period. As a result, to increase the performance of the classifications, the spectral indices NDVI and brightness, greening and wetness Tasseled Cap process was carried out before the ISODATA classification (Samarawickrama et al. 2017). These processes were applied together in order to increase the sharpness between water and land on Landsat

OLI/TIRS satellite images belonging to the years 2013 - 2015 - 2017 -2019 - 2021 - 2023 (Eq.1,2,3,4) (Thieler et al. 2009). The Red (Band 4) ve NIR (Band 5) was applied in Equation1.

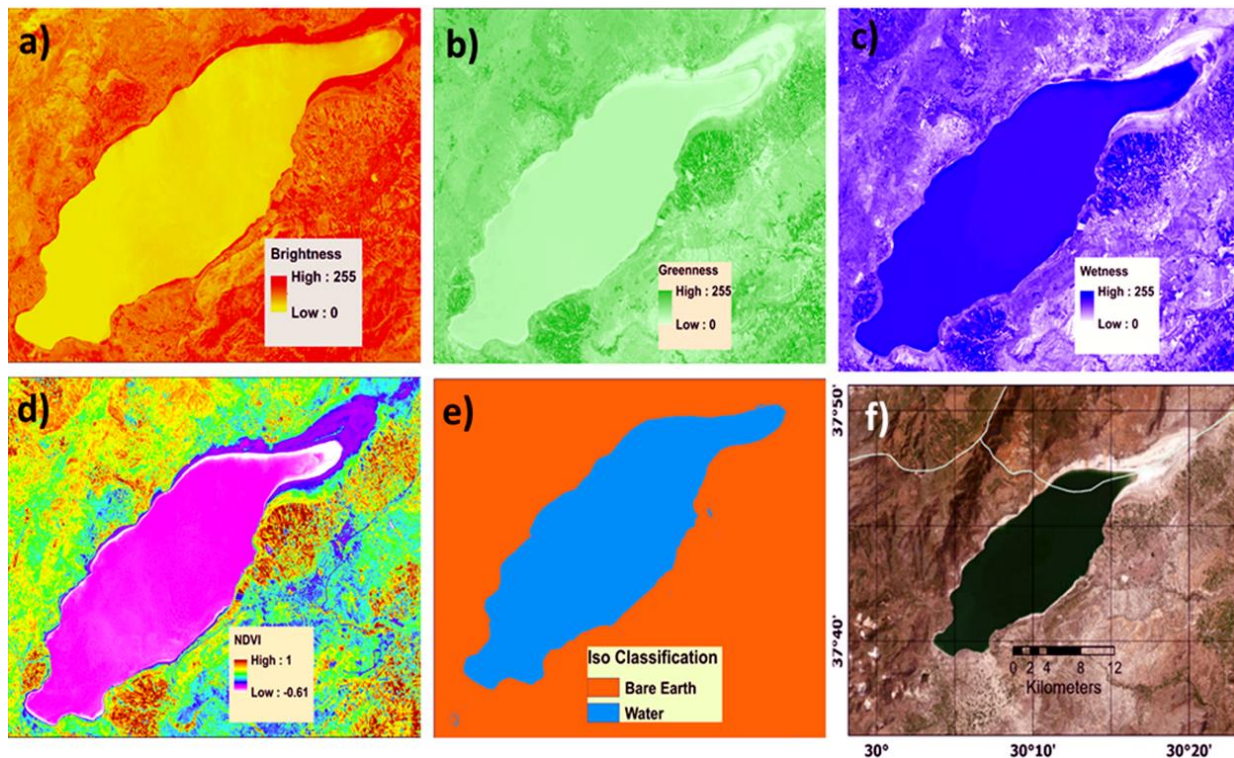
$$\text{NDVI} = (\text{Bant 5} - \text{Bant 4}) / (\text{Bant 5} + \text{Bant 4}) \quad (1)$$

$$\text{Brightness: } b1*0.3029+b2*0.2786+b3*0.4733+b4*0.5599+b5*0.508+b6*0.1872 \quad (2)$$

$$\text{Greenness: } b1*(-0.2941) +b2*(-0.243) +b3*(-0.5424) +b4*0.7276+b5*0.0713+b6*(-0.1608) \quad (3)$$

$$\text{Wetness: } b1*0.1511+b2*0.1973+b3*0.3283+b4*0.3407+b5*(-0.7117) +b6*(-0.4559) \quad (4)$$

In the second step, the shorelines were automatically extracted by assigning the value-1 as Id-1 to the bare earth class and as the value-2 as Id-2 to the water class using unsupervised classification (Thieler et al. 2009), (Figure 3.)



**Figure 3.** Classification progress of water body extraction (a) Brightness, (b) Greenness, (c) Wetness (d) NDVI (e) ISO Classification (f) satellite image of study area

### 2.2.2. Extraction of shoreline change rates

In this study, NSM, EPR and LRR statistical methods were used to determine the shoreline changes. Detailed information about periodic and general changes in the coastline can be obtained from these statistical values (Thieler et al., 2009; Nassar et al., 2018). By dividing this distance by time, an EPR statistic can be obtained. The LRR statistic provides data on the time change of all coastlines that intersect a profile line. NSM determines the distance between the oldest and most recent coastline as a statistic, not a rate. The shoreline changes as NSM and EPR statistics requires data from at least two different dates. However, LRR requires all observed time along the shoreline.

The Digital Shoreline Analysis Software (DSAS) 5.0 an extension of the ArcGIS 10.4 software was used to determine shoreline change rates. DSAS software is an image processing and regional change detection method that calculates rate of change statistics from historical shoreline location with multiple multi-temporal Landsat data (Kuleli, 2010; Kuleli, 2011).

A buffer zone that was 500m long and parallel to the shoreline of 2023 in the direction of the lake was determined during the analysis. A total of 1889 transects were built, with each transect having a distance of 25m. In order to accurately calculate the coastline dynamics, the DSAS model requires the uncertainty error value as input. Due to the Landsat data's spectral resolution of 30m, the default data uncertainty value was set to 30m. At the end of the analysis, the statistical values for NSM EPR and LRR values were calculated for lake-to-land and land-to lake positions.

### 3. Results

In this paper the most recent position of the Burdur Lake evaluated that by using NSM, EPR and LRR statistics of the DSAS tool. The analysis focused on changes for a 10-year period (2013-2023). To evaluate detailed analysis, the period was divided into three intervals: 2013-2017, 2015-2019, and 2019-2023. In this analysis while the EPR and NSM were used for the short-term analysis of the youngest and oldest coastal lines, the LRR indicated a long-term analysis using the least square regression method during the process. Therefore, all shoreline periods from 2013 to 2023 are used for LRR calculation using cyclic trends. Statistical results of these calculations are presented in Table 2. In this table, the rate of shoreline change from land to lake is indicated by the positive values, and the rate of change from lake to land is indicated by the negative values.

According to the finding the maximum land to lake change for the EPR value was obtained as 880.33 m/yr during the period of (2015-2019) and the minimum change movement was revealed as 405.55 m/yr between (2019-2023). On the other hand, the maximum value for EPR was observed at -17.34 m/yr during the 2019-2023 for the lake to land positions. The minimum EPR value for lake to land positions during 2013-2017 was -1.71 m/yr.

According to the LRR value the maximum change rate from lake to land positions was -3.17 m/yr while the change from land to lake was 610.07 m/yr for the years (2013-2023). There was a maximum shoreline movement calculated at 3492.41m for the NSM statistical results in the 2015-2019 period. During the years of 2019-2023, the minimum NSM movement for land to lake positions was 1606.66 m. On the other hand, the maximum NSM movement for lake to land positions was -68.71 m for the years 2019-2023.

**Table 2.** Statistical results of EPR NSM and LRR along the Burdur Lake shoreline location

Statistics	2013-2017	2015-2019	2019-2023	2013-2023
<b>EPR</b>				
Land to lake	550.91	880.33	405.55	543.12
Lake to land	-1.71	-7	-17.34	-4.91
Average	25.39	29.98	33.68	28.47
Standart deviation	51.07	64.76	46.63	50.42
<b>NSM</b>				
Land to lake	2209.68	3492.41	1606.66	5401.46
Lake to land	-6.85	-27.77	-68.71	-48.82
Average	101.82	118.94	133.42	283.09
Standart deviation	204.82	256.91	184.72	501.44
<b>LRR</b>				
Land to lake				610.07
Lake to land				-3.17
Average		Cyclic trend		29.41
Standart deviation				54.93

The study revealed that the movement of land-to-lake change rate in Burdur Lake was more dominant than the movement of lake-to-land. Figure 4 shows the results of EPR, LRR, and NSM values for Lake Burdur during the long-term period (2013-2023) in a general perspective. The maximum net shoreline movement to the land-to-lake in Section 1 was found to be 5401.50 m. In the Section highlighted by number 2, the maximum net shoreline movement in the lake-to-land was -48.90 m. Furthermore, the maximum EPR for lake-to-land was 4.91m/yr and the maximum LRR was -3.17m/yr. in Section 2.



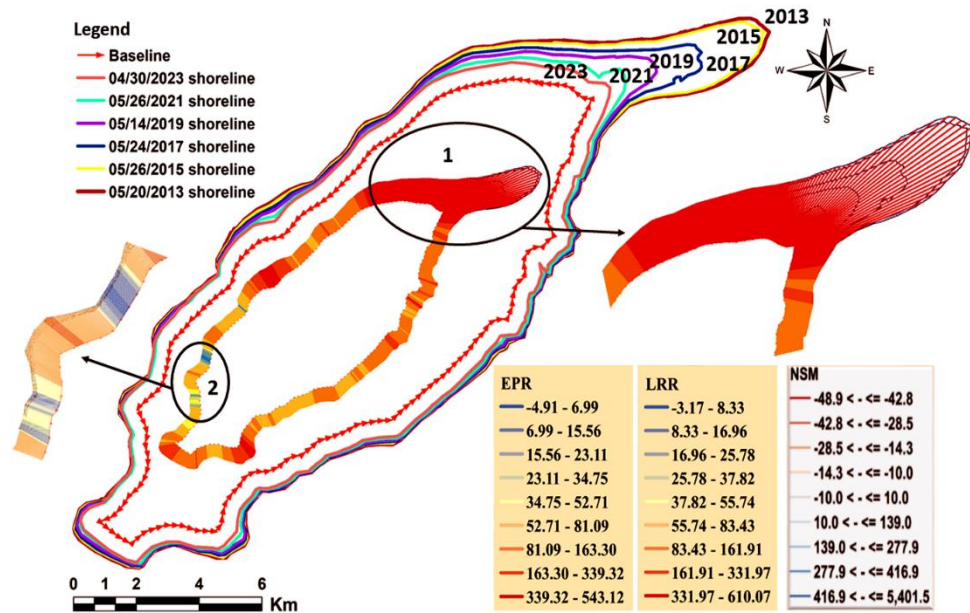


Figure 4. The results of NSM value of Lake Burdur during the period (2013-2023)

The higher shoreline movement of the Lakes, which is mentioned in Figure 4, is shown in Figure 5 with a more in-depth perspective. Figure 5a-b-c shows the EPR, LRR rate of change, and NSM value between 1795 and 1876 transect number. This region has a maximum change from land to lake. In addition, Figure 5d reveals the rate of change value for EPR and LRR in the section of (1795-1876) transects. The graph indicates that EPR and LRR values are very close to each other. The results obtained by EPR and LRR techniques in predicting shoreline change dynamics are very similar (Barik et al., 2019). In this region the maximum shoreline rate of change was 543.12 m/yr for EPR and 610.07 m/yr for LRR in (transect 1810) for land-to-lake (Figure 5 a-c).

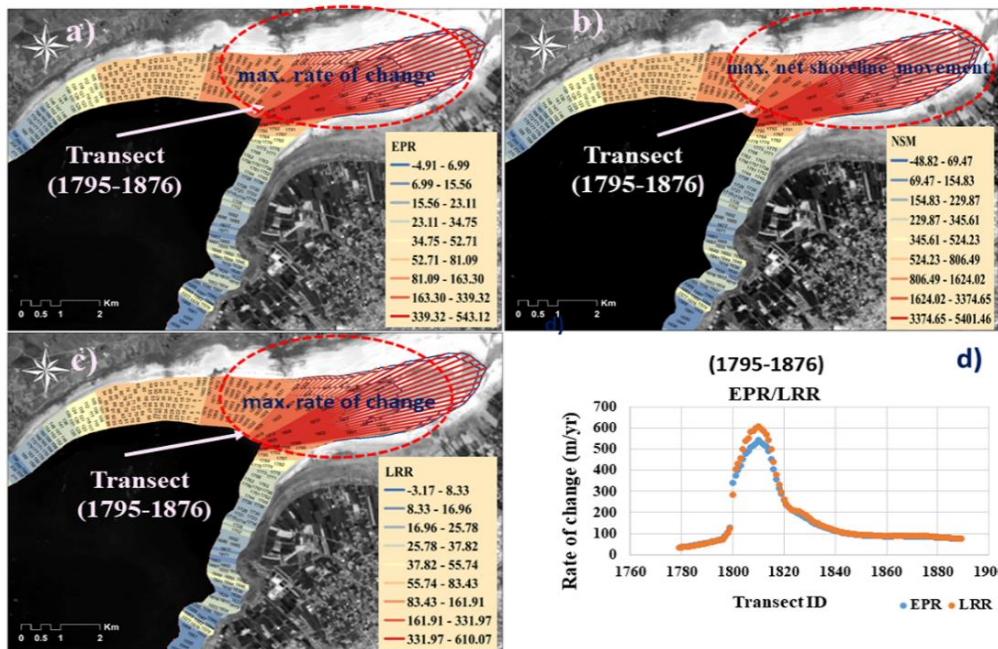
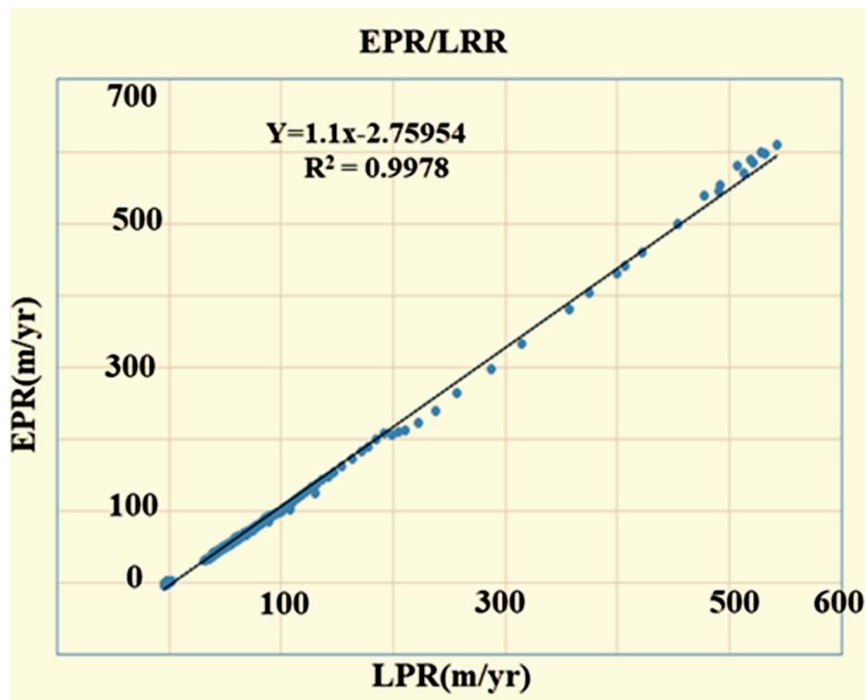


Figure 5. EPR, LRR, and NSM values from the land to lake during the period 2013-2023. (a) EPR values (m/yr) computed for transects (1795-1876) (b) NSM (m) value computed for transects (1795-1876) (c) LRR values (m/yr) computed for transect (1795-1876) (d) The relation of EPR and LRR values (m/yr) computed for transect (1795-1876).

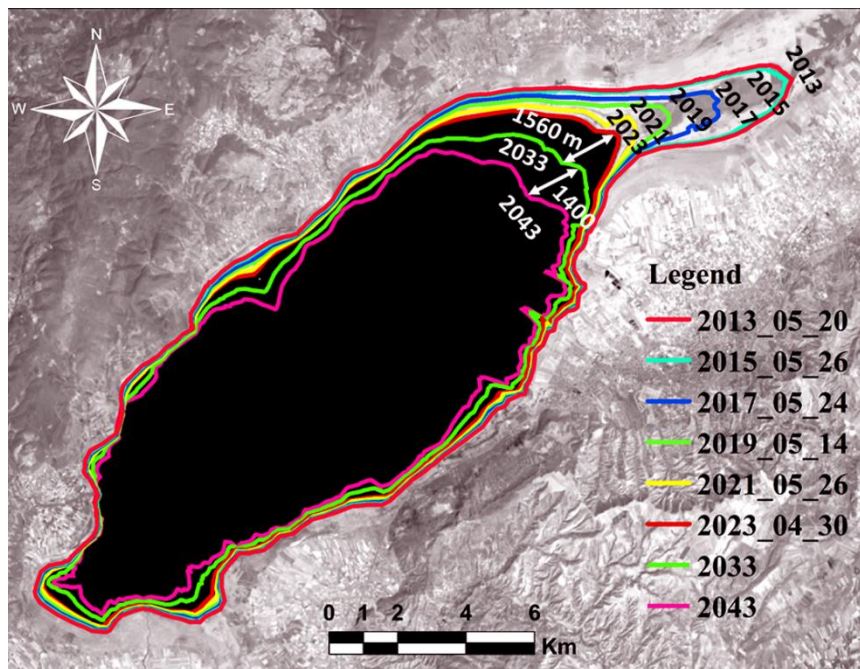
Figure 6 displays a comparison graph between EPR and LRR methods. The regression analysis graph indicated a close relationship between these two methods, resulting in an R-squared value of 0.99m.





**Figure 6.** Comparison of EPR and LRR values between 2013 and 2023

The purpose of this study was to determine the future (10- and 20-year) positions of the shorelines in Lake Burdur. In this context, the Kalman Filter approach has been applied to those processes (Kalman, 1960). This approach accepts that a linear regression a good position in the past. The methods use least square by combining the observed shoreline with derived from the model. Consequently, the positional uncertainty of the shoreline was estimated every 10th of a year at each time step. Figure 7 shows the estimated the future positions of Lake Burdur for the time of 2033 and 2043. According to the obtained results it is estimated that the lake would be advance approximately 1560 m in the direction of the lake in 2033 compared to current position and 1400 m in 2043 compared to position of 2033.



**Figure 7.** The projected future positions of Lake Burdur for 2033 and 2043 years

Furthermore, results show that the lake area decreased from 139 km<sup>2</sup> to 118 km<sup>2</sup> during the period (2013-2023) based on manual digitization from Google Earth images. If the current situation continues, the lake area will

decrease by about 14% by 2033 (101 km<sup>2</sup>). Moreover, it is predicted that 27% of its current area will be lost within 20 years.

#### **4. Discussion**

In this study, possible shoreline rates and positions in Lake Burdur were investigated. The shoreline change of Lake-to-land and opposite direction were evaluated using remote sensing technique and DSAS statistical analysis for the years 2013-2023 and future positions. Especially in the northwest, there is a high number of movements compared to other shoreline environments. Unfortunately, this situation will continue in the future.

As previously mentioned, assumptions in the results section with statistical value may not always be accurate. The findings obtained in this study are calculated entirely based on statistical values. Therefore, many factors could affect the future positions of the lake. The lake level can experience significant changes over time due to both natural and human causes, including global warming, precipitation, streams, groundwater, and tectonic movements. Delta morphology is greatly affected by coastline changes. For example, [Gözükara et al. \(2020\)](#) determined that the temporal and spatial differences between the old and current bottoms are due to differences in the physical and chemical properties of the soil of Lake Burdur. Moreover, slope can be corresponding to the depression floor in the lake topography ([Bahadır & Özdemir, 2011](#)). The negative situation on the shoreline of Burdur Lake may have been influenced by factors such as temperature, precipitation, and drought. According to [Alevyakalı \(2023\)](#), it was observed that the decrease in lake level stopped and even increased in the years following the period of extreme rainfall (2003-2015).

In the literature, there are many studies on Burdur lake current and future shoreline positions. For example, [Sabuncu \(2020\)](#) identified a decline in lake area from 206 km<sup>2</sup> to 125 km<sup>2</sup> (40%) over the period. Similarly, [Davraz et al. \(2019\)](#) reported a decrease from 210 km<sup>2</sup> to 131 km<sup>2</sup> (37%) over the period (1975-2016). Furthermore, [Şener et al. \(2005\)](#) investigated the period (1975-2002) and calculated a decrease from 210 km<sup>2</sup> to 153 km<sup>2</sup> (37%). Moreover, [Hepdeniz \(2020\)](#) has determined that the area of the lake will shrink by about 87.2 km<sup>2</sup> by 2040 using satellite images. [Sarp & Özçelik \(2017\)](#) found that it lost approximately one-fifth of its area from 1987 to 2011 compared to 1987.

More research is required by researchers to transform this negative situation in the lake into a positive situation in terms of ecology and natural resources. The results of this study showed that the lake region had continued to decline in parallel with the research mentioned in the literature above.

In this study, all calculations were performed with an uncertainty of +-10 m and a confidence interval of 95%. Different results may be produced if the digitization and classification errors have been eliminated on the image or if more accurate image data have been used.

#### **5. Conclusion**

Water resources have decreased over the past decade due to global warming, drought, and other environmental effects. The objective of this study is to better understand the position of Lake Burdur and to predict future uncertainties in the 2013-2023 time period. In this context, a remote sensing-based methodology and DSAS analysis are performed to detect these changes. Analysis of the Tasseled Cap and the NDVI spectral indices adopted for the study emphasized the differences between the land and the body of the lake before the DSAS analysis during the process. All those methodologies have been implemented in Lake Burdur, which is also known as Turkey's 7th largest lake with tectonic properties and hosts many bird species. The present research study evaluates shoreline changes for period of from 2013 to 2023 for three different time period (2013-2017), (2015-2019), (2019-2023).

The average rate of shoreline changes, which include EPR, LRR, and NSM rates, was determined using the DSAS extension integrated into ArcGIS software. EPR and LRR statistics were utilized to calculate the maximum shoreline change rates from lake to land and opposite way during the time period and NSM method was used to determine the net shoreline movement. Upon taking into account all the transects, it was observed that the rate of land-to-lake change in Burdur Lake was more dominant than the maximum rate of lake-to-land positions. Consequently, it has been thought that if the negative situations continue, the future positions of Burdur Lake will be worse. This study can be a guide for decision makers by adapting it to better understanding

of coastal dynamics, protection of water resources during the experienced effect of global warming in recent years. Further research can be extended by adding different data sources, such as meteorological and deep topography, based on this study.

### Author contribution

The authors of this article contributed to the planning of the study, making the necessary calculations and other processes, interpretation, and preparation of the article.

### Declaration of ethical code

We declare that none of the actions specified under the heading "Acts Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" have been taken."

### Conflicts of interest

The author declares that they have no competing interests.

### Acknowledgement

The study is related to a portion of Amine Koç's Master's thesis. The Authors would like to thank the United States Geological Survey (USGS) for the Landsat satellite imagery. We sincerely appreciate all valuable comments from editors and reviewers, which helped us improve the quality of the manuscript.

### References

- Adebisi, N., Balogun, A.L., Mahdianpari, M., & Min, T.H. (2021). Assessing the impacts of rising sea level on coastal morpho-dynamics with automated high-frequency shoreline mapping using multi-sensor optical satellites. *Remote Sensing*, 13, 3587. <https://doi.org/10.3390/rs13183587>
- Aishi, A.F., & Hasan, K. (2022). Time-series analysis of landcover dynamics and their relation with coastline migration along Kuakata coast, Bangladesh using remote sensing techniques. *Geology, Ecology and Landscapes*. <https://doi.org/10.1080/24749508.2022.2097374>
- Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yayla, O., Bilgin, T., & Akpınar, H. (2023). Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 82, 37-50. <https://doi.org/10.17211/tcd.1287976>
- Appeaning Addo, K. (2013). Shoreline morphological changes and the human factor. Case study of Accra Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, 17(1), 85–91. <https://doi.org/10.1007/s11852-012-0220-5>
- Amrouni, O., Hzami, A., & Heggy, E. (2019). Photogrammetric assessment of shoreline retreat in North Africa: anthropogenic and natural drivers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 157, 73–92. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.001>
- Ayalke, Z. G., Şişman, A., & Akpınar, K. (2023). Shoreline extraction and analyzing the effect of coastal structures on shoreline changing with remote sensing and geographic information system: Case of Samsun, Turkey. *Regional Studies in Marine Science*, 61, 2352-4855. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102883>
- Ataol, M. (2010). Burdur Gölü'nde seviye değişimleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 77-92. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000105](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000105)
- Ball, G.H., & Hall, D.J. (1965). *Isodata, a novel method of data analysis and pattern classification*. Stanford Research Institute. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0699616.pdf>
- Bahadır, M., & Özdemir, M.A. (2011). Acıgöl havzasının sayısal topoğrafik analiz yöntemleri ile morfometrik jeomorfolojisi. *The Journal of International Social Research*, 4(18), 323–344. <https://hdl.handle.net/11630/8163>

- Barik, K.K., Annaduari, R., Mohanty, P. C., Mahendra, R.S., Tripathy, J. K., & Mitra, D. (2019). Statistical assessment of long-term shoreline changes along the Odisha Coast. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(12), 1990-1998. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/52790>
- Gülle, İ., Turna, I., Güçlü, S.S., Küçük, F., & Gülle, P. (2008). The vertical profile of water temperature, dissolved oxygen, pH and conductivity in Lake Burdur, Turkey. *Ege University Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 25(4), 283-287. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2008.25.4.5000156609>
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., & Gökçe, A. (2018). Detecting clay minerals in hydrothermal alteration areas with integration of aster image and spectral data in Köseadağ-Zara (Sivas), Turkey. *Journal of the Geological Society of India*, 91, 483-488. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-0882-1>
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., & Gökçe, A. (2017). Determination of hydrothermal alteration areas by aster satellite images: Ağmaşat Plato-Zara (Sivas) / Turkey sample. *Cumhuriyet Science Journal*, 38(3), 419-426. <https://doi.org/10.17776/csj.340473>
- Carvalho, R.C., Kennedy, D.M., Niyazi, Y., Cleach, C., Konlechner, T.M., & Ierodiaconou, D. (2020). Structure-from-motion photogrammetry analysis of historical aerial photography: determining beach volumetric change over decadal scales. *Earth Surface Processes Landforms*, 45, 2540-2555. <https://doi.org/10.1002/esp.4911>
- Gözükara, G., Altunbaş, S., & Sarı, M. (2020). Zamansal ve mekansal değişimlerin eski göl tabanlarındaki toprak oluşumu, gelişimi ve morfolojisi üzerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1): 96-110. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.581874>
- Davraz, A., Şener, E., & Şener, Ş. (2019). Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake, Turkey. *Journal of African Earth Science*, 158, 103569. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103569>
- Dey, M., Sakthivel, P.S., & Jena, B.K. (2021). A shoreline change detection (2012-2021) and forecasting using digital shoreline analysis system (DSAS) Tool: a case study of Dahej Coast, Gulf of Khambhat, Gujarat, India. *The Indonesian Journal of Geography*, 53(2). <https://doi.org/10.22146/ijg.56297>
- Dervisoğlu, A., Yağmur, N., Firatlı, E., Musaoğlu, N., & Tanik, A. (2022). Spatio-temporal assessment of the shrinking Lake Burdur, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO)*, 9(2), 169-176. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1078781>
- Hepdeniz, K. (2020). Determination of Burdur Lake's areal change in upcoming years using geographic information systems and the artificial neural network method. *Arabian Journal of Geoscience*, 13, 1143. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06137-5>
- Kalman, R. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems, *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35-45. <https://doi.org/10.1115/1.3662552>
- Kale, M. M., Ataoğlu, M., & Tekkanat, İ. S. (2019). Assessment of shoreline alterations using a digital shoreline analysis system: a case study of changes in the Yeşilirmak Delta in northern Turkey from 1953 to 2017. *Environment Monitoring and Assessment*, 191, 398. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7535-8>
- Kuleli, T., & Bayazit, S. (2022). Development of a method to measure the sustainability of coastal uses. *Environmental Development and Sustainability*, 25(6), 5141-5161. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02259-w>
- Kuleli, T. (2010). Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean Coast in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1-4), 387-397. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1057-8>
- Kuleli T. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering* 38(10), 1141-1149. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.00>
- Lowe, M. K., Adnan, F.A.F., Hamylton, M., Carvalho, R.C., & Woodroffe, C.D. (2019). Assessing reef-island shoreline change using UAV-derived orthomosaics and digital surface models. *Drones*, 3(2), 44. <https://doi.org/10.3390/drones3020044>
- Mishra, M., Acharyya, T., Chand, P., Guimarães Santos, C. A., Kar, D., Das, P.P., Pattnaik, N., Silva, R.M., & Medeiros do Nascimento, T.V. (2021). Analyzing shoreline dynamicity and the associated socioecological risk along the

Southern Odisha Coast of India using remote sensing-based and statistical approaches. *Geocarto International*, 37(14), 3991–4027. <https://doi.org/10.11080/10106049.2021.188200>

- Mitri, G., Nader, M., Dagher, M.A., & Gebrael, K. (2020). Investigating the performance of sentinel-2A and landsat 8 imagery in mapping shoreline changes. *Journal of Coastal Conservation*, 24(40). <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00758-4>
- Nassar, K., Mahmod, E.W., Fath, H., Masria, A., Nadaoka, K., & Negm, A. (2018). Shoreline change detection using DSAS technique: Case of north Sinai coast, *Egypt. Marine Georesources Geotechnology*, 37(1), 81-95. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2018.1448912>
- Pradhan, B., Rizeei, H.M., & Abdulle, A. (2018). Quantitative assessment for detection and monitoring of coastline dynamics with temporal Radarsat images. *Remote Sensing*, 10(11), 1705. <https://doi.org/10.3390/rs10111705>
- Qiao, G., Mi, H., Wang, W., Tong, X., Li, Z., Li, T., & Hong, Y. (2018). 55-year (1960–2015) spatiotemporal shoreline change analysis using historical disp and landsat time series data in Shanghai. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68, 238–251. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.009>
- Sabuncu, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), (623-633). <https://doi.org/10.35414/akufemubid.711653>
- Samarawickrama, U., Piyaratne, D., & Ranagalage, M. (2017). Relationship between NDVI with Tasseled cap indices: a remote sensing based analysis. *International Journal of Innovative Research Technology*, 3(12).
- Santra, M., Dwivedi, C.S., & Pandey, A.C. (2023). Quantifying shoreline dynamics in the Indian Sundarban delta with Google Earth Engine (GEE)-based automatic extraction approach. *Tropical Ecology*, <https://doi.org/10.1007/s42965-023-00321-w>
- Sarp, G., & Özçelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: a case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3), 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>
- Survey, U.-U.S.G, Earth Explorer. (2022, 10 January). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Şener, E., Davraz, A., & Ismailov, T. (2005). The monitoring Burdur Lake water level changes with multi-time monitoring satellite images, (in Turkish). *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V)* (pp. 148-15). Istanbul.
- Tamer, Y., Berberoğlu, E., & Güllü, İ. (Ed.). (2020). *Burdur'un doğası*. Doğa Koruma ve Milli Parklar 6. Bölge Müdürlüğü.
- Thieler, E., Himmelstoss, E., Zichichi, J., & Ergül, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. an ArcGIS extension for calculating shoreline change*. US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- TÜİK- Veri Portalı. (2022, 11 Eylül). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- Wang, H., Xu, D., Zhang, D., Pu, Y., & Luan, Z. (2022). Shoreline dynamics of Chongming Island and driving factor analysis based on landsat images. *Remote Sensing*, 14, 3305. <https://doi.org/10.3390/rs14143305>



## Tekirdağ için sis hadisesi ile hava kirliliği ilişkisi

*The relationship between fog and air pollution in Tekirdağ*

İhsan Burak ENGİN<sup>1</sup> , Veli YAVUZ\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havaçılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55500, Samsun, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 16.06.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 09.03.2024

### Öz

Hava kirliliği, sanayileşmenin yaygınlaşması, artan araç sayısı, tarımsal faaliyetler ve şehirleşme gibi faktörler neticesinde dünya genelinde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Hava kalitesinin bozulmasına sebep olan temel faktör ise hava kirlenici konsantrasyon değerlerindeki artıştır. Meteorolojik hadiselerden biri olan sis fenomeni, kararlı atmosferik koşullarda meydana gelen ve belirli bir bölgede hava kirlenici emisyonlarının hapsolmesine sebebiyet vererek bunların konsantrasyonlarının artmasına neden olan önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, Tekirdağ ili için 2018-2022 yılları arası için sisli ve sisli olmayan günlerdeki kirlenici konsantrasyonları analiz edilerek aralarındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tekirdağ Çorlu Havalimanı tarafından yayımlanan havaçılık raporları kullanılarak sisli ve sisli olmayan günlerin tespiti yapılmıştır. Ayrıca, havalimanı raporlarından temin edilen bazı meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti/yönü ve bağıl nem) analizleri gerçekleştirilmiştir. Sisli ve tüm günlerdeki hava kalitesi değerlerine erişim için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ücretsiz olarak halka sunulan hava kalitesi veri bankası kullanılmıştır. Sisli günler için aylık ve yıllık bazda analizler gerçekleştirilmiş, meteorolojik parametrelerin bu periyotlardaki değişimleri incelenmiş ve hava kirlenici parametrelerinden partikül madde (PM<sub>10</sub>) için sisli ve tüm günlerdeki konsantrasyon değerlerindeki değişimler irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, diğer tüm günlere oranla PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerlerinin sisli günlerde daha çok olduğu gözlenmiş, sonbahar ve kış mevsimlerinde sisli gün sayılarındaki artışa paralel olarak kirlenici yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava kalitesi, Hava kirliliği, Kararlı atmosfer, Partikül madde, Sis hadisesi, Tekirdağ

### Abstract

Air pollution poses a significant problem worldwide as a result of factors such as the spread of industrialization, increasing vehicle numbers, agricultural activities, and urbanization. The primary factor contributing to the deterioration of air quality is the increase in concentrations of air pollutants. The fog phenomenon, which is a meteorological event occurring under stable atmospheric conditions, is one of the important factors that lead to the trapping of air pollutant emissions in a specific region, resulting in increased concentrations. In this study, the pollutant concentrations on foggy and non-foggy days between 2018 and 2022 were analyzed for the province of Tekirdağ. The relationship between these variables was investigated. Foggy and non-foggy days were identified using aviation reports published by Tekirdağ Çorlu Airport. Additionally, analyses of certain meteorological parameters (temperature, dew point temperature, wind speed/direction, and relative humidity) obtained from airport reports were performed. Access to air quality data for foggy and all days was obtained from the Air Quality Database provided free of charge by the Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. Monthly and annual analyses were conducted for foggy days, and the variations in meteorological parameters during these periods were examined. Changes in concentrations of particulate matter (PM<sub>10</sub>), one of the air pollutant parameters, were analyzed for foggy and non-foggy days. The results of the analyses indicated that PM<sub>10</sub> concentrations were higher on foggy days compared to other days. It was observed that pollutant intensity increased in parallel with the increase in the number of foggy days during the autumn and winter seasons.

**Keywords:** Air quality, Air pollution, Stable atmosphere, Particulate matter, Fog event, Tekirdağ

\*Veli YAVUZ; veli.yavuz@samsun.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayileşmenin gelişmesine paralel olarak hava kirliliği dünya genelinde ciddi bir sorun haline gelmiştir. Endüstriyel faaliyetlerin, araç sayılarının, şehirleşmenin ve tarımsal faaliyetlerin artmasıyla birlikte özellikle büyük şehirlerde hava kalitesi insan sağlığı üzerinde büyük problem oluşturmaktadır (Çapraz ve Deniz, 2021). Bu nedenle, hava kirliliğinin nedenleri, etkileri ve kontrol yöntemleri konularında yapılacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Sis hadiseleri, hava kirliliği ile birlikte ele alınması gereken önemli meteorolojik hadiselerden biridir. Sis, havada asılı halde bulunan su damlacıkları ve parçacıkların yoğunlaşması sonucu oluşan bir meteorolojik olaydır. Sis hadiseleri, görüş mesafesinin azalması ve hava kirliliğinin yoğunlaşması nedeniyle trafik kazalarına, hava taşımacılığına ve insan sağlığına olumsuz etkiler yapabilmektedir (Akbayır vd., 2018; Özdemir vd., 2018). Hem dünya genelinde hem de Türkiye’de meteorolojik fenomenlerin hava kirliliği üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Yavuz vd. (2022a), İstanbul’da atmosfer koşullarının hava kirliliği üzerindeki etkilerini incelemek için Sodar ve Silyometre cihazlarını kullanmış ve kararlı atmosferik koşulların hakim olduğu zamanlarda hava kirletici konsantrasyonlarında artış olduğunu tespit etmiştir. Çapraz vd. (2016), İstanbul için hava kirliliği ve ölüm oranlarını incelemişler, kirletici konsantrasyonlarındaki artışla ölüm oranları arasında bağlantı tespit etmişlerdir. Efe (2022), COVID-19 döneminde hem endüstriyel hem de insan kaynaklı faaliyetlerin kısıtlı olmasını dikkate alarak kirletici konsantrasyonlarının Marmara Bölgesi genelinde değişimlerini incelemiştir. Sonuç olarak hava kirletici konsantrasyonlarında bu dönemde azalış gözlenmiştir.

Zhang vd. (2015), sis ve yoğun sis meydana geldiği durumlarda hava kirliliği konsantrasyonlarının nasıl değişim gösterdiğini Çin’in Yangtze bölgesi için analiz etmiştir. 2013’ten beri, Çin’de sürekli olarak kirlilik içeren sis - şiddetli sis olayları meydana gelmektedir. Yoğun sis gözlenen zamanlarda, PM<sub>1</sub>’in ortalama konsantrasyonu 212 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmış ve kararsız atmosferik şartların meydana geldiği günlerdeki değerinden yaklaşık 10 kat daha yüksek bulunmuştur. Rüzgar şiddetinin hafif ve bağıl nemin yüksek olduğu meteorolojik koşullar ve örnek alma yeri etrafındaki gaz ve partikül madde yakın mesafeli taşınması, biyokütle yakımlarından kaynaklanan artan kirletici konsantrasyonlarıyla birleşerek, bölge genelinde sürekli bir sis ve buna bağlı hava kirliliği koşullarını meydana getirmiştir.

Qian vd. (2023), Çin’in Yangtze River Delta bölgesi için sis ve hava kirliliği ilişkisini incelemiştir. Bu çalışmada, 2018 yılı Kasım ayında Jiangsu eyaletindeki sürekli bir sis ve pus olayında sis kalınlığı ve süresi gibi etkenlerin hava kirliliği giderim etkisini nasıl etkilediği WRF-Chem (Hava Kalitesi Araştırma ve Tahmin Modeli) simülasyonu ile incelenmiştir. Sonuçlar, atmosferik sınır tabakası özelliklerinin sis oluşumu, gelişimi ve dağılımı aşamalarını başarıyla yansıttığını göstermektedir. Enverziyon tabakası, 3 °C /100 m maksimum yoğunluğu ile olumlu termal koşullar yaratırken, su buharı taşınımı da sisin sürdürülmesine yardımcı olmaktadır. Yoğun sis olayları sırasında PM<sub>2.5</sub> ıslak temizleme etkisi gösterir ve bu etki sis süresi ile ilişkilidir.

Türk ve Kavraz (2010), Trabzon şehri için bazı meteorolojik faktörlerle hava kirliliği ilişkisini analiz etmiştir. İstatistiki yöntemler kullanılarak, rüzgar şiddeti, sıcaklık ve nem parametrelerinin değişimleri ile hava kirletici parametre konsantrasyonlarında değişimler incelenmiştir. İstatistiki sonuçlar, meteorolojik parametreler ile kirletici konsantrasyon değerleri arasında önemli derecede bir ilişki olduğunu göstermiştir (R<sup>2</sup> değerleri %88-%97).

Akbayır vd. (2018), Türkiye havalimanlarının tamamı için sis hadisesinin zamansal analizlerini gerçekleştirmiştir. 2011-2016 yılları arasında toplamda 67 havalimanı Meydan Rutin Hava Raporu (METAR) verilerini kullanarak sisli zamanları belirlemiştir. Aylık analizlerde en çok sis hadisesinin Ocak, Şubat ve Aralık aylarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Gün içi değişimlerle ilgili yapılan analizler sonucunda sis hadiselerinin çoğunlukla 0500-0700 UTC aralığında meydana geldiği bulunmuştur. Genel olarak, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında hemen hemen tüm havalimanlarında nadiren sis olayı meydana geldiği belirtilmiştir.

Özdemir vd. (2018), 2007-2015 yılları arası için İstanbul ilinde sis ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO hava kirletici parametrelerini kullanarak yaptıkları analizler sonucunda, sisli günlerde kirletici konsantrasyon değerlerinin ciddi ölçüde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışma periyodu boyunca 33 gün sisli olarak belirlenmiş ve en çok sis hadisesinin Kasım ayında meydana geldiği



## 2.2. Materyal

### 2.2. Material

Bu çalışmada, çalışma periyodu olarak 01/01/2018 ile 31/12/2022 tarihleri arasında toplamda beş yıllık periyot seçilmiştir. Tekirdağ Çorlu Havalimanı tarafından yayımlanan havacılık rasatlarından METAR yayınları, Iowa State Üniversitesi'nin Iowa Environmental Mesonet (IEM) veri tabanında bulunan Otomatik Yüzey Gözlem Sistemi (The Automated Surface Observing System – ASOS) sisteminden çekilmiştir (IOWA, 2023).

Çalışmada hava kirletici parametre konsantrasyonları, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan temin edilmiştir (Hava Kalitesi Veri Bankası, 2023). Siteden partikül madde olarak PM<sub>10</sub> konsantrasyonları indirilmiştir.

## 2.3. Metot

### 2.3. Method

Dünya genelinde Meydan Rutin Hava Raporu (METAR) uluslararası havalimanlarında yarım saatte bir, ulusal havalimanlarında ise saatte bir yayımlanmaktadır. Meydan Özel Hava Raporu (SPECI) ise, iki METAR arasında havacılık faaliyetlerini etkileyen önemli bir durum meydana geldiğinde yapılmaktadır. Tekirdağ Çorlu Havalimanı, uluslararası bir havalimanı olduğu için yarım saatlik periyotlarda temin veriler üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Havalimanı tarafından yayınlanan raporlarda bir saatten fazla sis görülmesi durumunda (en az iki METAR rasatında ardışık olarak sis rasat edilmesi durumu), o gün sisli bir gün olarak kabul edilmiştir. Sisli gün olarak belirlenen zamanlar için sis hadisesinin meydana geldiği (rasat edildiği) saatlerdeki meteorolojik parametrelerden bazılarının (sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti/yönü, bağıl nem) analizi bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada hava kirletici parametre olarak PM<sub>10</sub> tercih edilmiştir. Şehirde yer alan hava kalitesi istasyonlarında düzenli ölçümü gerçekleştirilen ve veri kalitesi en yüksek parametre PM<sub>10</sub> olmuştur. Bu kirletici değerinin günlük ortalama konsantrasyon değeri üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

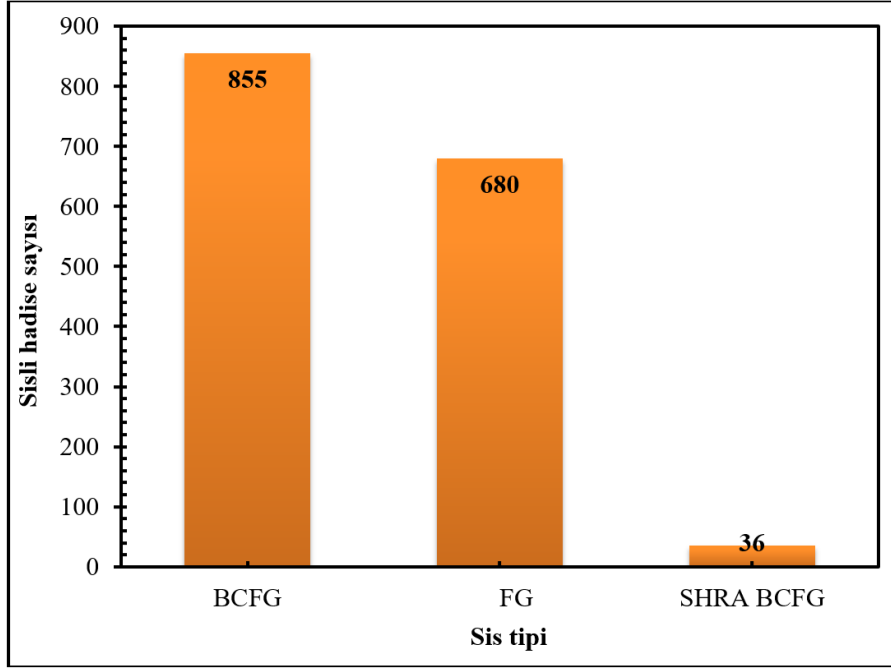
Her iki veri seti için de aylık, mevsimlik ve yıllık bazda istatistiki analizler gerçekleştirilmiş, hava kirletici konsantrasyonlarının sisli ve tüm günlerdeki değişimleri ortaya konulmuştur. Meteorolojik parametrelerin analizlerinde sisli olduğu saatler dikkate alınarak hava kirliliği üzerinde ve sis oluşumunda etkili meteorolojik parametrelerin de tespiti gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular

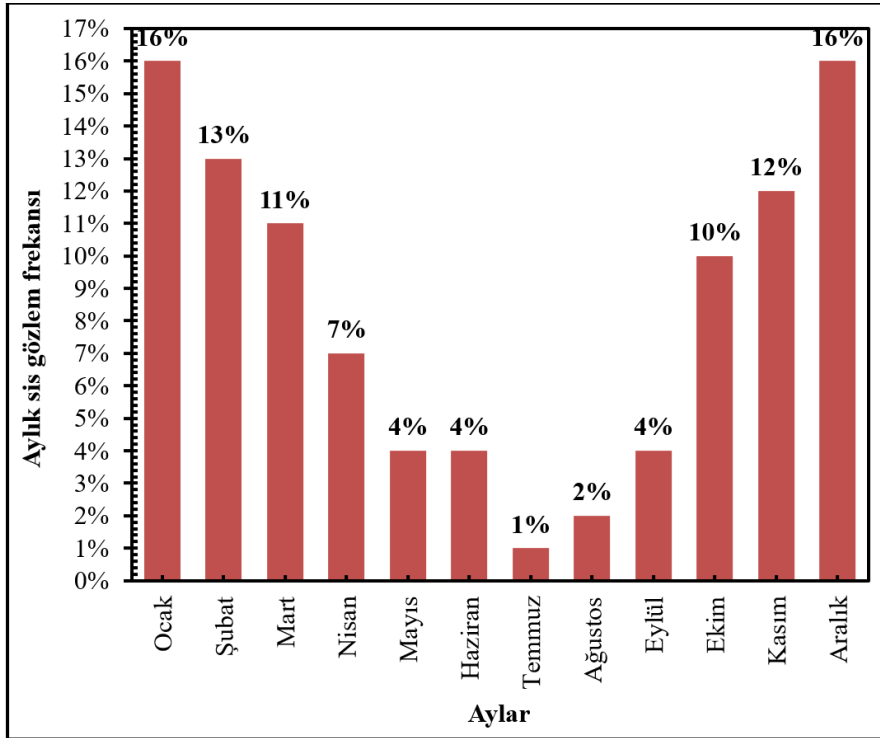
### 3. Results

Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, periyot boyunca birçok sis tipi gözlenmiştir. Bunlar arasında FG (Sis), FZFG (Donan sis) ve BCFG (Parçalı sis) bulunmaktadır. Havalimanında en çok görülen sis tipi %55 oranla BCFG olurken, bunu %43 oranla FG takip etmiştir. Diğer sis türleri ise nispeten az sayıda nadir de olsa gerçekleşmiştir (Şekil 2). Toplamda beş yıllık periyotta havalimanı tarafından yayınlanan tüm METAR rasatlarının yaklaşık %0.2'sinde FG kodu rasat edilmiştir.

Şekil 3'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sis hadiselerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en çok sis hadisesi Ocak ve Aralık aylarında (%16) gözlenmiş, bunu Şubat (%13) ve Kasım (%12) takip etmiştir. Bahar aylarında atmosferin kararsız yapısı da düşünüldüğünde sis hadiselerinin gözlenme sayılarının düşük olması beklenen bir durum olmuştur. Özellikle ülkemizde kararsız atmosfer koşullarına bağlı olarak, gök gürültülü fırtınalar, ani ve aşırı yağışlar, şiddetli hava hadiseleri ve kuvvetli rüzgar hamleleri çoğunlukla ilkbaharın sonlarında, yazın başlarında ve sonbaharın başlarında meydana gelmektedir (Özdemir vd., 2017). Diğer yandan en düşük sis gözlemleri yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Yaz mevsimi de özellikle konvektif hareketlerin etkilerinin sıklıkla gözlemlendiği kararsız atmosferik koşulların da yoğunlukla görüldüğü zamanlar olması sebebiyle bu hadisenin oluşması için mümkün olan atmosferik şartları meydana getirmemiştir (Özdemir vd., 2016). Ülkemizde özellikle iklim değişikliğine de bağlı olarak son yıllarda Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında birçok kez kuvvetli fırtına ve şiddetli yağış olayları meydana gelmektedir (Yavuz vd., 2022b).



**Şekil 2.** 2018-2022 yılları arasında Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda görülen sis hadiseleri.  
**Figure 2.** Fog events observed at Tekirdağ Çorlu Airport between 2018-2022.

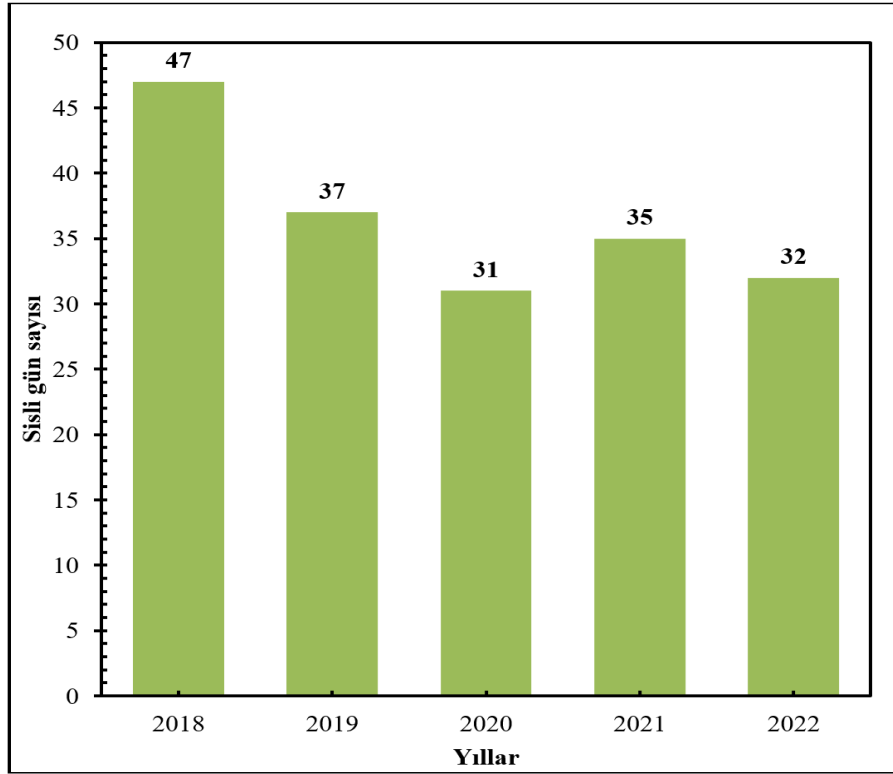


**Şekil 3.** Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda sis gözlem frekansları.  
**Figure 3.** Fog observation frequencies on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 4'te, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sis hadiselerinin yıllık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Yıllık bazda en çok sis hadisesi 2018 yılında (47) gözlenmiş, bunu 2019 yılı (37) ve 2020 yılı (35) takip etmiştir. Yıllık bazda bakıldığında azalan bir trend olduğu seçilen periyot dahilinde tespit edilmiştir. Yıllık bazda gözlenen bu farklılıkların meydana gelmesinde en önemli etken kış aylarında ülkemiz üzerinde atmosferik engelleme hadisesinin gözlenmesidir. Sis hadiselerinin çoğunlukla atmosferin kararlı yapı gösterdiği kış mevsiminde daha çok gözlendiği düşünüldüğünde, atmosferik engelleme hadiselerinin artan frekansı ve devam süreleri sis hadiselerinin oluşum sıklığını da etkilemektedir. Atmosferik



engelleme olayı, bir bölge üzerinde hakim atmosferik koşulların uzun süre etkili olmasına sebebiyet vermektedir (Efe vd., 2020). Bir yüksek basınç sistemi belirli bir bölge üzerinde birkaç hafta etkili olabilmektedir. Atmosferik engelleme de bu basınç sisteminin o bölge üzerinde hapsolmesine sebep olan bir engeldir. Yüksek basınç alanları genellikle hava ve rüzgar koşullarının hakim olduğu kararlı atmosferik ortamları meydana getirmektedir (Efe vd., 2019). Sonuç olarak, yıllık bazda Tekirdağ ilinde sis hadiselerinin frekanslarında gözlemlenen bu değişimler sinoptik ölçekli sistemlerin etkisi ve özellikle atmosferik engelleme ile açıklanabilir.

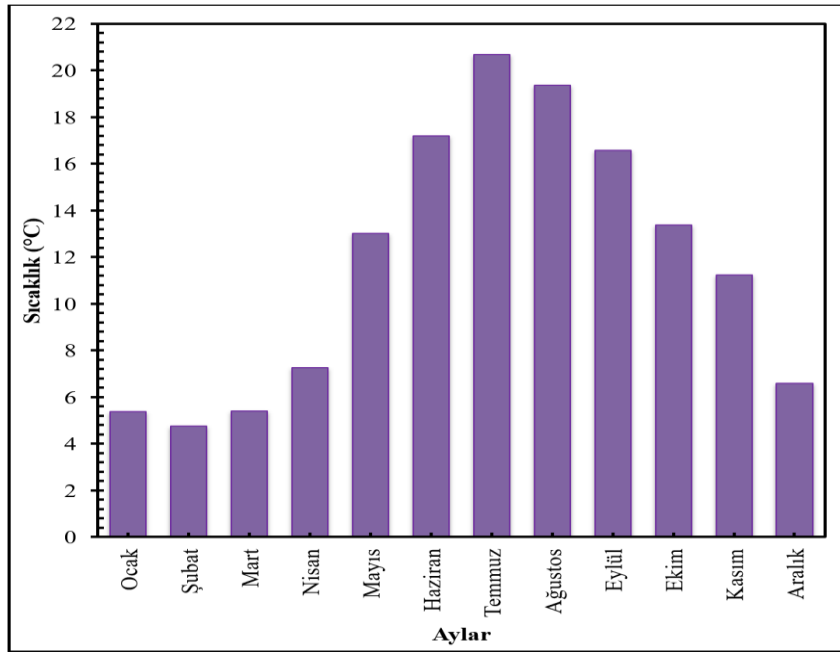


**Şekil 4.** Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda yıllık bazda sisli gün sayısı.

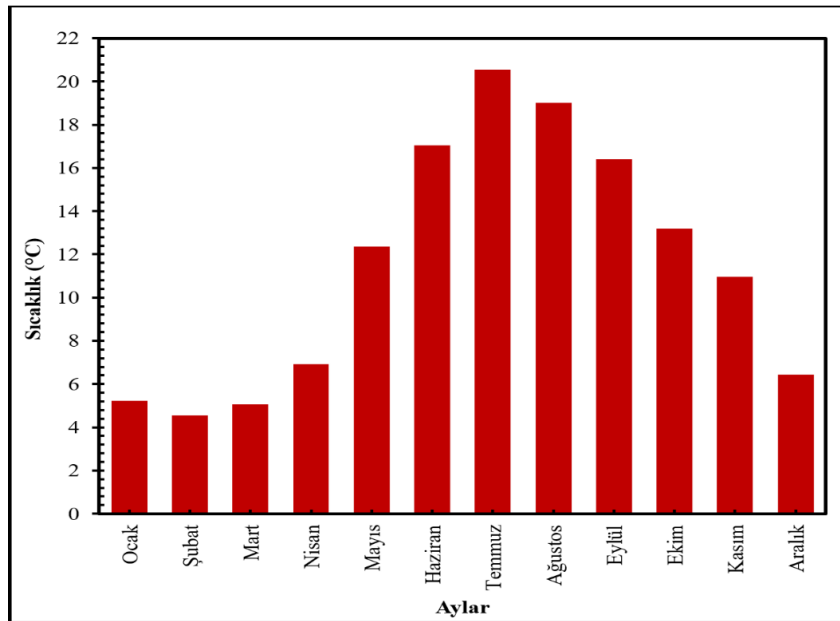
**Figure 4.** Number of foggy days at Tekirdağ Çorlu Airport on an annual basis.

Şekil 5'te, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki sıcaklık değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek sıcaklıklar Temmuz (22°C) ve Ağustos aylarında (19°C) gözlenmiş, bunu Haziran (18°C) ve Eylül (17°C) takip etmiştir. Yaz aylarında havanın genellikle açık ve güneşlenme süresinin fazla olduğu düşünüldüğünde yaz mevsiminde sıcaklıkların diğer mevsimlere göre yüksek olması beklenen bir durum olmuştur. Özdemir vd. (2016), İstanbul Atatürk Uluslararası Havalimanı için sis hadiselerinin uzun dönem analizini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sis hadisesinin gözlemlendiği zamanlarda ortalama sıcaklık değerleri en yüksek frekans aralığını 5-12°C arasında göstermiştir. Sis hadiselerinin özellikle sonbaharın sonlarında ve kış aylarında daha sık meydana geldiği düşünüldüğünde bu çalışma çıktıları ve İstanbul için yapılan çalışma çıktıları birbirleriyle tutarlı olmuştur.

Şekil 6'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki çiy noktası sıcaklık değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek çiy noktası sıcaklığı Temmuz (22°C) ve Ağustos aylarında (19°C) gözlenmiş, bunu Haziran (18°C) ve Eylül (17°C) takip etmiştir. Yaz aylarında havanın genellikle açık ve güneşlenme süresinin fazla olduğu düşünüldüğünde yaz mevsiminde buharlaşma ile nemin artması, çiy noktası sıcaklığının diğer mevsimlere göre yüksek olması beklenen bir durum olmuştur. Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklık değerlerinin birbirlerine yakın olması hem bulut hem de sis oluşumu için uygun atmosferik koşulları meydana getirmektedir (Farr vd., 2022). Yaz aylarında bu durum neticesinde dikey gelişime sahip fırtına bulutları meydana gelebilmektedir. Kış aylarında ise bu durum, diğer atmosferik koşullar da meydana geldiğinde sis oluşumuna katkı sağlamaktadır (Özdemir vd., 2016).



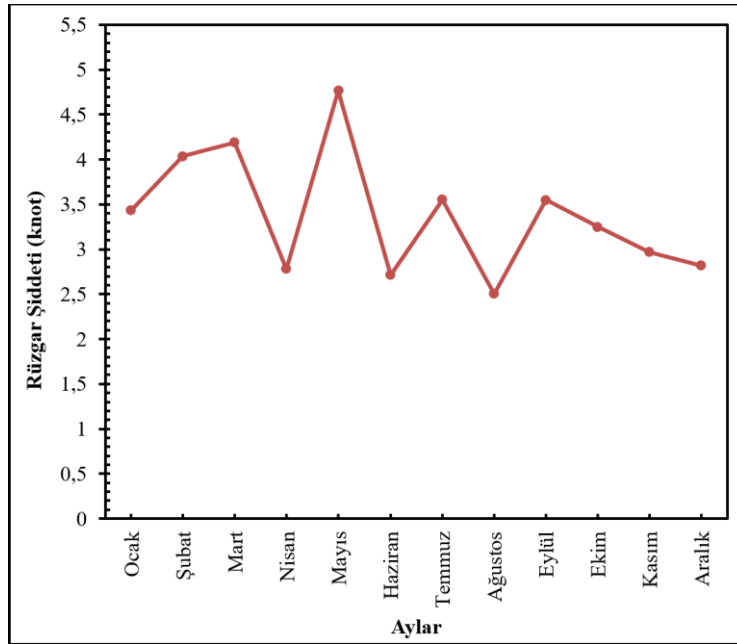
**Şekil 5.** Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama sıcaklık değerleri.  
**Figure 5.** Average temperature values on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.



**Şekil 6.** Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama çiy noktası sıcaklığı değerleri.  
**Figure 6.** Average monthly dew point temperature values at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 7'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki rüzgar şiddeti (knot) değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek rüzgar şiddeti Mayıs (4.8 knot) ve Mart aylarında (4.2 knot) gözlenmiş, bunu Şubat (4 knot), Ocak ve Eylül ayları (3.4 knot) takip etmiştir. Sis hadiselerinin meydana gelmesinde rüzgar şiddet ve yönünün önemli rolü bulunmaktadır. Rüzgar şiddet ve yönünde meydana gelen kaymalar, sis oluşumunun yanı sıra bulut oluşumunda da önemli etkindir. Sis oluşumu için en uygun koşul, rüzgarın hafif olmasıdır. Çok sakin rüzgar koşullarında hava hareketleri çok kısıtlı olacaktır. Bu durumda, nem taşınımı ve belirli bir bölgede birikimi kısıtlanacağından, meydana gelecek sis ince ve zayıf bir yapıda olacak ya da hiç meydana gelmeyecektir. Diğer yandan, hafif rüzgar koşulları ise sis oluşumu için en ideal durumu meydana getirir. Bu durumda daha kalın sis tabakası gözlenmekte ve sis

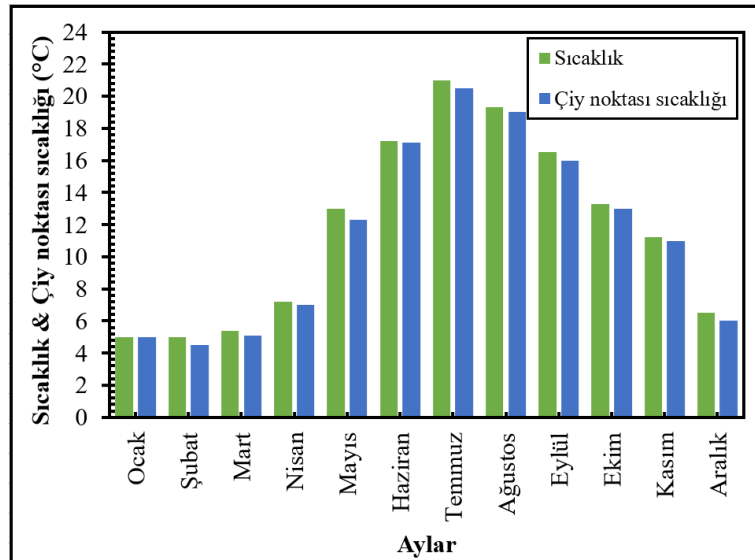
hadiseleri uzun süreli olmaktadır. Yüksek rüzgar şiddetlerinde ise sis oluşumu oldukça zordur. Ayrıca mevcut sis hadisesinin de dağılmasına sebebiyet vermektedir (Özdemir vd., 2016).



**Şekil 7.** Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama rüzgar şiddeti (knot) değerleri.

**Figure 7.** Average wind speed (knots) values on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 8'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı değerlerinin aylık ortalamadaki fark analizleri gösterilmektedir. Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasındaki farkın analizler sonucunda çok az olduğu gözlenmiştir. Bu durum sis hadiselerinin meydana gelmesi için sıcaklık ve çiy noktası sıcaklık farkının ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

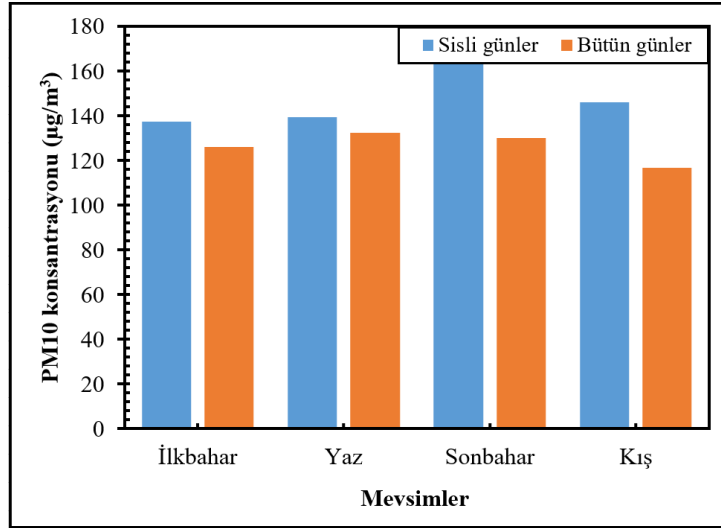


**Şekil 8.** Aylık bazda ortalama sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasındaki fark gözlem değerleri.

**Figure 8.** Difference between mean temperature and dew point temperature on a monthly basis.

Şekil 9'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun mevsimsel ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Mevsimsel PM<sub>10</sub>

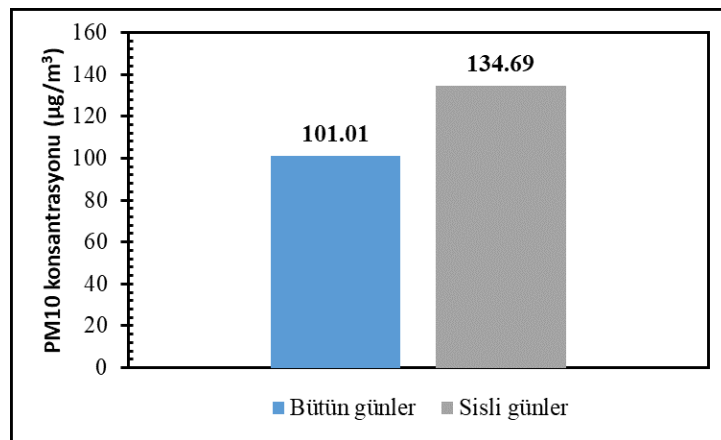
konsantrasyonu bütün günlerde en yüksek yaz mevsiminde ( $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gözlemlenmiştir. Sis hadiselerinin sıklığının artmasıyla sonbahar mevsimindeki sisli olarak belirlenen günlerde ise  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonunun yüksek değerleri sonbahar mevsiminde ( $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gözlemlenmiştir. Böylelikle diğer mevsimlere göre sonbahar mevsiminde daha yoğun  $\text{PM}_{10}$  kirletici konsantrasyonuna sahip olduğunu gözlenmiştir.  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonlarının sisli günler için en yüksek sonbahar mevsiminde meydana gelmesi, burada sis hadiselerinin frekansıyla değil, sis hadiselerinin şiddeti ve süreleri ile ilişkilidir. Diğer yandan, her bir mevsim için sisli günlerde bütün günlere kıyasla kirletici konsantrasyonlarının ortalama değerleri daha yüksek olmuştur.



**Şekil 9.**  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonunun sisli günlerdeki ve tüm günlerdeki arasındaki mevsimsel değerleri.

*Figure 9.* Seasonal values of  $\text{PM}_{10}$  concentration between foggy days and all days.

Şekil 10'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonunun ortalama değer analizleri gösterilmektedir.  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonunun sisli günlerdeki yoğunluğu  $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve bütün günlerdeki  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonunun yoğunluğu ise  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu da sisli günlerdeki kirletici yoğunluğunun, bütün günlere göre daha yoğun kirletici oranına sahip olduğunu göstermektedir. Sisli günlerde kararlı atmosfer koşullarına bağlı olarak hafif rüzgar koşulları, kirletici emisyonlarının bölge üzerindeki hareketlerini kısıtlamaktadır. Dolayısıyla, belirli bir bölgede bu durumda kirletici emisyonları sis gibi kararlı atmosfer fenomenleri sayesinde kapana kısılmaktadır. Kirletici konsantrasyonlarının da belirli bölgede uzun süre kalmaları neticesinde ortalama değerlerinin artması da beklenen bir sonuçtur.



**Şekil 10.**  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonlarının 5 yıllık periyotta sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki konsantrasyonları arasındaki fark.

*Figure 10.* The difference between the concentrations of  $\text{PM}_{10}$  on foggy days and on all days over a 5-year period.

## 4. Tartışma ve sonuçlar

### 4. Discussion and conclusions

Sis oluşumları ile hava kalitesinde gözlemlenen düşüş arasında doğru orantı bulunmaktadır. Bunun temel sebebi, hava kirletici konsantrasyonlarının bulunduğu bölgede sis hadisesi mevcudiyetinde hapsolmesinden kaynaklanmaktadır (Akbaş vd., 2018). Fakat hava kirliliği sorunu sadece sis olayları ile ilişkili değildir. Yüksek kirletici emisyon değerleri ve sis haricinde diğer kararlı atmosfer koşulları da hava kalitesini düşüren diğer etmenlerdir.

Hava kirliliği sorunu, Tekirdağ'da sis gözlemlenen günlerin sonbahar ve kış aylarında görülme sıklığının artmasıyla birlikte PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun artmasına paralel olarak sonbahar (163 µg/m<sup>3</sup>) ve kış mevsimlerinde (144 µg/m<sup>3</sup>) etkisini yoğun bir şekilde göstermektedir. Sis hadiseleri özellikle atmosferik kararlı yapıda olduğu kış mevsiminde ve sonbaharın sonlarında çoğunlukla gözlenmektedir. Ülkemiz genelinde yaz ve kış mevsimlerinde etkili olan sinoptik ölçek sistemler bulunmaktadır. Kış aylarında da atmosferik engelleme olayları yağışsız ve sakin hava koşullarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Zaman zaman haftalarda etkili olabilen bu engellemeler, sis için gerekli atmosferik koşulları meydana getirebilmektedir. Diğer yandan, sıcaklık ve çiy noktası sıcaklıkları arasındaki farkın az olması ve hafif rüzgar koşulları, sis oluşumu için gerekli atmosferik koşulları sunmaktadır. Sis hadiseleri ile hava kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkinin temelinde de kararlı atmosferik koşullar yatmaktadır. Genel olarak, belirli bir bölgede kirletici konsantrasyonlarının artmasında en önemli meteorolojik hadiselerin başında sis yer almaktadır.

Atmosferin kararlı yapı sergilediği durumlarda hava kirletici konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak özellikle solunum yolu rahatsızlıkları bulunan bireylerin daha dikkatli olması gerekmektedir. Yağışın olmadığı, özellikle hafif rüzgar koşullarında sisin meydana gelmesi durumunda, başta solunum ve kalp rahatsızlıkları olan bireylerin, hamile ve yaşlı bireylerin daha dikkatli olması gerekmektedir. Bireysel önlemler dışında, yetkili kamu kurum ve kuruluşlarının da gerekli uyarılarda bulunması ve bu uyarıların halkın her kesimine ulaştığına emin olması gerekmektedir.

Hava kirliliği sorununun çözümü için, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, endüstriyel tesislerin kirliliklerini azaltmaya yönelik düzenlemeler, düşük emisyonlu araçlar ve toplu taşıma sistemlerinin teşviki, atıkların geri dönüştürülmesi ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı gibi çeşitli çözümler hava kalitesini yükseltecek önlemlerden yalnızca birkaç tanesidir. Ülkemizde özellikle son yıllarda, bu konularda büyük atılımlar gerçekleştirilmektedir. Türkiye'nin ilk yerli arabasının tamamen elektrikli üretilmesi bunun en büyük örneklerinden biridir. Bu tutum ve davranışın daha kapsamlı bir şekilde devam ettirilerek başta kamu olmak üzere özel sektörde de uygulamaya alınması hayati öneme sahiptir.

Tekirdağ ilindeki hava kirliliği sorununun çözümü için endüstriyel kuruluşlarda, evlerde ısınma için kullanılan ısıtıcı faktörlerin denetlenmesi, ulaşımda benzin ya da dizel araçlar yerine elektrikli araçlar tercih edilerek, kükürt dioksit, azot oksitler ve azot dioksit, partikül madde (PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub>), kurşun, benzen, karbon monoksit, ozon, arsenik, kadmiyum, nikel gibi belirli kirleticileri, Avrupa Birliği'nin Dış Ortam Hava Kalitesi Yönetmeliği ve Çevre Hava Kalitesi Direktifleri dikkate alınarak sıkı bir denetime tabi tutulması gerekmekte olup, bu standartta uymayan kurum, kuruluş ve kişilere gerekli yaptırımlar uygulanmalıdır.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Yazarlar, meteorolojik verilerin temini için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve kirletici konsantrasyon verilerinin temini için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na teşekkür eder. Ayrıca, değerli görüş ve katkılarından dolayı yazarlar Dr. Öğretim Üyesi Bihter Durna'ya teşekkür eder.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

İhsan Burak Engin, bu makaleyi lisans bitirme tezinden hazırlamıştır. Çalışmada veri temini, analizler ve yorumlar İhsan Burak Engin tarafından tez danışmanı Veli Yavuz gözetiminde yapılmıştır. Çalışmanın genel



kontrolü, analizlerin değerlendirilmesi, referansların sağlanması ve dergi formatına uygun hale getirilmesi Veli Yavuz tarafından gerçekleştirilmiştir.

### 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

- Akbayır, İ., Yavuz, V., Deniz, A., & Özdemir, E.T. (2018). Türkiye'deki havalimanlarında meydana gelen sis hadisesinin zamansal analizi. *El-Cezeri*, 5(2), 327-330. <https://doi.org/10.31202/ecjse.377530>
- Aydınlar, B., Güven, H., & Kırksekiz, S. (2009). Hava kirliliği nedir, ölçüm ve hava kalite modelleme yöntemleri nelerdir. *Hava Kirliliği ve Modellemesi Dergisi*, 16(2), 83-91. <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava%20kirliligi%20ve%20modellemesi%20I.pdf>
- Chen, K., Yin, Y., & Hu, Z. (2011). Influence of air pollutants on fog formation in urban environment of Nanjing, China. *Procedia Engineering*, 24, 654-657. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2712>
- Çapraz, Ö., Efe, B., & Deniz, A. (2016). Study on the association between air pollution and mortality in Istanbul, 2007-2012. *Atmospheric Pollution Research*, 7(1), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.08.006>
- Çapraz, Ö., & Deniz, A. (2021). Particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) concentrations during a Saharan dust episode in İstanbul. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14, 109-116. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00917-4>
- Efe, B., Lupo, A.R., & Deniz, A. (2019). The relationship between atmospheric blocking and precipitation changes in Turkey between 1977 and 2016. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1573-1590. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02902-z>
- Efe, B., Sezen, İ., Lupo, A.R., & Deniz, A. (2020). The relationship between atmospheric blocking and temperature anomalies in Turkey between 1977 and 2016. *International Journal of Climatology*. 40(2), 1022-1037. <https://doi.org/10.1002/joc.6253>
- Efe, B. (2022). Air quality improvement and its relation to mobility during COVID-19 lockdown in Marmara Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 255. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09889-7>
- Hava Kalitesi Veri Bankası (2023, Nisan 12). *Hava Kirliliği, PM<sub>10</sub> konsantrasyon verileri*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. [https://sim.csb.gov.tr/STN/STN\\_Report/StationDataDownloadNew](https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew)
- IOWA (2023, Nisan 16). *Metar Yayınları*. Iowa State Üniversitesi. <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml>
- Özdemir, E.T., Deniz, A., Sezen, İ., Menteş, Ş.S., & Yavuz, V. (2016). Fog analysis at Istanbul Ataturk International Airport. *Weather*, 71(11), 279-284. <https://doi.org/10.1002/wea.2747>
- Özdemir, E.T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, 68(1), 175-180.
- Özdemir, E., Yavuz, V., Deniz, A., Akbayır, İ., & Dogan, N. (2018). Investigation of fog-air quality relationship in İstanbul. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(1), 30-36.
- Qian, J., Liu, D., Yan, S., Cheng, M., Rongwei, L., Niu, S., Yan, W., Zha, S., Wang, L., & Chen, X. (2023). Fog scavenging of particulate matters in air pollution events: observation and simulation in the Yangtze River Delta China. *Science of the Total Environment*, 876, 162728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162728>

- Tekirdağ Valiliği (2023, Nisan 10). *Tekirdağ hakkında bilgiler*. <https://tekirdag.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-905>
- Türk, Y., & Kavraz, M. (2010). The relation between some meteorological factors and air pollutants in Trabzon city. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(4A), 721-729.
- Yavuz, V., Özen, C., Çapraz, Ö., Özdemir, E.T., Deniz, A., Akbayır, İ., & Temur, H. (2022a). Analysing of atmospheric conditions and their effects on air quality in Istanbul using sodar and ceilometer. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 16213-16232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16958-w>
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E.T., Karan, H., & Temiz, C. (2022b). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming*, 28(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Zhang, Y., Zhang, X., Zhang, Y., Shen, X., Sun, J., Ma, Q., Yu, X., & Zhu, J. (2015). Significant concentration changes of chemical components of PM1 in the Yangtze River Delta area of China and the implications for the formation mechanism of heavy haze–fog pollution. *Science of the Total Environment*, 538, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.104>

## Reducing product returns through the Six Sigma method in a supermarket

*Bir süpermarkette Altı Sigma yöntemiyle ürün iadelerinin azaltılması*

Ayşe ÇELİK<sup>1</sup> , İzzettin Hakan KARAÇİZMELİ<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Harran University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Şanlıurfa, Türkiye

• Received: 05.07.2023

• Accepted: 30.10.2023

### Abstract

The intense competition in many sectors in recent years has led businesses to seek process improvement methods. While businesses that desire to be ahead of their competitors often try to reduce costs by improving operations in production, they focus on customer satisfaction in the service sector. Increasing customer satisfaction is quite significant because it not only ensures customer loyalty but also increases the number of customers. The Six Sigma method is mostly preferred by large corporate companies. However, in this study, a simple framework is proposed for businesses whose resources are not very large. To this end, the Six Sigma method was implemented to reduce product returns from corporate customers in a large-scale supermarket in Şanlıurfa. The potential causes of defects were determined by following the steps involved in the Six Sigma method, and the collected data were analyzed. By analyzing the collected data covering the reasons for product returns, the factors that came to the fore were matched with the potential causes determined by brainstorming. The two root causes deeply that affected the product returns from corporate customers were the insufficient training of the staff taking the orders and the lack of an order form. These two root causes accounted for 61% of the total product returns. Then some improvement actions were taken to reduce the product returns, and a monitoring system was established to ensure sustainability.

**Keywords:** Customer satisfaction, Process improvement, Return rate, Six sigma, Supermarket

### Öz

Son dönemlerde birçok sektörde yaşanan rekabet artışı, işletmelerin süreç iyileştirme arayışlarının da artmasına neden olmuştur. Rakiplerinden önde olmak isteyen firmalar, üretim sektöründe genellikle operasyonlarda iyileştirme yaparak maliyetleri azaltma yönünde arayışlara girerken, hizmet sektöründe ise daha çok müşteri memnuniyeti üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Müşteri memnuniyetinin artması hem müşterileri kalıcı hale getirmek hem de müşteri sayısını artırmak açısından oldukça önemlidir. Altı Sigma yöntemi daha çok, büyük kurumsal şirketlerde tercih edilmektedir. Ancak bu çalışmada kaynakları çok geniş olmayan işletmeler için basit bir çerçeve önerilmiştir. Bu amaçla Şanlıurfa'daki büyük çaplı bir süpermarkette kurumsal müşterilerden gelen ürün iadelerini azaltmak için Altı Sigma yöntemi uygulanmıştır. Altı Sigma yönteminin adımları kullanılarak potansiyel hata nedenleri belirlenmiş, toplanan verilerin analizleri yapılmıştır. İade nedenlerini kapsayan, toplanan verilerin analiz edilmesiyle ön plana çıkan faktörler beyin fırtınası ile belirlenen potansiyel hata nedenleriyle eşleştirildi. Kurumsal müşterilerden gelen ürün iadelerini derinden etkileyen iki kök neden, sipariş alan personelin yetersiz eğitimi ve sipariş formunun olmamasıdır. Bu iki kök neden toplam ürün iadelerinin %61'ini oluşturmuştur. Uygulama sonunda ürün iadelerini azaltmak için bazı iyileştirme aksiyonları alınmış ve sürdürülebilirliği sağlamak için izleme sistemi kurulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Müşteri memnuniyeti, Süreç iyileştirme, İade oranı, Altı Sigma, Süpermarket

\*İzzettin Hakan KARAÇİZMELİ; hkaracizmeli@harran.edu.tr

## 1. Introduction

The increase in competition has recently forced organizations to be more efficient in the production and service sectors. Manufacturing companies aim to use resources efficiently, reduce costs and produce higher-quality products by improving their production processes. Service companies, on the other hand, aim to decrease the cycle times, thereby increasing customer satisfaction (Akarslan, 2003). One of the methods used to achieve these objectives is the Six Sigma method.

This method was first introduced in 1985 by Bill Smith, an engineer at Motorola company. Later, Motorola branded the term “Six Sigma” in 1987 (Vivekananthamoorthy, 2011). Over time, Six Sigma has been developed and used as a solution method in a variety of process improvement problems, and it has become widespread in other sectors (Avunduk, 2019). This problem-solving method involves five steps: Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC). It aims to go beyond customers' needs and expectations by achieving a defect rate of lower than 3.4 per million while solving problems. This defect rate helps us understand how the Six Sigma method handles quality.

Six Sigma is a method of continuous improvement. This method could directly or indirectly help obtain many positive results, such as reducing defects, costs and processing times, while increasing productivity and efficiency, along with increasing market share (Akarslan, 2003). Therefore, the use of this method has become increasingly widespread since 1985. Reviews on the Six Sigma method reveal that it is widely used, particularly in the production sector, and it has many implementations in the service sector.

Researchers have used the Six Sigma methodology for various purposes, such as to minimize residues in the process of radial forging (Sahoo et al., 2008), to improve paint defects in a wheel rim manufacturing company (Tezsürücü & Tunail, 2010) and to increase energy efficiency in the distillation unit of a naphtha conversion plant (Falcon et al., 2012). Srinivasan et al. (2014) used it to reduce defects in the spray-painting process during the production of shock absorbers. They increased the sigma level from 3.31 to 4.5. Srinivasan et al. (2014) used the Six Sigma method to increase the efficiency of the tube heat exchanger in a furnace manufacturing company. The results indicated that the measured performance was increased by approximately 9%. Erbiyik and Saru (2015) used Six Sigma in the supply chain of an automotive supplier company. Pugna et al. (2016) used it to improve the assembly process in an automotive company. In this way, defects in the riveting process were reduced by 40%. By ensuring the selection of the ideal supplier, defects were reduced by 30%. Nedeliakova et al. (2017) used the Six Sigma method to ensure process improvement and increase customer satisfaction in railway companies. Smetkowska and Mrugalska (2018) took the Six Sigma DMAIC approach to improve quality and customer satisfaction in manufacturing process. Hakimi et al. (2018) improved the production quality by determining the optimum settings by using the DMAIC approach in yogurt production processes.

Adopting a case study approach in the automotive industry, Gerger and Demir (2010) used the Lean Six Sigma method, an enriched version of Six Sigma with Lean Manufacturing techniques, to increase customer satisfaction and prevent waste in an after-sales services department. Using Lean Six Sigma, Franchetti and Barnala (2013) increased productivity by reducing various non-value-added processes in a recycling company. Likewise, Indrawati and Ridwansyah (2015) used it to eliminate some problems which are encountered as a factor that causes the production target not to be achieved in the production process in the iron ore industry, and Avunduk (2019) used it to improve the processes in a PET blow molding machine. Schmidt (2019) used the same method to get rid of the problems in fume hoods that protect researchers working in a laboratory environment from dangerous fumes. The results indicated that an improvement of 65% was achieved.

Studies on Six Sigma are carried out not only in the production sector but also in the service sector. Pathiratne et al. (2018) investigated critical success factors in Six Sigma implementations in the service and manufacturing industries. They emphasized that although the production sector has been a major ground for Six Sigma implementations, this method is also quite important for the service sector. Many Six Sigma studies have been completed in the service sector (Yüksel, 2012). As cited by Yüksel (2012), Cherry and Seshadri (2000) conducted a Six Sigma study in the radiology unit of a hospital. The results of the study revealed that the defects and thus the costs in MR processes were significantly reduced. Wyper and Harrison (2000) used the Six Sigma method to improve the human resources management of an engineering company serving in many locations around the globe. The basic principle was to employ the right person at the right place and time

by paying the right amount of money. Snee (2006) used the Six Sigma method to reduce printing defects in newspapers. It reduced the costs by minimizing the rate of possible rework due to defects.

Ratnaningtyas and Surendro (2013) used this method to improve the quality of a hospital information system to increase patient satisfaction. Tagge et al. (2017) increased efficiency in a children's hospital using the Lean Six Sigma methodology. This increase in efficiency helped reduce the cycle time from 41 minutes to 32 minutes and the return time from 81.5 minutes to 71 minutes. Hussein et al. (2017) aimed to reduce the crowd in the emergency department in hospitals by minimizing the waiting time. They used Six Sigma tools to increase patient satisfaction. Riggle et al. (2018) used the Six Sigma method for the improvement of a code response system of a hospital. Thus, they reconfigured the code response system to reduce unnecessary noise factors and the amount of confusion. Using the Six Sigma method, Mitreva and Kirovski (2021) improved the work processes of the clinical microbiology unit in a public hospital in the Republic of North Macedonia.

Maleyeff (2007) showed that the Six Sigma method can also be used in public corporations. The author reports that the processing times during tax collection in the city of Hartford in the USA were reduced using Six Sigma. In a case study of a business in the tourism sector, Cengiz and Senger (2018) increased the service quality of the business by using the Six Sigma method. Sommer and Blumenthal (2019) used Lean Manufacturing and Six Sigma techniques to improve processes in an eye health clinic, involving cataract and laser capsulotomy operations, ophthalmic emergency room use, and clinical patient flow. Although the studies using the Six Sigma method in the service sector have increased, particularly after 2000, according to our best knowledge only one study has been encountered on supermarket processes in the reviewed literature. In that study, Aışeoğlu and Karaçizmeli (2022) reduced the stock levels of a supermarket using the Six Sigma method.

Sreedharan and Raju (2016) stated that 82 of 235 articles, which they reviewed, the use of Lean Six Sigma, belonged to the service industry. However, there were no studies on supermarkets among them. Similarly, Prakash et al. (2022) reviewed 253 articles published in the literature; 63 of them belonged to service industry applications, but none of them focused on supermarkets.

The Six Sigma method is applicable to all sectors. Therefore, successful implementation examples in different sectors will encourage managers and researchers for new studies. Scientific methods like Six Sigma are generally used in corporate companies where there are ample resources. This study aims to present a simple framework for how to improve the processes through the Six Sigma method in a non-corporate supermarket. In addition, it also aims to demonstrate that small and medium-sized enterprises can improve their processes by using such scientific methods and that there is no need for large investments to do this. This study will encourage potential users to implement Six Sigma and similar methods.

Using the Six Sigma method, this study aimed to improve the sales processes for corporate customers in a large-scale supermarket in Şanlıurfa. Ray and Das (2010) noted that project selection is very important in Six Sigma studies. They further emphasized that success can be achieved, particularly through the support and guidance of the top management. According to the supermarket managers involved in this study, corporate customers' return requests have recently increased at alarming rates, and this has had a negative impact on customer satisfaction. By implementing the steps in the Six Sigma method, the reasons for product returns from corporate customers were extensively investigated. The study also aimed to develop solutions that could eliminate or reduce the identified defects, thereby increasing customer satisfaction.

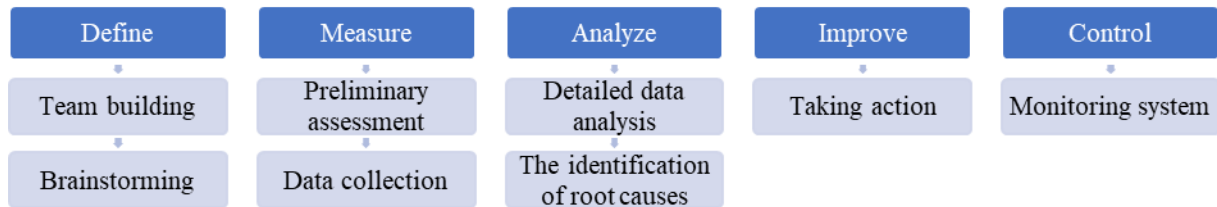
The next section provides information on the method used; the third section presents the implementation of the method with the results, and the conclusion summarizes the results of the study and offers suggestions for prospective studies.

## 2. Material and methods

The supermarket, where the study was conducted, is built on an area of 5000 m<sup>2</sup>. It has a large area for a local market. The supermarket is operated at a single center. It has no other branches. It involves both wholesale and retail sales. The supermarket has a wide range of products from food and beverages to cleaning products, from frozen products to dry foods, from stationery products to glassware and cosmetics.



At the onset of the study, the problem was defined in collaboration with the process owner, and the scope of the study was defined. It was clear that the supermarket managers wanted to increase corporate sales as a management strategy to increase profitability and ensure sustainable growth. Therefore, the orders from corporate customers and delivery processes were specifically monitored. A major problem experienced in the supermarket at the time was the increase in the product returns from corporate customers. Recently, an average of 1000 USD/month product return has been made. The management team wanted to use the Six Sigma method to find a long-term solution to the problem because they were not sure about the causes of this problem.



**Figure 1.** Phases in the study

The phases in the study are illustrated in Figure 1. In the Define phase, first of all, a study team was established, with employees in the units related to the process in which the problem was experienced. The study team consisted of six people: corporate sales manager as Six Sigma project leader, corporate sales specialist, purchasing specialist, warehouse specialist, accounting officer and a senior delivery man. Initially, the name and scope of the study were clarified. Potential root causes were identified by a brainstorming session with the study team. Then, the root causes were evaluated based on their importance (1 point: not important at all, 10 points: very important), and they were ranked using their cumulative level of importance.

After the “define” phase, the necessary data were collected for the second phase which involved measuring. The supermarket where the study was conducted had been selling its products to corporate customers since 2018. The information about the returned products from corporate customers in 2020 and during the first half of 2021 was obtained through the software used by the supermarket. The corporate customers who returned the products were also taken into account. However, no records were kept as to why the products were returned. For this reason, a return registration form was prepared and filled out for each return process. Thus, from then on, it was possible to examine the accumulated causes of the returns.

In the “analyze” phase, the data collected during the “measure” phase were analyzed based on products, product groups, brands, customers, and the interaction of these with each other. Then, the operational defects causing the returns were identified and associated with the root causes, and the most influential causes were pinpointed. In the “improve” phase, actions were planned to eliminate the identified operational defects that led to the return of orders from corporate customers. Finally, during the “control” phase, an order-delivery monitoring system was presented to help the process owner understand the benefits of improvement actions and ensure their sustainability.

Six Sigma studies are often associated with detailed statistical analysis, yet it does not always have to be so. [Prakash et al. \(2022\)](#) stated that in 66% of the 253 Six Sigma studies they examined, the research design was qualitative. In the present study, no detailed and advanced statistical analyses were used. Instead, the DMAIC steps were followed to identify problems through highly practical and easy-to-use tools. Therefore, the DMAIC steps in Figure 1 can be followed in all businesses in which there are limited human and data resources, along with tight budgets.

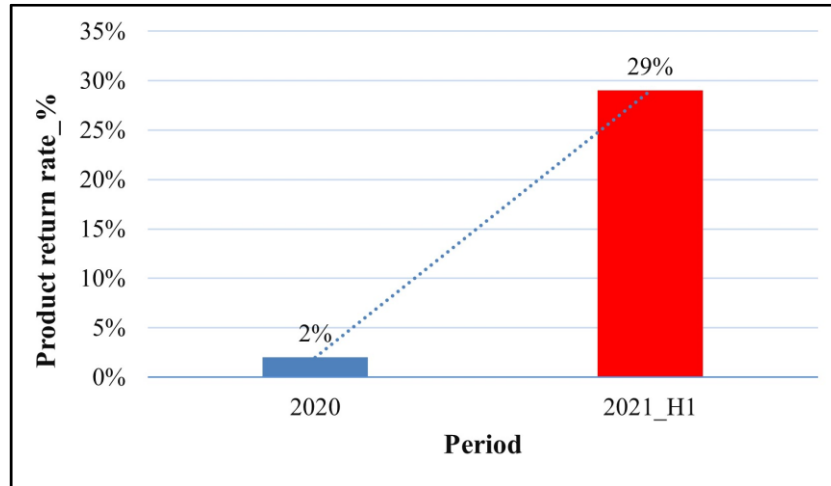
### 3. Implementation of the Six Sigma method

In this section, the implementation of the DMAIC steps in the supermarket is discussed together with its results.

#### 3.1. The “define” phase

The supermarket where the study was conducted had been selling its products to corporate customers since 2018. Its total amount of sales to corporate customers in 2020 and the first half of 2021 and the number of

product returns from these customers were compared, and some striking results were obtained. As seen in Figure 2, in the first half of 2021, the product returns from corporate customers increased approximately 15 times compared to those of the previous year. This shows how critical the problem is and how vital this study is for the supermarket.



**Figure 2.** The rate of product returns from corporate customers

To investigate the causes of the product returns from corporate customers, the potential root causes obtained in the brainstorming session with the study team were ranked from the most significant to the least significant according to their total level of importance. According to the potential causes presented in Table 1, the first of the two root causes that most severely affected the product returns was the lack of a regular order form, and the second was the confusing orders from different customers.

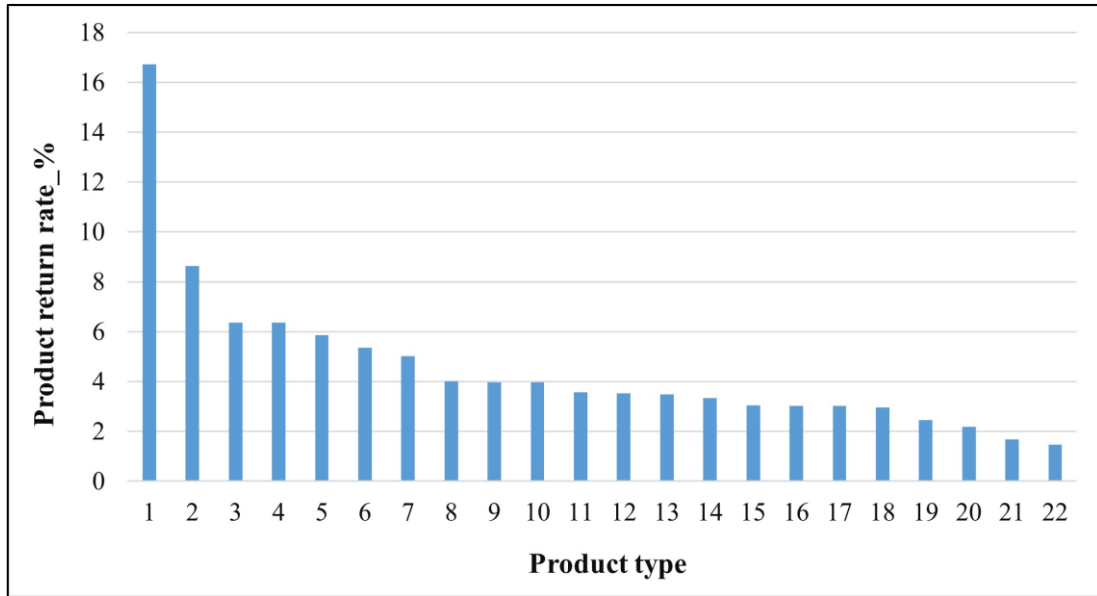
**Table 1.** The potential root causes of the problem

Number	Root causes	Score
1	The lack of a regularly used order form	29
2	Confusing orders from different customers	24
3	The fact that the staff issuing the invoices are not adequately trained	17
4	Insufficient training of the staff who deal with orders	13
5	Inability to track the products	13
6	Insufficient size of the delivery vehicle	13
7	Insufficient training of the staff in charge of purchasing	12
8	The staff's being inadequately trained in organizing the products	7
9	The delivery personnel's not being adequately trained	5

### 3.2. The “measure” phase

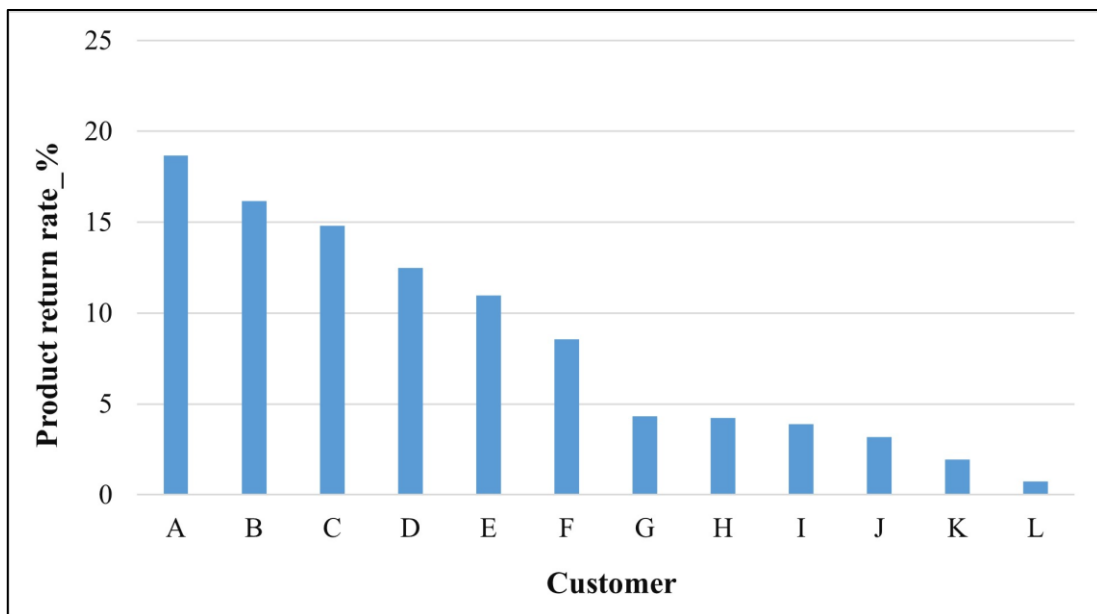
The product returns from corporate customers were categorized according to the type of products to investigate whether the order returns were related to the product type. Figure 3 presents the product return rates by product type. In the measured period, the product returns were seen in 22 product types. No classification was made

for these product types. For example, the product type may be rice or washing machine detergent. Product 1 had a higher order return rate than the other products. After examining the detail of the orders, it was understood that this higher order return rate was a problem of delivery over customer demand. It was also seen that the expiry date was relatively important, but there were no perishable products or product-related defects.



**Figure 3.** The product return rates by product types

The rates of customer-based product returns were calculated using the returns from all corporate customers. As seen in Figure 4, the customer who returned the highest number of products is customer A. After a closer examination, it was seen that there was no obvious customer-based trend or problem. The supermarket had 12 corporate customers. However, it was observed that product returns were seen in all corporate customers.

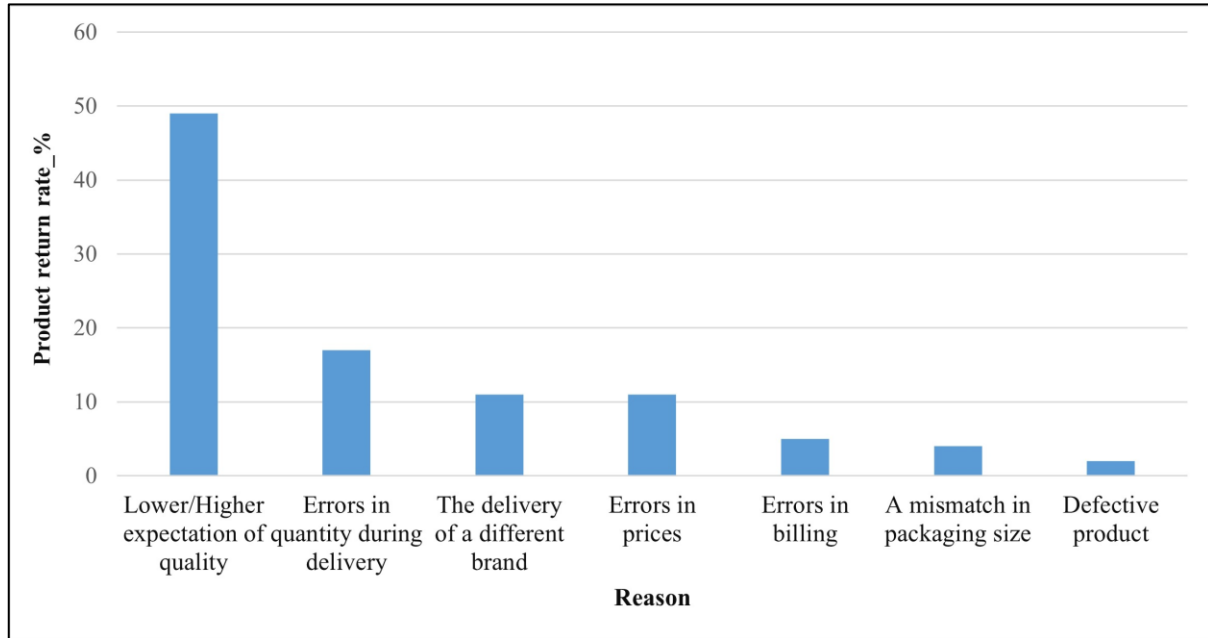


**Figure 4.** The rates of the product returns from corporate customers

### 3.3. The “analyze” phase

The reasons for the product returns, which were first recorded at the beginning of the present study, were analyzed when the number of product returns reached a particular quantity. Figure 5 shows the reasons for the returns based on the product return rates. It was observed that the reason for the return of approximately half

of the products by corporate customers was lower/higher quality expectations. In other words, the results indicated that a major problem was sending a lower-quality product when the customer expected a higher-quality product or vice versa. Further investigations revealed that some customers did not specify the brand information during the order, so the staff who prepared the order sent any brand to the customer for a particular product. While some customers disregarded this, it was understood that some others either found the product to be of poorer quality or higher quality than they desired and returned it.

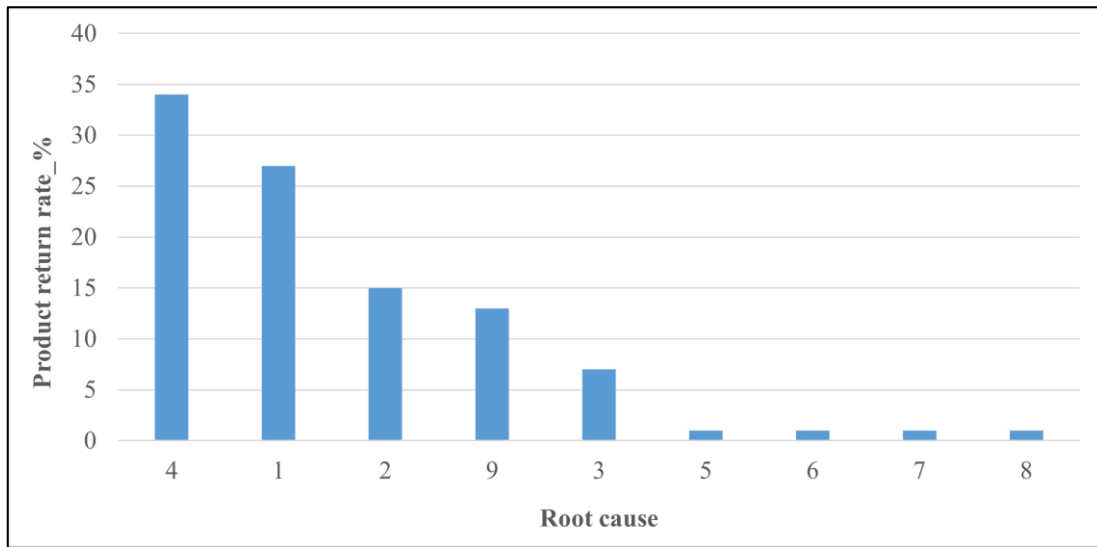


**Figure 5.** The reasons for product returns by the rates of the total price of the returned orders

In the rest of the study, the reasons for the product returns were associated with the potential root causes suggested during the brainstorming session. The results are presented in Table 2. The rates of product returns caused by each root cause are provided in Figure 6. According to the results in Figure 6, it is seen that the root causes most deeply affecting the product returns from corporate customers were “the staff in charge of taking orders are not sufficiently trained (Number 4)” and “the lack of an order form (Number 1)”.

**Table 2.** The reasons for the product returns and the root causes

The reasons for the product returns	Root causes
Lower/higher expectations of quality	1, 4
Errors in quantity during delivery	2, 4, 9
The delivery of a different brand	1, 2, 4, 9
Errors in prices	3
Errors in billing	2, 3
A mismatch in packaging size	1, 2, 4
Defective product	5, 6, 7, 8, 9



**Figure 6.** The total rates of product returns caused by root causes

### 3.4. The “improve” phase

The results of the analysis were examined by the study team, and improvement actions were taken to reduce the product returns from corporate customers. The planned actions are presented in Table 3.

**Table 3.** Actions for improvement

Root causes	Actions for improvement
1	Preparing order forms and writing instructions for their use
2	Planning the ordering processes
3, 4, 7, 8, 9	Making training plans
5	Making a layout plan for the warehouse
6	Planning the distribution of orders (the selection of suitable vehicles)

In the supermarket where the study was conducted, the lack of a regularly used order form was one of the root causes that most seriously increased the product returns from corporate customers. A sample order form is presented in Figure 7. The order form should contain all kinds of distinguishing information so as not to cause any confusion while taking and delivering the orders. However, only preparing the form is not enough. The task of filling out the form must be added to the standard work instructions.

The supermarket sector is one of the sectors where the staffing turnover rate is relatively high. Although the work hardly requires many qualifications, it is necessary to have and implement standard training plans. As the results of the study and the identified root causes indicated, the employees, who take orders, issue invoices, deal with delivery processes and manage purchases, were not adequately trained. Therefore, newly employed staff must be provided with adequate training. In order to obtain the expected benefit from the training efforts, there should be no untrained personnel, training should be offered regularly, and additional trainings should be given at certain periods. In order to achieve all these, it is necessary to employ a training officer.

It is known that there is often no planning regarding the ordering processes in the supermarket, and orders can be taken at any time. The supermarket, where the study was carried out, is very busy, particularly at weekends,



so this may have caused the staff in charge of the orders to confuse the orders. Therefore, planning was made regarding the order and delivery processes for corporate customers:

- Orders can be delivered after 12:00 o'clock, three days a week; that is, on Monday, Wednesday, and Friday.
- The orders to be delivered on a particular day must be notified to the supermarket by 11:00 on that day at the latest; otherwise, the customer must wait for the next delivery day.
- If there are urgent orders for the weekend, the urgent delivery team can deliver orders of a maximum of 50 kilograms or 50 liters. Otherwise, the customers must come and buy the products themselves.

It is not easy to direct customers in this way in the supermarket. However, it may be possible to introduce some sales strategies into the desired work plan, such as special discounts and gifts. If the customer is satisfied with additional benefits, he/she will get used to the system in a short time.

Order Form				
Date				
Customer				
Product name	Requested brand	Quantity	Unit	Volume/Weight per unit
Address of customer			Person in charge  Signature	
Contact person				
Contact's phone				

Figure 7. A sample order form

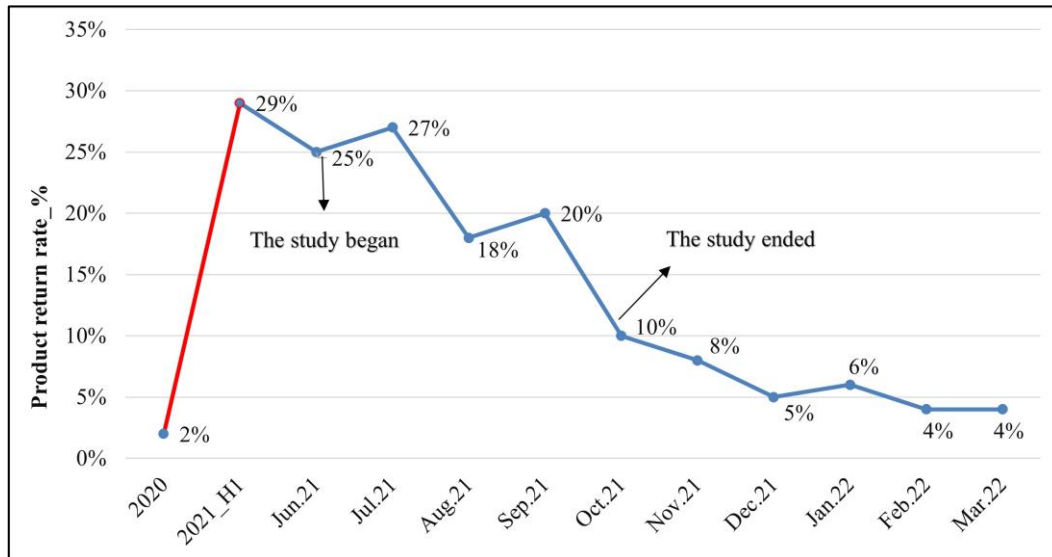
### 3.5. The “control” phase

At the outset of the study, a system was established to keep track of the reasons for product returns. With the implementation of the improvement actions, a monitoring plan was created to keep track of the reasons for the product returns, the return rates and the sustainability of the actions. As can be seen in Table 4, it is recommended that four items be regularly prepared by the corporate sales department and reported to the supermarket managers.

Table 4. The monitoring plan

The item to be monitored	The frequency of monitoring
The returns by reasons	Monthly
Product-based returns	Monthly
Product group-based returns	Monthly
Customer-based returns	Weekly

After the improvements were made, there was a significant decrease in the product return rate. As seen in Figure 8, the product return rate, which had increased to 29% before the study, followed a downward trend during the study. The product return rate decreased to 10% at the end of approximately 4 months. After the improved system was in place, it was observed that the product return rate decreased to approximately 4%. According to the 2-Proportions test, the p value was 0.000. In other words, the decrease in the product return rate is also statistically significant.



**Figure 8.** The rate of product returns before and after the study

#### 4. Conclusion

This study was carried out to reduce product returns from corporate supermarket customers by using the Six Sigma method. The results indicated that the two root causes that affected the returns from corporate customers deeply were the insufficient training of the staff taking the orders and the lack of an order form. These two root causes accounted for 61% of the total product returns. Some actions for improvement were suggested to the supermarket managers, and they were put into practice. Thus, the product return rate fell to 10% at the end of the study.

The results obtained in this study could be considered as a notable example for the whole retail sector, particularly for supermarkets. For instance, [Arya and Jain \(2014\)](#) shortened transaction times and achieved significant profits by applying Kaizen in a small business without incurring large expenditures. In this study, the product return rate, which causes customer dissatisfaction and negatively affects costs, was reduced to 4% without making any investments. The economic loss caused by product returns to the supermarket has easy and difficult parts to calculate. The amount of the returned product is a turnover loss and can be easily calculated. There may be products that are damaged during transportation and become waste. These can also be calculated if followed well. However, it is not easy to calculate the cost of situations such as loss of time in terms of labor, transportation costs, and customer loss. With the improvements made, product returns in this study were reduced by an average of 850 USD/month. Six Sigma studies are commonly known to be challenging and costly to carry out, especially for small and medium-sized enterprises in the service and production sectors with limited resources. The results could encourage such businesses to use Six Sigma and other scientific methods.

[Tjahjono et al. \(2010\)](#) noted that although Six Sigma is quite well known in large organizations, its applications in the service sector and small organizations need to be further investigated. Future researchers can address such issues as the planning of warehouse layout and order distribution, regarding the inability to track the product in the warehouse and the size of the distribution vehicle, which were among the root causes with limited impact in this study. In addition, further studies can be carried out on online ordering systems.

## Author contribution

Author Ayşe Çelik studied in the design, operational implementation and analysis phases and article writing phase of this study. Author İzzettin Hakan Karaçizmeli studied in the design and analysis phases of the study. He acted as a consultant to the implementation phase. He studied during the writing phase of the article and he has made the article ready for scientific review.

## 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 there is no conflict of interest.

## References

- Aißeoğlu, S., & Karaçizmeli, İ.H. (2022). Reducing inventory levels in a supermarket through the Six Sigma method. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 11(3), 828-835. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1122251>
- Akarşlan, B. (2003). *Six Sigma method and an implementation of the method* [MSc Thesis, Istanbul Technical University Graduate School Industrial Engineering Department].
- Arya, A.K., & Jain, S.K. (2014). Impacts of Kaizen in a small-scale industry of India: A case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 22-44. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2013-0019>
- Avunduk, H. (2019). Yalın Altı Sigma: Bir pet şişirme makinesinde süreç iyileştirme uygulaması. *Electronic Journal of Social Sciences*, 18(70), 633-653. <https://doi.org/10.17755/esosder.428802>
- Cengiz, Ö., & Senger, Ö. (2018). Hizmet sektöründe Altı Sigma kalite felsefesinin uygulanması: Bir turizm işletmesi örneği. *Alphanumeric Journal*, 6(1), 151–176. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.396671>
- Cherry, J., & Seshadri, S. (2000). Six Sigma: Using statistics to reduce process variability and costs in radiology. *Radiology Management*, 22, 42-49.
- Erbiyik, H., & Saru, M. (2015). Six Sigma implementations in supply chain: An application for an automotive subsidiary industry in Bursa in Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2556-2565. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.447>
- Falcón, R. G., Alonso, D. V., Fernández, L. M. G., & Peres-Lombard, L. (2012). Improving energy efficiency in a naphtha reforming plant using Six Sigma methodology. *Fuel Processing Technology*, 103, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.07.010>
- Franchetti, M., & Barnala, P. (2013). Lean Six Sigma at a material recovery facility: A case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3), 251-264. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2013-0026>
- Gerger, A., & Demir, B. (2010). A sample for increasing of proportion of service customer relationship with using Lean Six Sigma in automotive services. *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 2(1), 33-47.
- Hakimi, S., Zahraee, S.M., & Rohani, J.M. (2018). Application of Six Sigma DMAIC methodology in plain yogurt production process. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(4), 562-578. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2016-0069>
- Hussein, N.A., Abdelmaguid, T.F., Tawfik, B.S., & Ahmed, N.G.S. (2017). Mitigating overcrowding in emergency departments using Six Sigma and simulation: A case study in Egypt. *Operations Research for Health Care*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.06.003>
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing continuous improvement using Lean Six Sigma: An iron ores industry case application. *Procedia Manufacturing*, 4, 528-534. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.072>

- Maleyeff, J. (2007). *Improving service delivery in government with Lean Six Sigma*. Strategy and Transformation Series, IBM Center for The Business of Government, Washington, DC.
- Mitreva, E., & Kirovski, F. (2021). Application of the methodology of Six Sigma in public health institution. *SAR Journal*, 4(3), 107-113.
- Nedeliaková, E., Štefancová, V., & Kudláč, S. (2017). Six Sigma and dynamic models application as an important quality management tool in railway companies. *Procedia Engineering*, 187, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.371>
- Pathiratne, S.U., Khatibi, A., & Johar, M.G.M. (2018). CSFs for Six Sigma in service and manufacturing companies: An insight on literature. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(4), 543-561. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2017-0092>
- Prakash, S., Kumar, S., Soni, G., Mahto, R.V., & Pandey, N. (2022). A decade of the International Journal of Lean Six Sigma: Bibliometric overview. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(2), 295-341. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2020-0219>
- Pugna, A.P., Negrea, R., & Miclea, S. (2016). Using Six Sigma methodology to improve the assembly process in an automotive company. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 221, 308-316. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.120>
- Ratnaningtyas, D.D., & Surendro, K. (2013). Information quality improvement model on hospital information system using Six Sigma. *Procedia Technology*, 9, 1166-1172. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.130>
- Ray, S., & Das, P. (2010). Six Sigma project selection methodology. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(4), 293-309. <https://doi.org/10.1108/20401461011096078>
- Riggle, J.D., Paulman, R.A., Lazure, J.L., Hallbeck, M.S., & Gannon, D.E. (2018). Structured redesign of a hospital-based code response team using Six Sigma tools and human factors principles to facilitate teamwork. *Journal of Interprofessional Education & Practice*, 12(1), 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.xjep.2018.06.001>
- Sahoo, A.K., Tiwari, M.K., & Mileham, A.R. (2008). Six Sigma based approach to optimize radial forging operation variables. *Journal of Materials Processing Technology*, 202(1-3), 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.085>
- Schmidt, H.G. (2019). Use of Lean Six Sigma methods to eliminate fume hood disorder. *Journal of Chemical Health and Safety*, 26(6), 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2019.03.006>
- Smetkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: A case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 238, 590-596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Snee, R.D. (2006). Increasing newspaper accuracy using Six Sigma methodology. In Antony J., Banuelas R., & Kumar A. (Ed.s), *World Class Applications of Six Sigma*, (pp. 211-223). Elsevier, Amsterdam.
- Sommer, A.C., & Blumenthal, E.Z. (2019). Implementation of Lean and Six Sigma principles in ophthalmology for improving quality of care and patient flow. *Survey of Ophthalmology*, 64(5), 720-728. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2019.03.007>
- Sreedharan, V.R., & Raju, R. (2016). A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(4), 430-466. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2015-0050>
- Srinivasan, K., Muthu, S., Devadasan, S.R., & Sugumaran, C. (2014). Enhancing effectiveness of shell and tube heat exchanger through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 97, 2064-2071. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.449>
- Srinivasan, K., Muthu, S., Prasad, N.K., & Satheesh, G. (2014). Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 97, 1755-1764. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.327>
- Tagge, E.P., Thirumoorthi, A.S., Lenart, J., Garberoglio, C., & Mitchell, K.W. (2017). Improving operating room efficiency in academic children's hospital using Lean Six Sigma methodology. *Journal of Pediatric Surgery*, 52(6), 1040-1044. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.03.035>

- Tezsürücü, D., & Tunail, İ. (2010). Altı Sigma metodolojisi ve otomotiv sektöründe bir örnek olay incelemesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 129-146.
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V.I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., Minguet, M., Narasimha, L., Rivas, A., Srivastava, A., Srivastava, S., & Yadav, A. (2010). Six Sigma: A literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 216-233. <https://doi.org/10.1108/20401461011075017>
- Vivekananthamoorthy, N., & Shanmuganathan, S. (2011). Lean Six Sigma. In Coskun, A., İnal, T.C. & Serteser, M. (Ed.s), *Six Sigma Projects and Personal Experiences*, (pp. 1-22). IntechOpen, London.
- Wyper B., & Harrison, A. (2000). Deployment of Six Sigma methodology in human resource function: A case study. *Total Quality Management*, 11(4-6), 720-727. <https://doi.org/10.1080/09544120050008129>
- Yüksel, H. (2012). Six Sigma applications in service firms: A literature review. *The Journal of Selcuk University Social Sciences Institute*, 27, 327-338.



## Solvent-free synthesis of aryl-substituted pyrylium salts and investigation of the auxochromes' effects on their photophysical properties

*Aril-süstitüe pirilyum tuzlarının çözücüsüz sentezi ve oksokromların fotofiziksel özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması*

Efdal TEKNİKEL\* 

Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 06800, Ankara

• Received: 05.09.2023

• Accepted: 30.09.2023

### Abstract

Pyrylium compounds are structures based on an oxonium heterocycle that has been extensively studied thanks to their superior absorption and fluorescence properties. In this study, pyrylium salts were first shown to be obtained in the solvent-free medium. Six pyrylium compounds, three of which were novel, were synthesized using this method. These compounds have different auxochromes on the phenyl groups at the 2,4 and 6 positions. In the final step, the photophysical properties of these compounds were examined and the effects of basic auxochromes on pyrylium photophysics were revealed.

**Keywords:** Fluorescence, Pyrylium, Solvent-free synthesis, UV-Vis spectroscopy

### Öz

*Pirilyum bileşikleri, üstün absorpsiyon ve floresans özellikleri nedeniyle üzerinde yoğun olarak çalışılan, oksonyum heterohalkası üzerine kurulu yapılardır. Bu çalışma kapsamında ilk olarak pirilyum tuzlarının çözücüsüz ortamda elde edilebileceği gösterildi. Bu yöntem kullanılarak üçü yeni olan altı pirilyum bileşiği sentezlendi. Bu bileşiklerin 2,4 ve 6 pozisyonlarındaki fenil gruplarında farklı oksokromlar bulunmaktadır. Son aşamada bu bileşiklerin fotofiziksel özellikleri incelendi ve temel oksokromların pirilyum fotofiziği üzerindeki etkileri ortaya konuldu.*

**Anahtar kelimeler:** Floresans, Pirilyum, Çözücüsüz sentez, UV-Vis spektroskopisi

\* Efdal TEKNİKEL; efdalt@hacettepe.edu.tr

## 1. Introduction

Pyrylium core is a six-membered ring bearing a positively charged oxygen atom. Compounds based on this core have high absorption coefficients and can fluoresce strongly depending on the substituents attached to the core. Because of these superior photophysical properties, it has been used in various application areas as a photocatalyst (Hola & Ortyl, 2021), sensor (García et al., 2005; Jiménez et al., 2003; Qian et al., 2015; Yin et al., 2022), and photosensitizer (Miranda & Garcia, 1994). Unsubstituted pyrylium salt has its maximum absorption band at ca. 270 nm with a molar absorption coefficient of 9000 L·mol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> (Burov et al., 2008; Makin et al., 1986). The attachment of aryl groups to the ring at different positions results in dramatic bathochromic shifts and increases in the molar absorption coefficient. In general, pyrylium salts tend to fluoresce strongly. However, substituents attached to the nucleus can also cause apparent changes in the fluorescence properties. The effects of different substituents and fused systems on pyrylium photophysics have been investigated by various groups (Yoshida et al., 1982; Haucke et al., 1992).

In this paper, we first introduced a solvent-free synthetic procedure to access 2,4,6-triaryl pyrylium compounds. By using this procedure, six pyrylium salts have been synthesized and their photophysical properties were investigated.

## 2. Material and method

### 2.1. Materials and instrumentation

<sup>1</sup>H NMR and <sup>13</sup>C NMR spectra were recorded using a Bruker 400 FT-NMR spectrometer. UV/visible absorption measurements were performed on PG instruments T80 UV/visible spectrometer. Fluorescence spectra were recorded on the Shimadzu RF-5301 PC spectrofluorometer. HRMS data were collected on Agilent High-Resolution Quadrupole Time-of-Flight LC/MS.

Commercially available reagents and solvents were purchased from Sigma-Aldrich or TCI and were used without further purification or drying.

### 2.2. Synthesis of pyrylium salts

To a mixture of corresponding benzaldehyde (1 mmol) and acetophenone (3 mmol) was added BF<sub>3</sub>OEt<sub>2</sub> (5 mmol) and heated at 120°C for one hour. The reaction mixture was allowed to cool to room temperature and its contents were transferred to a beaker using 3 ml of acetone. 30 ml of diethyl ether was added to this beaker to precipitate the mostly pure product. The solid product was filtered and washed with acetone (5 ml) and diethyl ether (15 ml). For compounds **3** and **4**, the obtained solids were further washed with 15 mL of acetone. The solids were dried at room temperature overnight.

**1.** Yellow solid (47%) <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 9.19 (s, 2H), 8.62 (m, 6H), 7.89-7.82 (m, 9). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 169.3, 164.9, 135.2, 135.0, 132.0, 129.8, 129.1, 128.5, 114.9

**2.** Red-black solid (55 %). <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 8.51 – 8.36 (m, 8H), 7.92 (d, *J* = 8.2 Hz, 2H), 7.48 (d, *J* = 8.2 Hz, 4H), 6.88 (d, *J* = 9.3 Hz, 2H), 3.21 (s, 6H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 167.5, 160.3, 156.2, 144.9, 133.8, 130.8, 127.4, 118.5, 113.3, 109.2, 40.5.

**3.** Red solid (23 %). <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.01 (bs, 1H) 8.41 – 8.15 (m, 7H), 7.92-7.82 (m, 6H), 6.05 (d, *J* = 8.2 Hz, 1H), 5.93 (s, 1H), 3.21 (s, 6H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 167.6, 158.9, 156.1, 143.7, 131.5, 130.8, 128.5, 127.0, 118.3, 110.4, 106.9, 40.6.

**4.** Red-black solid (61 %). <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 8.43 – 8.15 (m, 7H), 7.91-7.80 (m, 6H), 6.12 (d, *J* = 8.1 Hz, 1H), 5.92 (s, 1H), 3.21 (s, 6H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 167.0, 158.9, 156.9, 143.7, 132.6, 130.0, 126.0, 117.1, 108.8, 106.9, 40.6.

**5.** Red-black solid (58 %). <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 8.53 – 8.42 (m, 4H), 8.24 (d, *J* = 8.2 Hz, 4H), 7.48 (d, *J* = 8.2 Hz, 4H), 6.88 (d, *J* = 9.3 Hz, 2H), 3.21 (s, 6H), 2.46 (s, 6H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) δ 165.40,

159.21, 156.06, 144.75, 133.70, 130.58, 127.95, 127.42, 118.56, 113.25, 109.08, 40.52, 21.79. HRMS: *m/z* calcd. for C<sub>27</sub>H<sub>26</sub>NO [M-BF<sub>4</sub>]<sup>+</sup>: 380.2009; found: 380.2031.

**6.** Orange solid (43 %). <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO) δ 8.4 (d, *J* = 8.2 Hz, 4H), 8.03-7.91 (m, 4H), 7.93-7.76 (m, 6H), 6.03 (s, 2H), 3.82-3.79 (m, 9H). <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, DMSO) 168.0, 162.5, 135.1, 134.0, 131.9, 130.4, 130.1, 129.8, 129.6, 114.9.

### 2.3. Photophysical studies

A solution of the corresponding pyrylium salt in DMSO (10<sup>-3</sup> M) was used as the stock solution. This solution was diluted in acetonitrile to obtain the solutions studied in photophysical studies.

The fluorescence quantum yield of the compounds was calculated by the comparative method using Rhodamine B as the fluorescence quantum yield standard ( $\phi_f = 0.71$  in ethanol (Arbeloa et al., 1989)). Both Rhodamine B and the compound were excited at 400 nm for these measurements.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Synthesis

One of the most common methods to access 2,4,6-triphenyl pyrylium compounds is to heat the corresponding benzaldehyde and acetophenone in a solvent in the presence of perchloric acid or BF<sub>3</sub>OEt<sub>2</sub> (Aliaga et al., 2019; Idelson et al., 2017; Lainé et al., 2006). The yields obtained by this method vary between 10-60%. When we used this procedure to synthesize 2,4,6-triphenyl pyrylium (toluene as the solvent and BF<sub>3</sub>OEt<sub>2</sub> as the reactant) we obtained a low yield of 18%. During the studies on modifying the synthetic procedure, we discovered the reaction to proceed in a solvent-free medium. Thus, we carried out optimization studies to both increase the yield and obtain the pyrylium compound in a solvent-free medium. As a result of these studies, the yield of triphenylpyrylium was increased by up to 47% under optimized solvent-free conditions (Table 1).

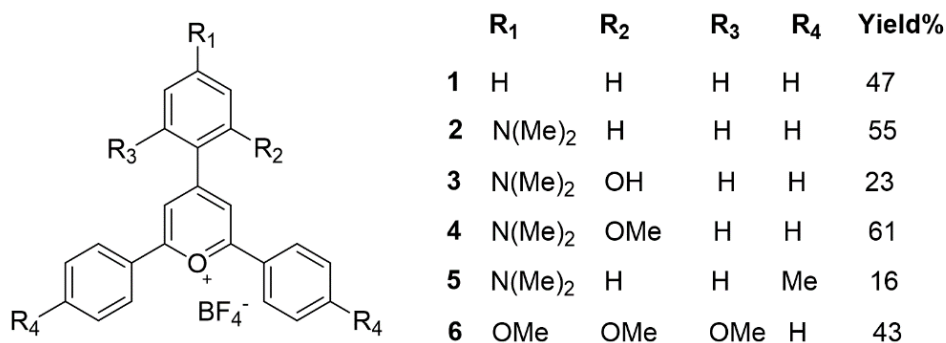
**Table 1.** Optimization conditions for the solventless synthesis of 2,4,6-triphenylpyrylium.

Entry	Benzaldehyde (equiv.)	Acetophenone (equiv.)	BF <sub>3</sub> (OEt) <sub>2</sub> (equiv.)	Temperature (°C)	Yield %
1	1	2	2.5	50	22
2	1	2	2.5	120	37
3	1	2	5	120	24
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2.5</b>	<b>120</b>	<b>47</b>
5	1	4	2.5	120	39
6	1	3	1.2	120	37

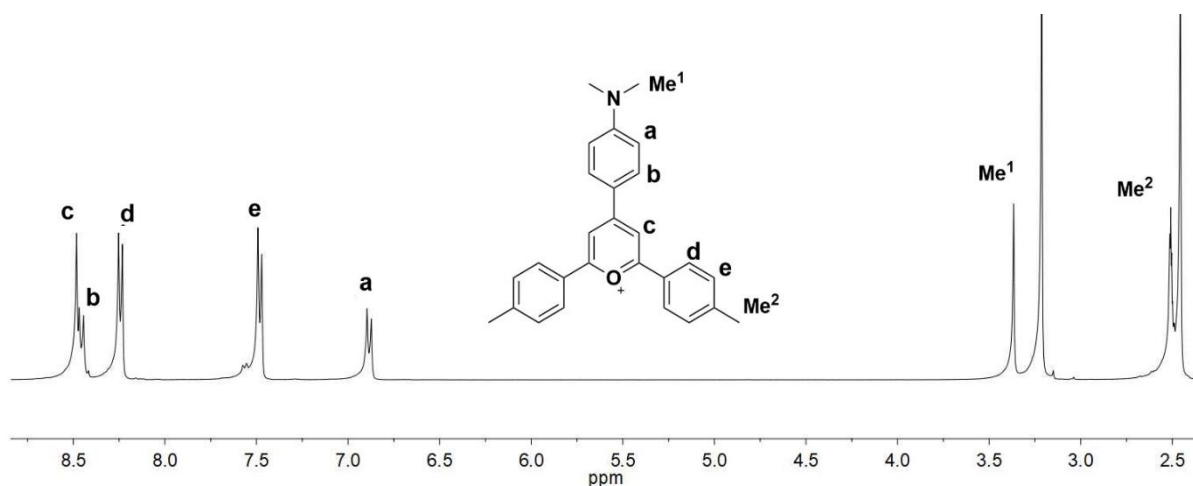
In the procedure we developed, 1 equiv. of corresponding benzaldehyde and 3 equiv. of acetophenone were heated at 120°C for 1 hour in the presence of 2.5 equiv. of BF<sub>3</sub>(OEt)<sub>2</sub>. Then the crude material was dissolved in acetone, precipitated by adding ether, and washed with acetone-ether (1:2). Using this procedure, compounds **1-6** with different substituents on phenyl groups were synthesized in 23-58% yields (Figure 1). **3**, **4** and **6** have been synthesized for the first time in this study.

Characterization of the synthesized compounds was carried out by <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR techniques. For **5**, mass spectroscopic analysis was also performed. The <sup>1</sup>H NMR spectrum of this compound is given in Figure 2 as an example. All proton signals of this compound are expected to shift to the higher field, due to the electron-donating properties of N, N-dimethyl amino, and methyl groups. Protons that are in the same ring with the auxochromes were observed to be affected by these groups. The **d** and **e** protons on the methyl-bearing ring resonated at 8.24 and 7.48 ppm, respectively, splitting each other's signals into a doublet (*J* = 8.2 Hz). The **a** and **b** protons signal on the other phenyl ring were observed at 8.4 and 6.88 ppm, respectively (*J* = 9.3 Hz). The chemical shifts of the protons on the pyrylium nucleus were particularly interesting. In 2,4,6-triphenyl

pyryllium, the signals of the protons on the pyryllium core are at 9.19 ppm, while this value has shifted up to 8.5 ppm (c) for **5**. This finding indicates that the pyryllium core is in strong electronic communication with the phenyl rings attached to it. The protons of the N,N-dimethylamino group and the methyl groups directly attached to the phenyl gave peaks at 3.21 and 2.46 ppm, respectively. When mass spectroscopic analysis (ESI) of **5** was performed in positive mode, the molecule was seen to ionize by the loss of the counter ion  $\text{BF}_4^-$ . The difference between the calculated (380.2009) and found (380.2031) mass values for the compound was 5.8 ppm.



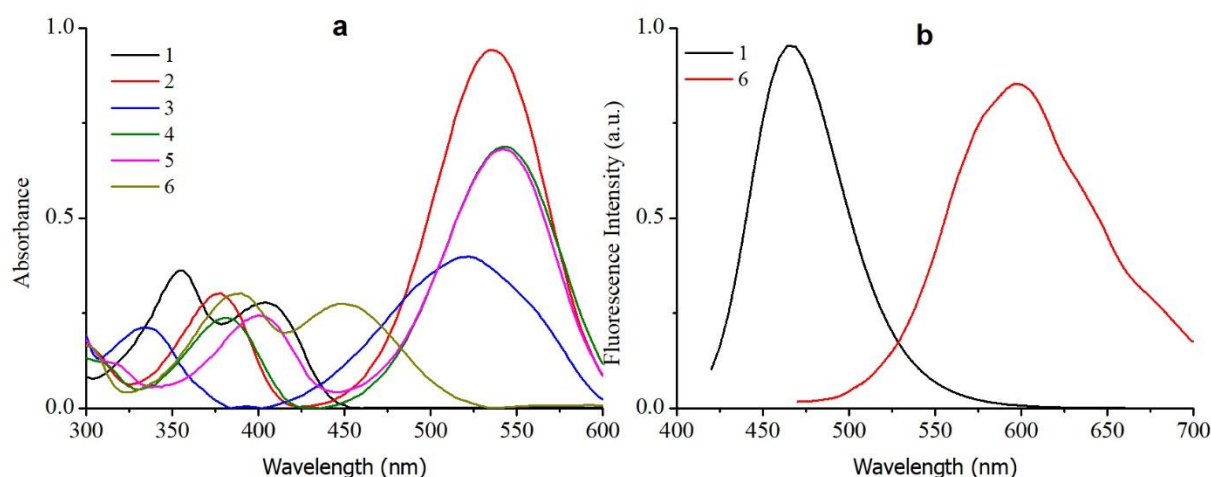
**Figure 1.** The synthesized pyryllium compounds and the reaction yields.



**Figure 2.**  $^1\text{H}$  NMR spectrum of **5** in d-DMSO. The peaks at 3.33 and 2.5 belong to water and d-DMSO, respectively (Fulmer et al., 2010).

### 3.2 Photophysical studies

In the next step, the photophysical properties of the solutions of **1-6** in acetonitrile were investigated. The obtained absorption and fluorescence spectra of the compound are given in Figure 3 and the measured values are summarized in Table 2. The lowest energy absorption band of **1** was observed to be at 404 nm in this solution. This compound fluoresces at 465 nm with a 68% fluorescence quantum yield when excited at this wavelength. When the photophysical properties of compound **2** were examined, it was seen that the dimethyl amino group on 4-phenyl had dramatic effects on the photophysical properties. This substituent shifted the absorption wavelength to 536 nm and increased the molar absorption coefficient of the compound up to 4 times compared to compound **1**. The compound also be observed to be non-fluorescent. The dramatic bathochromic shift (132 nm), the increase in the molar absorption coefficient, and the quenching of the strong fluorescence altogether can be explained by an intramolecular charge transfer (ICT) process; There should be a strong excited state intramolecular charge transfer between the positively-charged pyryllium core and the electron-donor N,N-dimethylamino group.



**Figure 3.** (a) Absorption and (b) fluorescence spectra of **1-6** in acetonitrile. The fluorescence intensities are not to be compared.

**Table 2.** Photophysical data for the pyrylium compounds **1-6** in acetonitrile.

Compound	$\lambda_{\text{abs}}$ (nm)	$\lambda_{\text{fl}, \text{max}}$ (nm)	Stokes shift (nm)	$\log(\epsilon)$	$\phi_f$
<b>1</b>	404	465	61	4.45	0.68
<b>2</b>	535	-	-	4.99	-
<b>3</b>	524	-	-	4.68	-
<b>4</b>	543	-	-	4.91	-
<b>5</b>	543	-	-	4.91	-
<b>6</b>	451	598	148	4.45	>0.0

When the photophysical properties of compounds **3** and **4** were examined, the hydroxyl and methoxy substituents were seen to cause 11 nm hypsochromic and 8 nm bathochromic shifts, respectively. Although the molar absorption coefficients of both compounds are lower compared to **2**, this difference is up to 2 times for **3**. In the first place, it could be thought that the hydroxyl group would increase the charge separation in the ICT process with its electron donor property. However, these observations indicate the presence of another interaction/process in the compound. One possible explanation may be the stabilization of the ground state through intermolecular hydrogen bonding between hydroxyl hydrogens and amine nitrogens.

The absorption spectrum of compound **5** completely overlaps with that of compound **4** at their lowest energy regions. Apparently, two methyl groups at positions 2 and 6 cause the same auxochromic effects as methoxy at position 4. The absorption spectra of compounds differ only in their  $\pi$ - $\pi^*$  transition wavelengths (ca. 40 nm).

When the photophysical properties of **6** were examined, the three methoxy groups on the 2-phenyl were observed to cause a 47 nm bathochromic shift in the absorption wavelength when compared to **1**. This compound also fluoresces although it has a very low quantum yield (>0.01). Considering the changes in the photophysical changes, there also exists a distinct ICT although not as pronounced as in the N,N-dimethylamino-substituted pyryliums.

#### 4. Conclusion

In conclusion, we have synthesized six pyrylium compounds three of which have not been previously reported. We first carried out optimization studies on the classical synthetic procedure. Upon these studies we have shown that the pyrylium compounds can be synthesized in the absence of a solvent with increased yields. When the photophysical properties of the synthesized compounds were examined, the strong auxochrome properties



of N, N-dimethylamine were manifested on the pyrylium core. In the presence of this auxochrome, the effects of methoxy and hydroxy substituents on photophysical properties were seen to become less pronounced.

### Author contribution

Synthesis, structure characterization, photophysical studies.

### Declaration of ethical code

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

### Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

### References

- Aliaga, C., Vidal, M., Pastenes, C., Rezende, M. C., & Domínguez, M. (2019). Solvatofluorochromism of conjugated 4-methoxyphenyl-pyridinium electron donor-acceptor pairs. *Dyes and Pigments*, *166*, 395-402. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.03.054>
- Arbeloa, F. L., Ojeda, P. R., & Arbeloa, I. L. (1989). Fluorescence self-quenching of the molecular forms of rhodamine b in aqueous and ethanolic solutions. *Journal of Luminescence*, *44*(1-2), 105-112. [https://doi.org/10.1016/0022-2313\(89\)90027-6](https://doi.org/10.1016/0022-2313(89)90027-6)
- Burov, A. M., Pchelintseva, N. V., & Fedotova, O. V. (2008). Electronic absorption spectra of pyrylium and benzodihydrochromenylium salts. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, *44*(8), 924-930. <https://doi.org/10.1007/s10593-008-0134-1>
- Fulmer, G. R., Miller, A. J. M., Sherden, N. H., Gottlieb, H. E., Nudelman, A., Stoltz, B. M., Bercaw, J. E., & Goldberg, K. I. (2010). NMR chemical shifts of trace impurities: common laboratory solvents, organics, and gases in deuterated solvents relevant to the organometallic chemist. *Organometallics*, *29*(9), 2176-2179. <https://doi.org/10.1021/om100106e>
- García, F., García, J. M., García-Acosta, B., Martínez-Máñez, R., Sancenón, F., & Soto, J. (2005). Pyrylium-containing polymers as sensory materials for the colorimetric sensing of cyanide in water. *Chemical Communications*, *22*, 2790-2792. <https://doi.org/10.1039/b502374b>
- Haucke, G., Czerney, P., & Cebulla, F. (1992). Absorption and fluorescence of pyrylium salts. *Berichte Der Bunsengesellschaft Für Physikalische Chemie*, *96*(7), 880-886. <https://doi.org/10.1002/bbpc.19920960706>
- Hola, E., & Ortyl, J. (2021). Pyrylium salt as a visible-light-induced photoredox catalyst for polymer and organic synthesis – perspectives on catalyst design and performance. *European Polymer Journal*, *150*, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110365>
- Idelson, A., Sterzenbach, C., Jester, S.-S., Tschierske, C., Baumeister, U., & Höger, S. (2017). A liquid-crystalline phenylene-based shape-persistent molecular spoked wheel. *Journal of the American Chemical Society*, *139*(12), 4429-4434. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b13020>
- Jiménez, D., Martínez-Máñez, R., Sancenón, F., Ros-Lis, J. V., Benito, A., & Soto, J. (2003). A new chromo-chemodosimeter selective for sulfide anion. *Journal of the American Chemical Society*, *125*(30), 9000-9001. <https://doi.org/10.1021/ja0347336>
- Lainé, P. P., Bedioui, F., Loiseau, F., Chiorboli, C., & Campagna, S. (2006). Conformationally gated photoinduced processes within photosensitizer-acceptor dyads based on osmium(II) complexes with triarylpyridinio-functionalized terpyridyl ligands: insights from experimental study. *Journal of the American Chemical Society*, *128*(23), 7510-7521. <https://doi.org/10.1021/ja058357w>

- Makin, S., Markina, T., & Boiko, I. (1986). Chemistry of enol ethers. part 73. synthesis of pyrylium salts from the monoacetals of 1, 5-dicarbonyl compounds. *Chemischer Informationsdienst*, 17(23), 208-210. <https://doi.org/10.1002/chin.198623209>
- Miranda, M. A., & Garcia, H. (1994). 2,4,6-Triphenylpyrylium tetrafluoroborate as an electron-transfer photosensitizer. *Chemical Reviews*, 94(4), 1063–1089. <https://doi.org/10.1021/cr00028a009>
- Qian, X., Gong, W., Wang, F., Lin, Y., & Ning, G. (2015). A pyrylium-based colorimetric and fluorimetric chemosensor for the selective detection of lysine in aqueous environment and real sample. *Tetrahedron Letters*, 56(21), 2764–2767. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2015.04.029>
- Yin, W., Wang, H., Deng, B., Ma, F., Zhang, J., Zhou, M., Wang, H., & Lu, Y. (2022). A pyrylium salt-based fluorescent probe for the highly sensitive detection of methylamine vapour. *The Analyst*, 147(15), 3451–3455. <https://doi.org/10.1039/D2AN00911K>
- Yoshida, Z., Sugimoto, H., & Yoneda, S. (1972). Electronic spectra and structures of thiopyrylium and pyrylium cations. *Tetrahedron*, 28(24), 5873-5881. [https://doi.org/10.1016/0040-4020\(72\)88120-1](https://doi.org/10.1016/0040-4020(72)88120-1)

## TDMA-tabanlı bir bilişsel radyo ağının sonlu birincil ve ikincil kullanıcılar için modellenmesi, benzetimi ve çağrı başarımları analizi

*Modeling, simulation and call performance analysis of a TDMA-based cognitive radio network with finite primary and secondary users*

Sedat ATMACA\* 

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla

• Geliş tarihi / Received: 22.06.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 31.10.2023

### Öz

Bu makalede; TDMA-tabanlı bir bilişsel radyo ağı modellenmiş ve ağdaki ikincil kullanıcıların (İK'ların) çağrı başarımları farklı birincil ve ikincil kullanıcı trafik parametreleri ile farklı zaman dilimi sayıları için analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen modelde birincil kullanıcılar, ortam erişim kontrol mekanizmasında klasik çözümlerden farklı olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişim tekniği kullanmakta, ayrıca ikincil kullanıcılar, birincil kullanıcılar tarafından kullanılmayan zaman dilimlerinden fırsatçı bir yaklaşımla yararlanmaktadır. Geliştirilen ağ modelinde, birincil kullanıcıların kanala erişimde ikincil kullanıcılara göre yüksek önceliğe sahip oldukları ve ikincil kullanıcıların kanal kullanımından etkilenmedikleri varsayılmaktadır. Bilişsel radyo ağının başarımları iki boyutlu sürekli Markov zinciri kullanılarak çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıkları açısından analitik olarak detaylıca analiz edilmiştir. Ayrıca, ilgili ağ modelinin Monte-Carlo benzetimi gerçekleştirilmiş ve benzetim sonuçları analitik sonuçlar ile doğrulanmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre, İK varış hızı  $\lambda_s = 0,07$  ve zaman dilimi sayısı  $N = 4$  olduğunda İK çağrı-tıkanma olasılığı 0,0347 iken  $N = 6$  için bu değer %95 iyileşerek 0,00172 değerini ve  $N = 8$  için ise %99 iyileşerek 0,00034 değerini aldığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Bilişsel radyo, Markov zinciri, TDMA

### Abstract

In this article, a TDMA-based cognitive radio network is modeled and the call performance of secondary users in this network is analyzed for different primary and secondary user traffic parameters and for different numbers of time slots. In our model, primary users utilize Time Division Multiple Access technique as the media access control mechanism, differing from well-known classical approaches, and by means of an opportunistic approach, secondary users take advantage of time slots not used by primary users. In addition, in the proposed network model, it is assumed that primary users have higher priority in accessing the channel than secondary users and are not affected by secondary users' channel occupation. The performance of the cognitive radio network is analyzed in detail in terms of call-block and call-drop probabilities using a two-dimensional continuous Markov chain. In addition, the Monte-Carlo simulation of the proposed network model has been performed, and the obtained analytical results have been verified by the simulation results. According to the simulation results obtained, when the SU (secondary user) arrival rate is  $\lambda_s = 0,07$  and the number of time slot is  $N = 4$ , the call block probability of SU is 0.0347, when the number of time slot is  $N = 6$ , this value is improved by 95% to 0.00172 and when the number of time slot is  $N = 8$ , value is improved by 99% to 0.00034.

**Keywords:** Cognitive radio, Markov chain, Time Division Multiple Access

\* Sedat ATMACA; sedatatmaca@mu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yeni nesil iletişim sistemleri ve teknolojileri benzeri görülmemiş bir hızla ortaya çıktıkça, kablosuz iletişim sistemleri giderek daha yaygın hale gelmektedir. Kablosuz cihazların ve sistemlerin bu hızlı gelişimiyle birlikte, spektrum kıtlığı sorunu açığa çıkmıştır. Geleneksel kablosuz spektrum tahsis tekniklerinde, sabit veya statik kanal tahsis yaklaşımı benimsendiğinden, bir kablosuz iletişim sistemi, belirli spektrum kaynaklarının özel kullanım hakkına sahiptir (Mitola & Maguire, 1999; Haykin, 2005; Bayrakdar & Çalhan, 2015; Bayrakdar & Çalhan, 2017). Bununla birlikte, birincil kullanıcı (BK) olarak da bilinen lisanslı kullanıcılara tahsis edilen spektrum kaynaklarının bazı bölümleri uygulamaların özelliklerine de bağlı olarak verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Ayrıca, lisanslı spektrumun kullanımı da konuma veya zamana bağlı olarak değişmektedir (Sridhara vd., 2008; Zhao & Sadler, 2007; Zhonggui & Hongbo, 2012). Bu nedenle, sınırlı olan ve BK'lar tarafından verimli şekilde faydalanılamayan spektrumun kullanımını üst düzeye çıkarmak için yeni yöntem ve teknikler geliştirilmektedir. Bilişsel Radyo (BR); verimsiz olarak kullanılan lisanslı spektrumdan yararlanmanın bir yolu olarak ön görülmekte ve kablosuz iletişim için spektrum kıtlığı sorununu hafifletme amacıyla temel bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Sridhara vd., 2008; Zhao & Sadler, 2007; Namdar & Başgmüş, 2017). BR ağları, BK'lara müdahale etmeden lisanslı spektrumu geçici olarak başkaca kullanıcılara tahsis ederek spektrumun verimliliğini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu ağlar, ikincil kullanıcı (İK) olarak da bilinen BR kullanıcılarına, BK'lar aktif iletim durumunda değilken, mevcut spektrum boşluklarından (spectrum holes) yararlanma fırsatı sağlar. İK'lar, BK'ların iletişimine müdahale etmeden, spektrum boşlukları olarak da bilinen spektrumun boş kısımlarını dinamik olarak belirler ve bunlara erişir. Bu nedenle, BR ağları sayesinde, spektrumdaki boşlukların geçici olarak kullanılmasını sağlanarak mevcut spektrumdaki kanal kullanım oranları artırılmaktadır.

Son yıllarda BR ağlarının başarımları hakkında çok sayıda araştırma yapılmıştır. Hassani ve Berangi (2019), İK çağrı-tıkanma (call blocking) olasılığını belirlemek için bilişsel radyo duyurucu ağında (BRDA) ayrık zamanlı bir Markov zinciri modeli geliştirmiş ve modelden elde edilen sonuçları ns-2 benzetim programıyla doğrulamıştır. Sunulan bu modelde, birincil ve ikincil kullanıcıların varış-oranları (arrival rates) ve servis-oranları (service rates) dikkate alınarak İK'ların çağrı-tıkanma olasılıkları hesaplanmıştır. Ancak, İK çağrı-düşme (call drop) olasılıkları incelenmemiştir. Salameh vd. (2020), BR ağlarının başarımlarını değerlendirmek için dört boyutlu bir sürekli Markov zinciri modeli sunmuştur. Sunulan model, BK'lar için yoğun (bursty) varış-süreci ile yanlış-alarm (false alarm) ve hatalı-sezme (miss detection) olasılıklarını değerlendirmelerde dikkate alınmıştır. Makalede hem birincil hem de ikincil kullanıcılar için çağrı-tıkanma olasılıkları incelenerek ikincil kullanıcılar için ortalama gecikme (mean delay) başarımlarının esas alındığı analizler yapılmaktadır. Salameh vd. (2017)'nin yaptığı çalışmada, reaktif karar verme ile spektrum el-değiştirme (spectrum hand-off) yaklaşımı kullanılarak BR ağlarındaki İK başarımları incelenmiştir. Çalışmada kullanılan ana başarımlar İK ortalama gecikmesi, İK kesintisi-olasılığı (interruption probability), İK atılma-olasılığı (discard probability) ve İK çağrı-tıkanma olasılığıdır. İK başarımları üzerindeki algılama zamanı (sensing time) ve algılama oda boyutu (sensing room size) gibi parametrelerin etkisini incelemek için iki farklı sürekli zamanlı Markov zinciri modeli geliştirilmiştir. Değerlendirilen sonuçlara göre, İK başarımları özellikle BK varış-sürecindeki yoğunluk (bursty) derecesine göre belirlenmektedir. Chu vd. (2014), öncelikli trafiklerin düşünüldüğü BR ağlarında İK çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıklarını hesaplamak için üç boyutlu bir Markov zinciri modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada, İK'ların başarımları çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıkları elde edilerek değerlendirilmiştir. Park vd. (2016)'nın yaptığı çalışmada, spektrum el-değiştirme (hand-off) özelliği olmadan BRDA'da öncelikli dinamik kanal tahsisli bir dinamik spektrum erişim (DSE) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen çözümde tek öncelik derecesine sahip BK'lar ve iki farklı önceliğe sahip İK'lar bulunmaktadır. Çalışmada çağrı-tıkanma olasılığı, zorla çağrı-sonlandırma olasılığı (forced call termination probability) ve çağrı-tamamlama oranı (call completion rate) açısından başarımların analizleri sunulmuştur. İki farklı lisanslı spektrum havuzundan oluşan heterojen lisanslı bantlarda BR tasarsız (Ad-Hoc) ağlarında çalışan bir spektrum yönetim tekniği üç boyutlu (3D) Markov zinciri kullanılarak Jee vd. (2020) tarafından modellenmiştir. Geliştirilen model ile havuz-ıçi (inter-pool) ve havuzlar-arası (intra-pool) spektrum el-değiştirme kavramları sunulmakta ve heterojen lisanslı spektrum ortamlarında İK'ların başarımlarını hesaplamak için çağrı-tıkanma olasılığı, çağrı-tamamlanmama olasılığı (call non-completion probability) ve iş çıkarma oranı (throughput) metrikleri hesaplanmaktadır. Değerlendirilen sonuçlar, BR tasarsız ağlarda başarımların açısından önemli bir iyileşme elde edildiğini vurgulamaktadır. Tang vd. (2006), BR başarımlarını analiz etmek için üç boyutlu bir Markov zincir modeli önermiştir. Ayrıca, ikincil kullanıcı çağrılarının zorla sonlandırma olasılığını (forced termination probability) azaltmak için yeni bir kanal rezervasyon planını da dikkate

almışlardır. [Tumuluru vd. \(2012\)](#), iki farklı İK önceliği düşünerek dinamik spektrum erişimi gerçekleştiren BR ağlarında çağrı-tıkanma olasılığı, zorla çağrı sonlandırma olasılığı, çağrı tamamlama oranı ve ortalama el-değiştirme gecikmesi gibi başarımleri kullanılarak İK'ların başarımlarını değerlendirmişlerdir. [Qiming vd. \(2010\)](#) sonlu sayıda BK ve sonsuz sayıda İK düşünülen bir BR ağ modelinde, üç farklı kanal tahsis tekniğinin çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme başarımlerini sürekli zamanlı Markov zinciri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, rasgele ve rasgele olmayan kanal tahsis tekniklerinde en düşük çağrı-tıkanma olasılığının elde edilebileceği, rezervasyona dayalı kanal tahsis tekniğinde ise en düşük çağrı-düşme olasılığının elde edilebileceği gösterilmiştir.

Yukarıda kısaca özetlenen ilgili bazı önemli çalışmalardan farklı olarak bu makalede sunulmakta olan çalışmada ise merkezi ağ topolojisi kullanan, BK ve İK olmak üzere iki farklı kullanıcı sınıfı içeren ve zaman paylaşımli ortak bir iletişim kanalını kullanan bir kablosuz ağ modeli esas alınmaktadır. Geliştirilen ağ modelinde BK'lar, ilgili zaman diliminin (time slot) lisanslı kullanıcılarıdır ve kanala erişim için İK'lara göre yüksek önceliğe sahiptir. BK'lar, kanala erişmek için ortam erişim kontrol mekanizması olarak klasik yaklaşımlardan farklı olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access - TDMA) ([Bandırmalı vd., 2005](#)) tekniğini esas alırken, İK'lar ancak BK'lar tarafından kullanılmayan ve boşta kalan kanalları kullanabilmektedir. Geliştirilen BR ağ modelinin başarımlarını değerlendirmek ve analiz etmek için 2-boyutlu sürekli Markov zinciri modeli önerilmektedir. Ayrıca, ilgili ağ modelinin Monte-Carlo benzetimi Python programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Yukarıda ele alınan bazı çalışmalarda ([Tang vd., 2006](#)) kullanılan 3-boyutlu Markov zincirlerinde 3. boyut, ağda meydana gelen özel durumları (çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme) göstermek için kullanılmıştır. Bu gösterim, ilgili durumların hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. Ancak bu makale çalışmasında, ilgilenilen özel durumlara ait hesaplamalar Markov zincirindeki bu durumlar kullanılarak da elde edilebildiğinden, 2-boyutlu Markov zinciri tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın literatürde sunulan benzerlerinden iki önemli farkı bulunmaktadır: (1) BK ve İK'lar TDMA ortam erişim tekniğini kullanan merkezi ağ topolojisine sahiptir. (2) Literatürde sunulan çoğu çalışmada BK ve/veya İK sayılarının sonsuz olduğu kabul edilmektedir. Bu makalede sunulan çalışmada ise hem BK sayısının hem de İK sayısının sonlu olduğu gerçeğe daha yakın bir bilişsel radyo ağ modeli üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Başarımlar değerlendirilmelerinde çağrı-tıkanma olasılığı ve çağrı-düşme olasılığı metrikleri kullanılmıştır. Birincil ve ikincil kullanıcıların, değişken varış-hızları, servis-hızları ve kanal sayıları için İK çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıkları karşılaştırmalı olarak analiz bölümünde sunulmaktadır.

Makale beş ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de geliştirilen BR ağ modeli ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Geliştirilen ağ modeli esas alınarak BR kullanıcılarının başarımlarını analizleri Bölüm 3'te yapılmaktadır. Sayısal sonuçlar Bölüm 4'te verilerek sonuçlar Bölüm 5'te sunulmaktadır.

## 2. Önerilen bilişsel radyo ağ modeli

### 2. Proposed cognitive radio network model

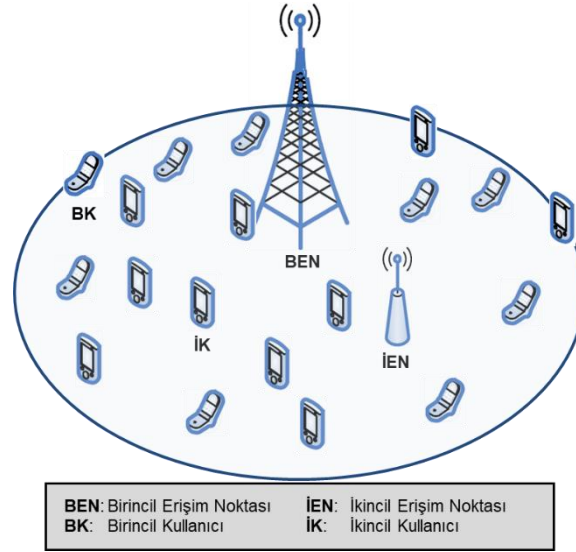
Bu makalede, BK'lar ve İK'lar ile bunlara ait erişim noktalarının aynı iletişim alanında bir arada bulunduğu merkezi yapıda bir bilişsel radyo ağ modeli hedeflenmektedir. Geliştirilen bilişsel radyo ağ modeli Şekil 1'de görülmektedir. BK'lar, yasal kanal kullanım yetkisine sahip kullanıcılarıdır ve ortam erişim tekniği olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişim kullanarak haberleşirler. TDMA tekniğinde kullanıcılar bir zaman çerçevesinde (time frame) kendilerine tahsis edilen tek bir zaman diliminde (time slot) iletişimlerini gerçekleştirirler. Gerçekleştirilen modelde İK'lar, BK'lar ile hassas zaman senkronizasyonuna sahiptirler ve BK'lar tarafından kullanılmayan boş zaman dilimlerini kullanarak haberleşirler.

İletişim alanı içinde, birisi BK'lar diğeri İK'lar için olmak üzere iki erişim noktası bulunur. Birincil erişim noktası, sadece birincil kullanıcılara tahsis edilen zaman dilimlerini tutmak için, ikincil erişim noktası ise hem birincil hem de ikincil kullanıcılara ait zaman dilimlerini tutmak için zaman dilimi tahsis tablosu oluştururlar. Birincil erişim noktası, herhangi bir zaman dilimi (kanal) talep eden bir birincil kullanıcıya zaman dilimi tahsis tablosunu kullanarak boşta olan zaman dilimlerinden (eğer varsa) birisini rastgele tahsis eder. Birincil erişim noktası ikincil kullanıcıların kanal kullanım kayıtlarını tutmaz ve bağlantı isteğinde bulunan bir BK'ya, İK tarafından kullanılıyor olsa bile rastgele bir zaman dilimi tahsis eder.

İK erişim noktası ve kullanıcıları spektrum sezme yeteneğine sahiptir ve önerilen bilişsel radyo ağ modeli kapsamında İK'ların spektrum boşluklarını hatasız belirledikleri kabul edilmektedir. İK erişim noktası,



çerçevedeki boş zaman dilimlerini belirlediğinden dolayı kanal isteğinde bulunan bir İK'ye eğer varsa boş olan (kullanılmayan) kanallardan birini tahsis eder.



**Şekil 1.** Önerilen bilişsel radyo ağ modeli  
**Figure 1.** Proposed Cognitive Radio network model

## 2.1. Önerilen bilişsel radyo ağ modelinde kullanılan çerçeve yapısı

### 2.1.1. The frame structure of the proposed cognitive radio network model

Şekil 2'de ağ modelinde kullanılan çerçeve yapısı ile İK çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme durumları gösterilmektedir. Şekil 2.a'da verilen çerçeve süresi (frame time)  $N$  eşit boyutlu zaman diliminden oluşmaktadır. Çerçevedeki bir zaman dilimi herhangi bir BK veya herhangi bir İK tarafından kullanılabilir veya hiçbiri tarafından kullanılmadan boşta (idle) kalabilir (Şekil 2.b). Bir zaman dilimi herhangi bir BK veya İK tarafından kullanılıyorsa "aktif zaman dilimi" (active time slot), kullanılmıyorsa "boş zaman dilimi" (idle time slot) olarak tanımlanır. Bir zaman dilimi boşta ise, bu durum İK'lara yararlanma fırsatı sunar. Şekil 2.b'de BK'lara tahsis edilen zaman dilimi mavi çerçeveyle, İK'lara tahsis edilen zaman dilimi gri dokulu çerçeveyle ve kullanılmayan çerçeveler ise boş gösterilmiştir.

## 2.2. Önerilen bilişsel radyo ağ modelinde kullanılan kanal tahsis algoritması

### 2.2.1. The channel allocation algorithm used in the proposed cognitive radio model

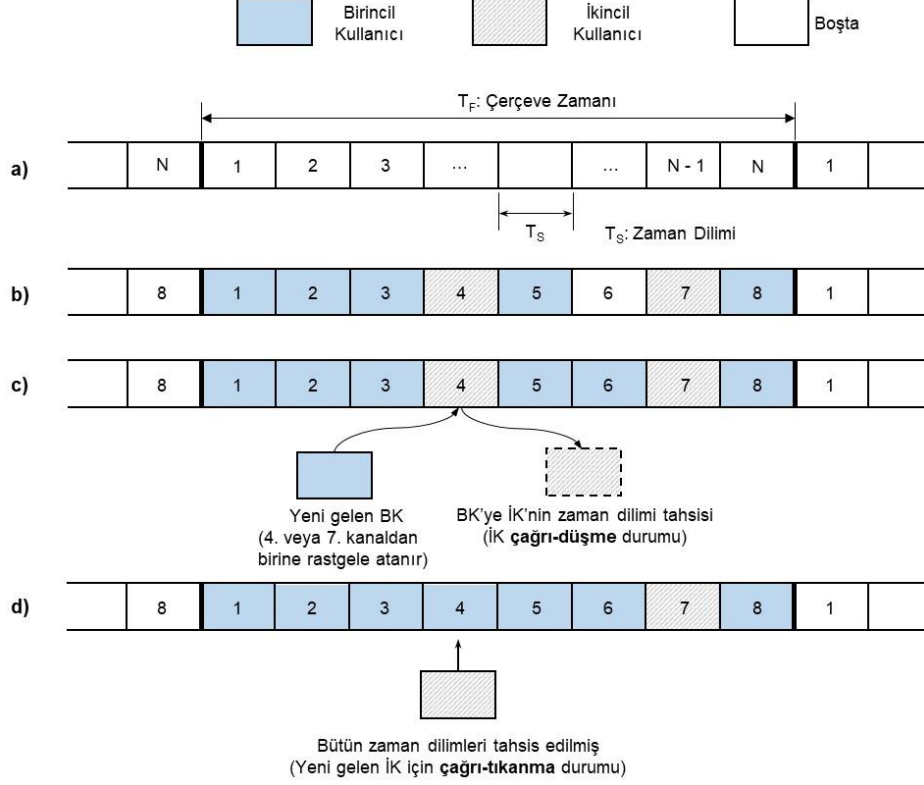
Geliştirilen BR ağ modelinde "rassal kanal atama" algoritması esas alınmıştır. Bu algoritmaya göre birincil erişim noktası, kanal isteğinde bulunan yeni bir BK için boşta veya İK tarafından kullanılan bir kanalı rastgele tahsis eder. Birincil erişim noktası bir çerçeve boyunca sadece BK'lara tahsis edilen zaman dilimlerinin kaydını tuttuğundan İK'lara tahsis edilen zaman dilimlerinden habersizdir. Diğer bir ifadeyle, yeni gelen bir BK'ye İK'nin mevcut kullandığı bir zaman dilimi de tahsis edilebilir. Bu durumda İK için bir çağrı-düşme durumu meydana gelir (Şekil 2.c). Bu algoritmaya göre, ikincil erişim noktası da kanal isteğinde bulunan yeni bir İK için sadece boşta olan kanallardan birini rassal olarak tahsis eder.

Bir çerçevedeki tüm zaman dilimleri birincil veya ikincil kullanıcılar tarafından kullanıldığında ve boşta zaman dilimi olmadığında ise doğal olarak yeni gelen İK için bir zaman dilimi tahsis edilemez. Bu durumda, yeni gelen İK kullanıcı için çağrı-tıkanma durumu oluşur (Şekil 2.d).

Geliştirilen modelde esas alınan rassal kanal atama algoritmasında BK'ların ve İK'ların zaman dilimi kullanımına ilişkin özel durumlar aşağıda sıralanmıştır;

- (i) Tüm zaman dilimleri yalnızca BK'lar tarafından kullanılıyorsa, yeni gelen bir kanal kullanım isteği, ister birincil kullanıcılardan ister ikincil kullanıcılarından olsun, çağrı-tıkanma (call block) durumu oluşur (yani kanal isteğinde bulunan kullanıcıya kanal tahsisi gerçekleştirilemez).

- (ii) Tüm zaman dilimleri birincil ve ikincil kullanıcılar tarafından kullanılıyorsa, yeni gelen ikincil kullanıcılar için kanal tahsis yapılamaz ve bu kullanıcılar için çağrı-tıkanma durumu oluşur. Bu durum İK'lar için çağrı-tıkanma olarak tanımlanır.
- (iii) İK'lar tarafından kullanılan bir zaman dilimi, BK'lardan gelen yeni bir çağrı isteği için tahsis edilebilir (overlay). Bu durumda İK'nin bağlantısı düşer. Bu durum ikincil kullanıcılar için çağrı-düşme (call drop) olarak tanımlanır.



Şekil 2. Önerilen modelde kullanılan çerçeve yapısı ve çağrı-tıkanma ile çağrı-düşme durumları

Figure 2. The frame structure of the proposed cognitive radio network model and call block and call drop cases.

### 3. Önerilen bilişsel radyo ağ modelinin başarımlı analizi

#### 3. Performance analysis of the proposed cognitive radio network model

Önerilen bilişsel radyo ağ modelinin başarımlı analizinde iki boyutlu sürekli Markov zinciri kullanılmıştır. Ağ modelinin Monte-Carlo benzetimi Python programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ağ modelinde kullanılan "rassal kanal tahsis" algoritmasının 4 kanal için Markov zinciri modeli görülmektedir. Markov zincirinde her bir durum  $(i, j)$  ikililerinden oluşmaktadır (Qiming vd. 2010). Bu durumda Markov zincirine ait durum uzayı  $S$  aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$S = \{(i, j) | 0 \leq i, j \leq N \text{ ve } i + j \leq N\} \quad (1)$$

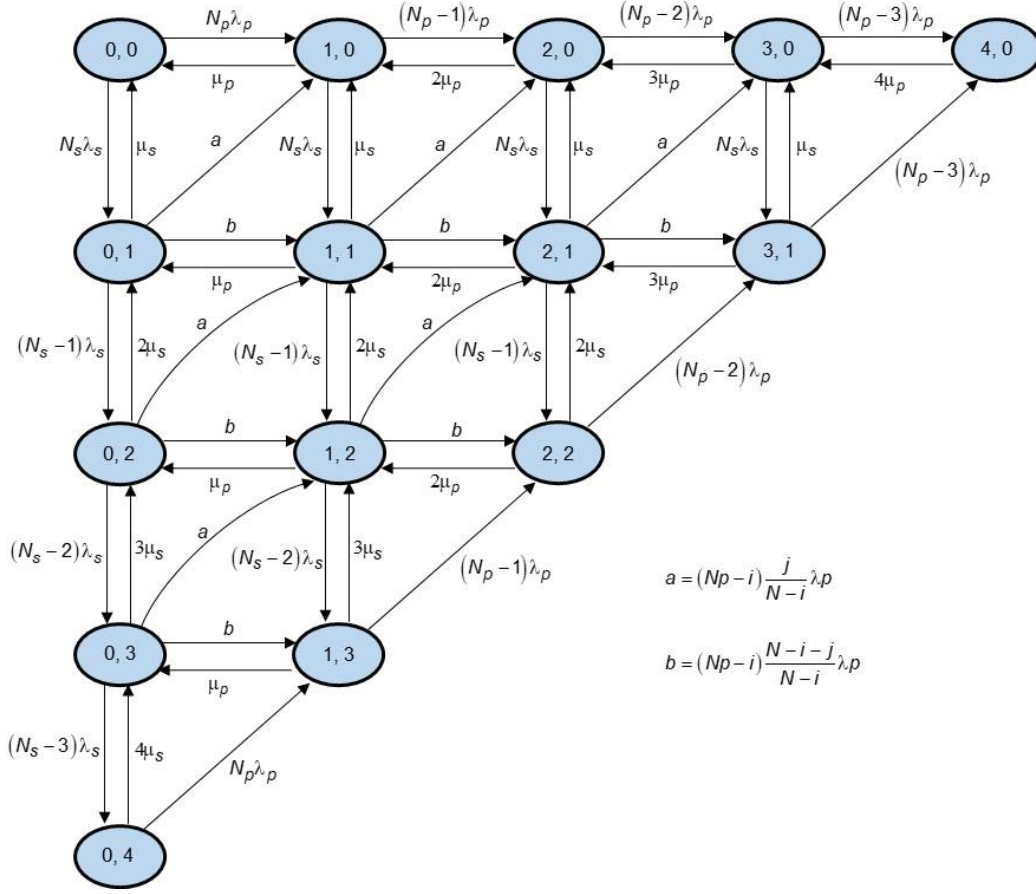
Markov zinciri modelinde görülen "a" geçişi, sisteme yeni gelen bir BK için mevcut durumda İK tarafından kullanılan bir kanal tahsis edildiğini ve bu andaki İK çağrı-düşme durumunu, "b" geçişi ise yeni gelen bir BK için mevcut durumda İK tarafından kullanılmayan bir kanal tahsis edildiğini göstermektedir.

Markov zincirine ait  $i = 0, j = 0$ ;  $i = 0, j = N$ ;  $i = N, j = 0$  durumları için denge eşitlikleri sırasıyla Denklem (2), Denklem (3) ve Denklem (4) te verilmektedir.

$$P(i, j)(N_p \lambda_p + N_s \lambda_s) = P(i + 1, j) \mu_p + P(i, j + 1) \mu_s \quad (2)$$

$$P(i, j)(N_p \lambda_p + N_s \mu_s) = P(i, j - 1)(N_s - (j - 1)) \lambda_s \quad (3)$$

$$P(i, j) \mu_p = P(i - 1, j + 1)(N_p - (i - 1)) \lambda_p + P(i - 1, j)(N_p - (i - 1)) \lambda_p \quad (4)$$



**Şekil 3.** Kanal tahsis algoritmasının 4 kanal için Markov zinciri modeli

**Figure 3.** Markov chain model of the channel assignment algorithm for the 4 channels

$i = 0, 1 \leq j < N$  durumu için denge eşitlikleri Denklem (5) ile verilmiştir.

$$P(i, j)(N_p \lambda_p + (N_s - j) \lambda_s + j \mu_s) = P(i, j - 1)(N_s - (j - 1)) \lambda_s + P(i, j + 1)(j + 1) \mu_s + P(i + 1, j) \mu_p \quad (5)$$

$1 \leq i < N, j = 0$  durumu için denge eşitlikleri Denklem (6) ile verilmiştir.

$$P(i, j) \left( (N_p - i) \lambda_p + N_s \lambda_s + i \mu_p \right) = P(i - 1, j) \left( (N_p - (i - 1)) \lambda_p + P(i + 1, j)(i + 1) \mu_p + P(i, j + 1) \mu_s \right) + P(i - 1, j + 1) \left( (N_p - (i - 1)) \left( \frac{1}{N - (i - 1)} \right) \lambda_p \right) \quad (6)$$

$1 \leq i < N, j = N - i$  durumu için denge eşitlikleri Denklem (7) ile verilmiştir.

$$P(i, j) \left( (N_p - i) \lambda_p + j \mu_s + i \mu_p \right) = P(i, j - 1)(N_s - (j - 1)) \lambda_s + P(i - 1, j + 1) \left( N_p - (i - 1) \right) \lambda_p + P(i - 1, j) \left( (N_p - (i - 1)) \left( \frac{N - (i - 1) - j}{N - (i - 1)} \right) \lambda_p \right) \quad (7)$$

$1 \leq i < N$ ,  $1 \leq j < N - i$  durumu için denge eşitlikleri Denklem (8) ile verilmiştir.

$$\begin{aligned}
P(i, j) & \left( (N_p - i)\lambda_p + (N_s - j)\lambda_s + i\mu_p + j\mu_s \right) \\
& = P(i - 1, j) \left( N_p - (i - 1) \right) (N - (i - 1) - j) / (N - (i - 1)) \lambda_p \\
& + P(i, j - 1) (N_s - (j - 1)) \lambda_s + P(i + 1, j) (i + 1) \mu_p + P(i, j + 1) (j + 1) \mu_s \\
& + P(i - 1, j + 1) \left( (N_p - (i - 1)) (j + 1) / (N - (i - 1)) \right) \lambda_p
\end{aligned} \tag{8}$$

Markov zinciri modelinde kullanılan bütün durumların olasılıkları toplamı 1 olduğundan bu durum Denklem (9) ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P(i, j) = 1 \tag{9}$$

İkincil kullanıcılara ait çağrı-tıkanma olasılığı Markov zinciri modelinde ilgili durumlar kullanılarak Denklem (10) ile hesaplanır;

$$\begin{aligned}
P_B & = \frac{\text{Toplam İK çağrı tıkanma oranı}}{\text{Toplam kullanıcı çağrı oranı}} \\
& = \sum_{i=0}^N \sum_{i+j=N}^N \frac{\lambda_s P(i, j)}{(N_p - i)\lambda_p + (N_s - j)\lambda_s}
\end{aligned} \tag{10}$$

İkincil kullanıcılara ait çağrı-düşme olasılığı Markov zinciri modelinde ilgili durumlar kullanılarak Denklem (11) ile hesaplanır;

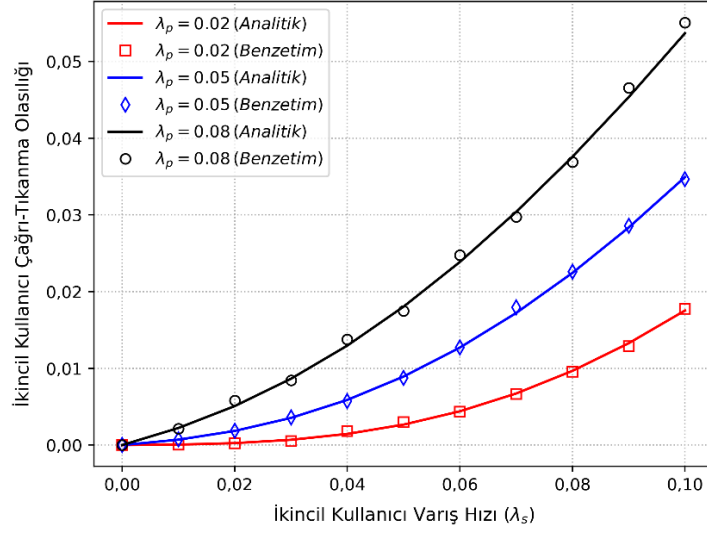
$$\begin{aligned}
P_D & = \frac{\text{Toplam İK çağrı düşme oranı}}{\text{Toplam kullanıcı çağrı oranı}} \\
& = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^N \frac{(N_p - i)\lambda_p P(i, j)}{(N_p - i)\lambda_p + (N_s - j)\lambda_s}
\end{aligned} \tag{11}$$

#### 4. Sayısal sonuçlar ve analiz

##### 4. Numerical results and analysis

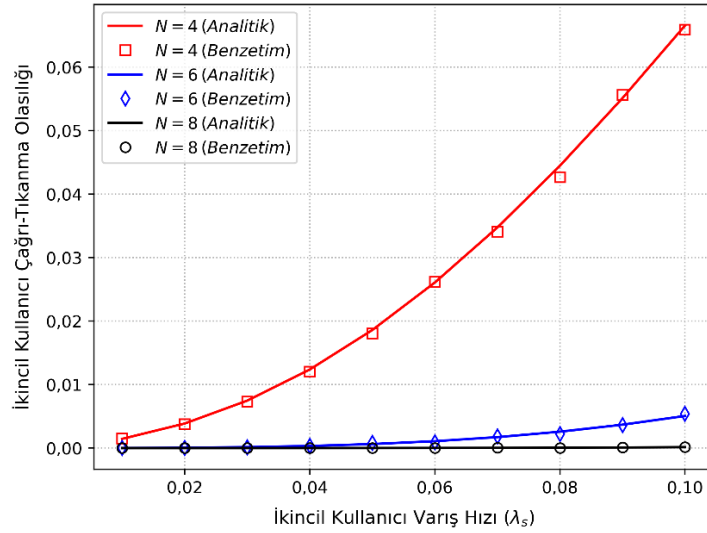
Önerilen BR ağ modeli kullanılarak yapılan çalışmalarda analitik sonuçlar, birincil ve ikincil kullanıcıların değişken varış hızı, servis hızı ve zaman dilimi sayısı için elde edilmiştir. Değerlendirme için esas alınan başarımlar ölçütleri ise bilişsel radyo ağının çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıklarıdır. Bütün grafiklerdeki elde edilen değerler için BK sayısı  $N_p = 10$  ve İK sayısı  $N_s = 10$  alınmıştır.

Şekil 4'te artan İK varış hızları (0'dan 0,1'e) ve farklı BK varış hızları için İK çağrı-tıkanma olasılıklarının analitik sonuçlar ile doğrulanmış benzetim sonuçları görülmektedir. Bu grafiklerde elde edilen değerler için kullanılan zaman-dilimi sayısı  $N = 10$ , BK servis hızı  $\mu_p = 0,4$  ve İK servis hızı  $\mu_s = 0,5$ 'tir. Grafikler incelendiğinde, sabit bir İK varış hızı için BK varış hızı arttığında İK çağrı-tıkanma olasılıklarının da arttığı görülmektedir. Örneğin; İK varış hızı 0,06 için BK varış hızı 0,02 iken İK çağrı-tıkanma olasılığı 0,0044 değerini almaktadır. Ancak, BK varış hızı 0,05 olduğunda bu değer 1,88 kat, BK varış hızı 0,08 olduğunda ise 4,42 kat artmıştır. Çünkü ağdaki kullanıcıların zaman dilimi kullanım oranı arttığında sistemde boşta kalan mevcut zaman dilimi sayısı azalmakta ve İK'lar için çağrı-tıkanma olasılıkları artmaktadır. Şekilde görülen grafikler arasındaki açıklığın 0'dan itibaren giderek artmasının sebebi ise hem BK varış hızının hem de İK varış hızının artmasıdır. Her iki kullanıcı türünün de kanal kullanım oranı arttığından İK çağrı-tıkanma olasılığı üstel olarak hızla artmaktadır.



**Şekil 4.** Artan İK varış hızları ve farklı BK varış hızları için İK çağrı-tıkanma olasılıkları  
**Figure 4.** Call block probabilities for increasing SU arrival rates and different PU arrival rates

Şekil 5'te artan İK varış hızları ve farklı zaman dilimi sayıları için İK çağrı-tıkanma olasılıklarının analitik ve benzetim sonuçları görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, sabit bir İK varış hızı için zaman dilimi sayısı ( $N$ ) arttığında İK çağrı-tıkanma olasılıklarının azaldığı görülmektedir. Örneğin; İK varış hızı 0,07 için  $N = 4$  iken İK çağrı-tıkanma olasılığı 0,0347 değerini almaktadır. Ancak,  $N = 6$  olduğunda bu sonuç %95 iyileşerek 0,00172 değerini ve  $N = 8$  için ise %99 iyileşerek ise 0,00034 değerini almıştır. Buradan elde edilen sonuçlar da dikkate alınarak İKlar için gerekli hizmet derecesi (grade of service) düşünülerek en yüksek İK varış hızı değeri de belirlenebilmektedir.



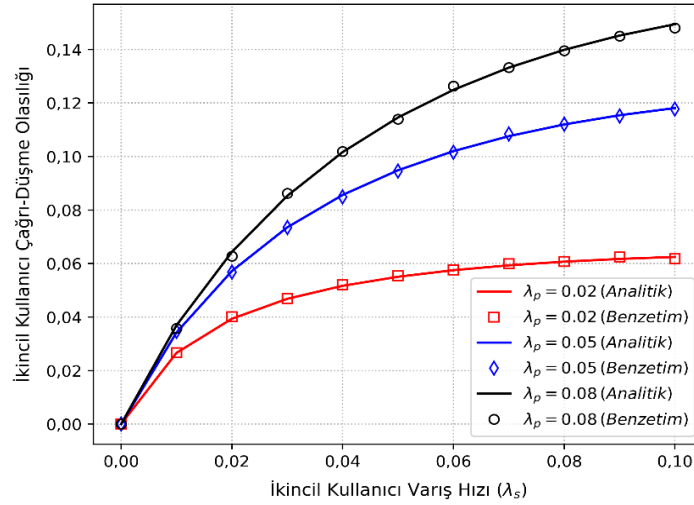
**Şekil 5.** Artan İK varış hızları ve farklı zaman dilimi ( $N$ ) sayıları için İK çağrı-tıkanma olasılıkları  
**Figure 5.** Call block probabilities for increasing SU arrival rates and different time slot numbers ( $N$ )

Şekil 4 ve 5'teki sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, makalede sunulan modelin farklı zaman dilimi sayısı ( $N$ ) ve ikincil kullanıcı varış hızı değişkenleri ile çağrı-tıkanma olasılık ilişkisini doğrulamak için kullanılabilirliği görülmektedir.

Şekil 6'te artan İK varış hızları (0'dan 0,1'e) ve farklı BK varış hızları için İK çağrı-düşme olasılıklarının analitik sonuçlar ile doğrulanmış benzetim sonuçları görülmektedir. Grafikler incelendiğinde,  $\lambda_p = 0,02$  iken  $\lambda_s$ , 0'dan 0,1'e artarken İK çağrı-düşme olasılığı 0'dan artarak 0,00624 değerine yükselmektedir.  $\lambda_p = 0,08$  iken ve  $\lambda_s$ , 0'dan 0,1'e arttırıldığında ise İK çağrı düşme-olasılığı da 0'dan artarak 0,1494 değerine

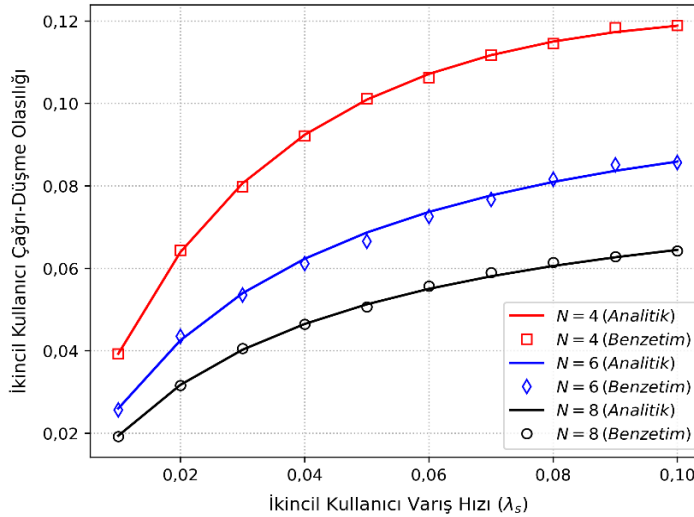


ulaşmaktadır. Örneğin  $\lambda_s = 0,1$  için  $\lambda_p = 0,02$  iken İK çağrı düşme-olasılığı 0,0624 olmaktadır. Ancak, aynı  $\lambda_s$  değeri için  $\lambda_p = 0,08$  olduğunda İK çağrı düşme olasılığı 1,39 kat artarak 0,149 değerini almaktadır.



**Şekil 6.** Artan İK varış hızları ve farklı BK varış hızları için İK çağrı-düşme olasılıkları  
**Figure 6.** Call drop probabilities for increasing SU arrival rates and different PU arrival rates

Şekil 7'deki sonuçlar incelendiğinde  $N = 4$  ve  $\lambda_s$  0,01'den 0,1'e artarken İK çağrı-düşme olasılığı 0,0393'den üstel olarak artarak 0,1188 değerine ulaşmaktadır.  $N = 8$  iken ise,  $\lambda_s$  0,01'den 0,1'e artarken İK çağrı düşme-olasılığı da 0,0194'ten artarak 0,0644 değerine yükselmektedir. Örneğin,  $\lambda_s = 0,1$  için  $N = 4$  iken İK çağrı düşme-olasılığı 0,1188 olmaktadır. Ancak, aynı  $\lambda_s$  değeri için  $N = 8$  olduğunda İK çağrı düşme olasılığı % 45 azalarak 0,0644 değerini almaktadır.



**Şekil 7.** Artan İK varış hızları ve farklı zaman dilimi ( $N$ ) sayıları için İK çağrı-düşme olasılıkları  
**Figure 7.** Call drop probabilities for increasing SU arrival rates and different time slot numbers ( $N$ )

Özellikle Şekil 6 ve 7'de sunulan sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, makalede sunulan modelin ikincil kullanıcı varış hızı ve çağrı düşme olasılık ilişkisini doğrulamak için kullanılabilirliği gösterilmiştir.

## 5. Sonuç

### 5. Conclusion

Bu makalede sunulan çalışmada, geleneksel çözümlerden farklı olarak TDMA tabanlı merkezi yapıda geliştirilen bir bilişsel radyo ağ modeli sunulmuştur. Bu modelde kullanılan İK'ların çağrı-tıkanma ve çağrı-

düşme başarımları analizleri gerçekleştirilmiştir. BR ağında, ortak bir iletişim kanalını zaman paylaşımını kullanan BK'lar ve aynı kanalı fırsatçı yaklaşımla kullanan İK'lar bulunmaktadır. Önerilen bilişsel ağ modelinde İK'ların çağrı kabul başarımları bir 2-boyutlu sürekli Markov zinciri kullanılarak analiz edilmiştir. BR ağ modelinin başarımlarını değerlendirmek için BK'ların ve İK'ların değişken varış-hızı, servis hızı ve kanal sayısı (zaman dilimi) kullanılarak İK çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıkları hem analitik hem de benzetim çalışması ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, diğer parametreler sabit tutulup birincil kullanıcıların varış hızları artırıldığında, BR ağında İK'ların çağrı-düşme ve çağrı-tıkanma olasılıkları da artmıştır. Ancak diğer parametreler sabit tutularak sistemde kullanılan zaman dilimi sayısı artırıldığında, İK'ların çağrı-düşme ve çağrı-tıkanma olasılıkları azalmıştır. Örneğin,  $\lambda_s = 0,1$  ve  $N = 4$  için İK çağrı düşme-olasılığı 0,1188 iken aynı  $\lambda_s$  değeri için  $N = 8$  olduğunda İK çağrı düşme olasılığı % 45 iyileşerek 0,0644 değerini almaktadır. Gelecekteki çalışmalar için bu makalede önerilen model esas alınarak İK'lar için belirlenen hizmet derecesi için en yüksek İK varış hızları ve en iyi zaman dilimi sayıları elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, farklı kanal tahsis algoritmaları kullanılarak çağrı-tıkanma ve çağrı-düşme olasılıklarında iyileştirmeler elde edilmesi öngörülmektedir.

### **Teşekkür / Katkı belirtme**

#### *Acknowledgement*

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamalarında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederim.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Makalenin tamamı başlıca yazar tarafından yazılmıştır.

### **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*

- Bandırmalı, N., Çeken, C., Bayılmış, C., & Ertürk, İ. (2005). Kablosuz erişim yöntemlerinin karşılaştırmalı incelemesi. *TMMOB Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi* (ss. 22-25), İstanbul.
- Bayrakdar, M. E., & Çalhan, A. (2015). Bilişsel radyo ağlarında spektrum el değiştirme. *Sakarya University Journal of Science*, 19(3), 291-302. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.81445>
- Bayrakdar, M. E., & Çalhan, A. (2017). Kablosuz bilişsel radyo ağlarında spektrum el değiştirme için öncelik kuyukları ve yapay zekâ teknikleri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 303-315. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.338042>
- Chu, T. M. C., Phan, H., & Zepernick, H. J. (2014). Dynamic spectrum access for cognitive radio networks with prioritized traffics. *IEEE Communications Letters*, 18(7), 1218-1221. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2014.2319253>
- Hassani, M. M., & Berangi, R. (2019). Impact of the primary user on the secondary user blocking probability in cognitive radio sensor networks. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(3), 2081-2092. <https://doi.org/10.3906/elk-1706-292>
- Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 23(2), 201–220. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2004.839380>

- Jee, A., Hoque, S., & Arif, W. (2020). Performance analysis of secondary users under heterogeneous licensed spectrum environment in cognitive radio ad hoc networks. *Annals of Telecommunications*, 75, 407-419. <http://dx.doi.org/10.1007/s12243-020-00761-8>
- Mitola, J., & Maguire, G. Q. (1999). Cognitive radio: making software radios more personal. *IEEE Personal Communications*, 6(4), 13-18. <https://doi.org/10.1109/98.788210>
- Namdar, M., & Başgümüş, A. (2017). Outage performance analysis of underlay cognitive radio networks with decode-and-forward relaying. *Cognitive Radio, IntechOpen*, 25-38. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69244>
- Park, J. H., & Chung, J. M. (2016). Prioritized channel allocation-based dynamic spectrum access in cognitive radio sensor networks without spectrum handoff. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 266, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s13638-016-0764-4>
- Qiming, T., Chuan, M., Guanding, Y., & Aiping, H. (2010). Analysis of cognitive radio spectrum access with finite primary users and infinite secondary users. *International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)* (pp. 1-5), China, <https://doi.org/10.1109/WCSP.2010.5633740>
- Salameh, O., Bruneel, H., & Wittevrongel, S. (2020). Performance evaluation of cognitive radio networks with imperfect spectrum sensing and bursty primary user traffic. *Mathematical Problems in Engineering*, 64, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/4102046>
- Salameh, O., Turck, K. D., & Bruneel, H. (2017). Analysis of secondary user performance in cognitive radio networks with reactive spectrum handoff. *Telecommunication Systems*, 65, 539-550. <https://doi.org/10.1007/s11235-016-0250-7>
- Sridhara, K., Chandra, A., & Tripathi, P. S. M. (2008). Spectrum challenges and solutions by cognitive radio: an overview. *Wireless Personal Communications*, 45, 281-291. <https://doi.org/10.1007/s11277-008-9465-6>
- Tang, P. K., Chew, Y. H., Ong, L. C., & Haldar, M. K. (2006). Performance of secondary radios in spectrum sharing with prioritized primary access. *IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, (pp. 1-7), USA. <https://doi.org/10.1109/MILCOM.2006.302214>
- Tang, W., Yu, H., Han, Y., & Li, S. (2012). An analytical performance model considering access strategy of opportunistic spectrum sharing system. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 24(11), 1200-1212. <https://doi.org/10.1002/cpe.1890>
- Tumuluru, V. K., Wang, P., Niyato, D., & Song, W. (2012). Performance analysis of cognitive radio spectrum access with prioritized traffic. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(4), 1895-1906. <https://doi.org/10.1109/TVT.2012.2186471>
- Zhao, Q., & Sadler, B. M. (2007). A survey of dynamic spectrum access. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(3), 79-89. <https://doi.org/10.1109/MSP.2007.361604>
- Zhonggui, M., & Hongbo, W. (2012). Dynamic spectrum allocation with maximum efficiency and fairness in interactive cognitive radio networks. *Wireless Personal Communications*, 64, 439-455. <https://doi.org/10.1007/s11277-010-0208-0>

## Comparison of tree-based machine learning algorithms in price prediction of residential real estate

*Mesken nitelikli gayrimenkul fiyat tahmininde ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılması*

Ayşe YAVUZ ÖZALP\*<sup>1</sup> , Halil AKINCI<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Artvin Çoruh University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, 08100, Artvin

• Received: 20.09.2023

• Accepted: 31.10.2023

### Abstract

Residential real estate is regarded as a safe and profitable investment tool while also meeting the basic human right to housing. The fact that there exists a large number of parameters both affecting the value of a house and varying based on place, person, and time makes the valuation process difficult. In this regard, accurate and realistic price prediction is critical for all stakeholders, particularly purchasers. Machine learning algorithms as an alternative to classical mathematical modeling methods offer great prospects for boosting the efficacy and success rate of price estimating models. Therefore, the purpose of this study is to investigate the applicability and prediction performance of the tree-based ML algorithms -Random Forest (RF), Gradient Boosting Machine (GBM), AdaBoost, and Extreme Gradient Boosting (XGBoost)- in house valuation for Artvin City Center. As a result of the study, the XGBoost and RF algorithms performed the best in estimating house value (0.705 and 0.701, respectively) as determined by the Correlation Coefficients ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Squared Error (RMSE) metrics. Thus, it can be said that ML algorithms, particularly XGBoost and RF, perform satisfactorily in residential real estate appraisal even with modest amounts of data and that the success rate grows as the amount of data increases.

**Keywords:** AdaBoost, GBM, RF, Residential real estate, Valuation, XGBoost

### Öz

Mesken nitelikli gayrimenkuller, güvenli ve karlı bir yatırım aracı olarak kabul edilirken aynı zamanda temel insan hakkı olan barınma ihtiyacını da karşılamaktadır. Konutun hem değerini etkileyen hem de yere, kişiye ve zamana göre değişen çok sayıda parametrenin varlığı değerlendirme sürecini zorlaştırmaktadır. Bu bakımdan, doğru ve gerçekçi fiyat tahmini başta alıcılar olmak üzere sektörün tüm paydaşları için büyük önem taşımaktadır. Klasik matematiksel modelleme yöntemlerine alternatif olan makine öğrenme algoritmaları, fiyat tahmin modellerinin etkenliğini ve başarısını artırma bağlamında önemli olanaklar sunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, Artvin Kent Merkezinde ağaç temelli makine öğrenme algoritmalarından Rastgele Orman (RF), Gradyan Artırma Makinaları (GBM), AdaBoost ve Aşırı Gradyan Artırma (XGBoost) yöntemlerinin konut değerlemede uygulanabilirlikleri ve tahmin performanslarının araştırılmasıdır. Çalışmanın sonucunda, XGBoost ve RF algoritmaları, konut değerini tahmin etmede Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficients-  $R^2$ ), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE) ve Karesel Ortalama hata (Root Mean Squared Error- RMSE) ölçütlerinin tümünde (sırasıyla 0.705 ve 0.701) en iyi performansı göstermiştir. Böylece, başta XGBoost ve RF olmak üzere makine öğrenme algoritmalarının konut değerlemede az veri durumunda bile yeterli performans gösterdiği, veri setinin genişletilmesiyle birlikte başarı performansının daha da artacağı söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** AdaBoost, GBM, RF, Mesken nitelikli gayrimenkul, Değerleme, XGBoost.

\* Ayşe YAVUZ ÖZALP; ayavuzozalp@artvin.edu.tr

## 1. Introduction

Houses fulfill the fundamental human right to shelter and are recognized as a secure and highly profitable investment instrument. The importance of housing in the Turkish economy has grown further due to the facts that; (i) more than half of households in Türkiye own their home (Başer & Bozoğlu, 2019), (ii) a large portion of the private sector's wealth has been invested in the housing sector, (iii) the growth in the construction sector is greater than that in other sectors (Afşar & Yüksel, 2022), and (iv) real estate is regarded as an investment instrument to protect wealth against high inflation and a currency depreciation (Aydemir et al., 2020). On the other hand, population growth and changes in the demographic structure of society are predicted to raise housing demand by 1.65% by 2025 (Aydemir et al., 2020; Arslan et al., 2022). Furthermore, the increased demand for housing by foreigners in Türkiye in recent years (a 43.5% increase in 2021, according to the Turkish Statistical Institute) has made housing market research more significant and required.

An equitable and accurate real estate valuation procedure, which is an important component of land management, allows the real estate market to blossom, property and ownership rights to be secured, and real estate-based practices to be successfully implemented (Iban, 2021). On the other hand, the lack of an absolute value for houses has raised the importance of fair value (Doğan et al., 2022). The existence of a vast number of parameters that determine the value of the real estate, and the fact that such parameters vary based on time (subject to change over time), person, and place, make the valuation process time-consuming, costly, and inaccurate. In this regard, a concurrent value of a large number of real estate (i.e., mass appraisal) is required in many applications such as expropriation, land readjustment, and taxation, and is critical to ensure that the appraisal is completed in less time and at a lower cost (İlhan & Öz, 2020). At this point, fast-evolving information technology and machine learning (ML) techniques are gaining traction as viable alternatives to traditional mathematical modeling methods used in the late twentieth century (Ceh et al., 2018). Furthermore, these technologies have produced significant possibilities for streamlining this procedure and boosting the accuracy of price estimations (Louati et al., 2021). As a result, examining the applicability and contributions of artificial intelligence approaches in real estate appraisal has become vital and critical.

As known, real estate valuation, particularly mass valuation, is a difficult and multidimensional process. On the other hand, a comprehensive database containing information on the condition and value of real estate in Türkiye, coupled with restricted access to available data, further complicates the process of conducting valuation studies. Moreover, the residents' ability to make "unrealistic declarations" to the state regarding the purchase/sale of real estate in the twenty-first century (Sevgen & Tanrivermis, 2020) makes monitoring the real estate market extremely difficult. With a Decree that went into effect in 2019, the General Directorate of Land Registry and Cadastre (GDLRC) has been tasked with determining the value of real estate using mass valuation methods, producing value maps, and establishing and managing a value information database (İlhan & Öz, 2020). When the Real Estate Valuation Project initiated as part of the Land Registry Cadastre Modernization Project by GDLRC is completed, significant efforts will be taken to address such issues. It is also believed that investigating the applicability of algorithms that have arisen over time and in parallel with technological development in the real estate valuation business, particularly in different regions with diverse local dynamics, will contribute to this process.

In this context, numerous studies have been conducted to explore house price estimation and the factors that influence house prices. Following an examination of such studies, it was discovered that traditional and statistical methods such as Hedonic Modeling (HPM), Multiple Regression Analysis (MRA), and Nominal valuation (Yavuz Ozalp & Akinci, 2017; Tabar et al., 2021) were previously used, whereas ML algorithms have been widely used in more recent studies. The primary distinction between ML algorithms and traditional methods is that the valuation model is designed using input data rather than a set of directives (Louati et al., 2021; Adetunji et al., 2022), and models are trained by implementing various algorithms with the available data set in a given region (Iban, 2021). It has been discovered that ML algorithms are used either alone or in combinations (two or more) in these studies, and the common goal of the models created is to predict value by investigating the effect of real estate characteristics on value (Bilgilioğlu & Yılmaz, 2021). Borst (1991) conducted the first study in the literature that applied ML algorithms to the subject of real estate appraisal, employing the Artificial Neural Networks (ANN) method. Other studies utilizing ML techniques such as Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT), Gradient Boosting Machines (GBM), eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), Adaptive Boosting (AdaBoost), and Random Forest (RF) followed this one. For example, MRA and RF were employed by Ceh et al. (2018), Yilmazer & Kocaman (2020), and Aydinoglu



et al. (2021) (Table 1). In addition, Ravikumar (2016) used RF, SVM, and ANN, while Zaki et al. (2022) applied HPM and XGBoost. Moreover, the algorithms of Linear Regression (LR), Nearest Neighbor Regression (NNR), RF, and XGBoost were utilized by Hjort et al. (2022) whereas Yazdani (2021) employed HPM, ANN, RF, and k-Nearest Neighbors (kNN) ML algorithms. Most of this research revealed that ANN outperformed regression analysis (Sevgen & Tanrivermis, 2020; Alkan et al., 2022), whereas RF outperformed ANN (Ravikumar, 2016; Sevgen & Tanrivermis, 2020; Yazdani, 2021). The literature also stated that tree-based models such as RF and gradient-boosted trees produced excellent outcomes (Baldominos et al., 2018; Hjort et al., 2022).

**Table 1.** List of some literature on housing price prediction using ML algorithms.

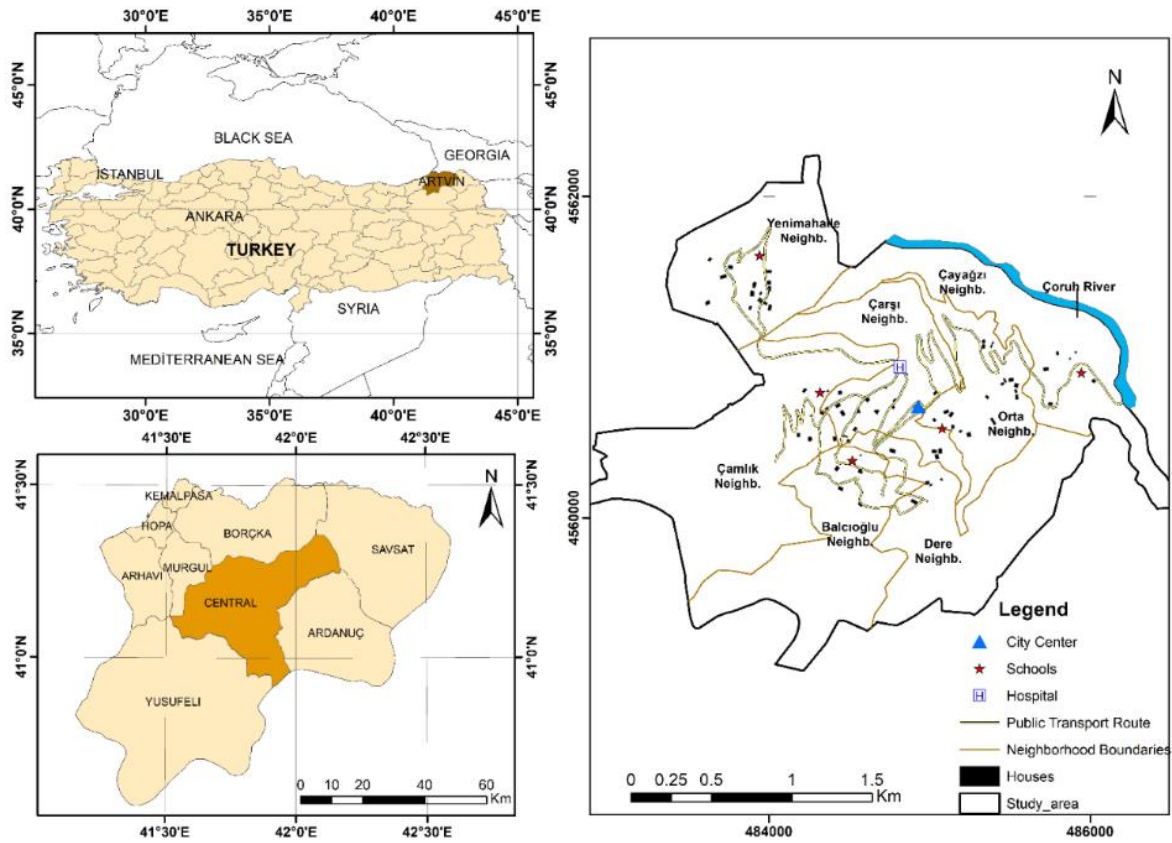
References	Used method	Study area	Data source	The number of parameters	The number of data	R <sup>2</sup>
Ceh et al. (2018)	HPM, RF	Ljubljana/Slovenia	Official institutions	35	7407	0.230 0.570
Hayrullahoğlu et al. (2018)	CLLS, SR, ANN	Ankara/Turkey	Websites	8	163	0.780 0.780
Ulvi & Özkan (2019)	ANN Fuzzy Logic	Konya/Turkey	-----	8	200	0.789 0.686
Yılmazzer & Kocaman (2020)	MRA, RF	Ankara/Turkey	GDLRC, Licensed expert	37	1162	0.710 0.749
Iban (2021)	RF, GBM, AdaBoost	Melbourne/Australia	Websites (Kaggle)	15	6858	0.817 0.984 0.211
Adetunji et al. (2022)	RF	Boston / USA	Dataset	14	506	0.900
Alkan et al. (2022)	kNN, RF, SVM	Antalya/Turkey	Websites	17	200	0.662 0.696 0.735
Ozdemir et al. (2022)	Deep Learn. RF, Pol. Regres.	Sakarya/Turkey	Websites	23	213	0.861 0.772 0.765
Zaki et al. (2022)	XGBoost HPM	Boston/USA	Websites (Kaggle)	14	506	0.841 0.420

Although studies in the literature confirm that the RF algorithm outperforms other methods in real estate value estimation (Wang & Wu, 2018; Afonso et al., 2019; Yazdani, 2021; Embaye et al., 2021), it is still critical to investigate the method's performance, particularly with small data sets. To the best of our knowledge, despite the common use of ML algorithms (particularly ANN) in the literature, there were no studies found comparing the performance of the tree-based ensemble learning methods of RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost. This approach distinguishes the current study from others and serves as the primary rationale for this research. Furthermore, the notion that housing markets are spatial markets with varying prices across geographies despite sharing comparable characteristics (Başer & Bozoğlu, 2019) is thought to offer novelty to such studies dealing with real estate valuation. As such, the purpose of this study is to explore the applicability and prediction performance of four tree-based ML algorithms (RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost) in the situation of Artvin City Centre with limited/small data.

## 2. Material and method

### 2.1. Study area

This study was carried out in the city center of Artvin, located in the northeastern part of Türkiye, on the border with Georgia. Artvin Province is heterogeneous in terms of geographical structure, topography, and urbanization. Moreover, it also has a significant number of residential areas submerged under water as a result of the dams built in recent years, forcing urban migration and limiting the housing market. The study area is 768.91 hectares in size and is located between 41°47'24" and 41°50'24" East Longitudes and 41°9'36" and 41°11'42" North Latitudes (Figure 1).



**Figure 1.** Study area map

The City Center, which is located on a hillside, has an elevation difference of 555 meters (rises from 195 to 750 meters), and the majority of the city center (approximately 80%) is above the 45% slope. A significant portion of the research region, which includes seven neighborhoods: Balcioglu, Camlik, Carsi, Cayagzi, Dere, Orta, and Yenimahalle, is geologically hazardous. Because of its difficult geography and environment, Artvin is one of the locations prone to landslides. According to Özalp et al. (2020), 68% of building blocks in the city center are in landslide zones with high and extremely high susceptibility. On the other side, the city's mountainous geography makes pre-construction work more expensive. In terms of land cover, Artvin is characterized by 90.89% forested and semi-natural areas, 6.47% agricultural zones (Corine, 2022), and has limited space dedicated to settlements.

On the other hand, five major dams -Muratlı (2005), Borçka (2006), Deriner (2012), Artvin (2015), and Yusufeli (2022)- were built on the Çoruh River flowing through Artvin province. The construction of these dams has led to the inundation, either in part or whole, of various settlements comprising 79 villages, neighborhoods, or districts, thereby leading to the loss of fertile agricultural terrain. Thus, 62.6 ha of residential area and 1960 ha of agricultural area submerged due to these dams (Yıldırım et al., 2015). Migration to the city center from dam-evacuated villages, the opening of a university in the city in 2007, and the enactment of the Mortgage Act have all contributed to the dynamism of the Artvin real estate market (Table 2).

**Table 2.** Data on housing sales in Artvin Province and the Central District (TSI, 2022).

City/District	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Artvin	1746	1825	1978	1783	2044	2075	1758	2060
Central district	513	445	483	378	482	409	354	342

When house sales in Artvin were analyzed in this regard, various numbers stood out, such as a 23.5% increase in January 2017 (142 houses), a 104.1% increase in July 2018 (200 houses), and the province with the highest rate of mortgaged sales in October 2019 (54.3%) (TSI, 2022). Table 2 highlights the strong sales volume in

the central district in 2015. The reason for this is that the people whose real estate was expropriated owing to the aforementioned dams wish to purchase a home in the central district. The sales data presented in the table suggest that factors such as instability in the economy and increase/decrease in mortgage rates have an impact on the housing market. After all, Artvin was chosen as the research area to investigate the local dynamics of cities and their effects on valuation studies using scientific methodologies.

A total of 1758 residences were sold annually for the whole of Artvin province in 2021, with 619 of these being new houses. In addition, 354 of these house sales (109 of which were mortgaged transactions) occurred in Artvin's central district (Table 2). The total number of residences for sale was determined to be 204 when only the seven neighborhoods that formed the research area were examined (GDLRC, 2022).

## 2.2. Data set and application

The availability of the qualities that separate houses from one another (i.e., their quantitative and qualitative attributes) and the actual prices at which such houses were sold are required for reliable and accurate calculation of house prices. The most significant limitation of research on house value estimation is the lack of sufficient and reliable data.

It was discovered that the studies in the literature are highly diverse, particularly in terms of data collection. The price data used in the studies were obtained from sale advertisements posted on the internet (Hayrulloğlu et al., 2018; Yılmazel et al., 2018; Aydemir et al., 2020; Alkan et al., 2022; Doğan et al., 2022), from the Central Bank of the Republic of Türkiye (Akay et al., 2019), and from valuation reports prepared by valuation experts that hold a license from Capital Markets Board (CMB) (Saraç, 2012; Esen & Tokgöz, 2021). The house values (actual sales prices) used in this study were gathered from real estate agents, CMB-licensed real estate valuation experts, home builders, and field studies that included face-to-face interviews with buyers/sellers. As a result, the data collection can be regarded to be trustworthy and accurately reflect market value. The method of data gathering distinguishes this study from others and assures that the study is conducted with actual sales prices.

Large data is generally preferred in the literature, particularly in studies examining ML methods; however, studies could also be carried out with small data, as evidenced by the studies by Büyük & Ünel (2021) with 73 houses, Saraç (2012) with 100 houses, Wilkowski & Budzynski (2006) with 114 houses, and Tabanoğlu (2019) with 150 houses. We were able to get the actual sales price of 103 out of 204 houses in Artvin City Center that were sold between January 1 and December 31 of 2021, as well as the attributes that were judged effective on their prices, using all of this information. As a result, the study's material comprises 103 residences with known actual sales prices.

Academic studies, international and national standards (IAAO, 2022; TDUB, 2022), and the geographical structure, physical qualities, and local dynamics of Artvin City Center were all taken into account in the selection of criteria that determine the value of houses. As a result, 17 parameters were determined by considering both the structural (gross area, age, number of rooms, floor level, number of balconies/bathrooms, elevator, parking lot, heating, aspect, and condition) and the spatial characteristics (distance to primary school/hospital/ city center/ public transportation, Carsi Neighborhood, avenue/street). Data on the structural characteristics of the houses were obtained from buyers and sellers, from Building Permit Documents, and through field surveys. The data on spatial characteristics were obtained by measuring the actual walking distances with the help of ArcGIS 10.2 software on the current map obtained from the Municipality. The idea that better estimates can be made by considering spatial and non-spatial parameters together in the modeling process was also expressed by Wang & Wu (2018).

Descriptive statistical information on the numeric parameters of the selected 103 houses is presented in Table 3. The data in Table 3 give a general idea about the characteristics of the houses used in the study. Upon scrutinizing the data, it's apparent that the houses' ages span from 0 to 42 years. Among the 103 houses, 14 are newly constructed, whereas 11 have aged beyond two decades. Additionally, when assessing the properties in terms of size, it's clear that the residential areas span from 47 m<sup>2</sup> to 285 m<sup>2</sup>. Notably, 18 of these properties encompass an area less than 100 m<sup>2</sup>, while 20 exceed 200 m<sup>2</sup> in size.

**Table 3.** The numeric parameters in the data set with summary statistics

Parameters	Mean	Range (Min. - Max.)	Median
Sales price (TRY)	445790	110000- 920000	450000
Gross area (m <sup>2</sup> )	127.75	47 - 285	130
Age	9.05	0 - 42	7
Floor level	3.95	-2 - 10	4
Number of rooms	2.83	1 - 6	3
Number of balconies	1.5	0 - 3	2
Number of bathrooms	1.43	1 - 3	1
Distance to primary school (m)	381.64	20 - 870	308
Distance to hospital (m)	1500.30	40 - 4355	1050
Distance to the city center (m)	1894.01	180 - 3950	1955
Distance to public transport (m)	105.48	3 - 585	35

As is well known, when using ML algorithms to model, the data set is divided into two parts: training data and test data. According to [Sevgen & Tanrivermis \(2020\)](#), the ratio of training sets could affect the result, and the ratio employed in the literature ranges between 60% and 80%. Indeed, training data ratios of 67%, 70%, 75%, 80%, and 90% were chosen by [Wilkowski & Budzynski \(2006\)](#), [Aydinoglu et al. \(2021\)](#), [Hjort et al. \(2022\)](#), [Louati et al. \(2021\)](#), and [Akay et al. \(2019\)](#), respectively. As a result, in this study, out of all data, 60% was randomly selected to be used for training whereas 40% was used for validation.

The prediction models were created using the scikit-learn ML toolkit for the Python programming language. In the modeling phase, the Probability Values (P-values) for all 17 parameters presumed to affect house values were computed. The P-value represents the probability of a relationship or difference arising between parameters in a data set randomly, even when there is no actual relationship or difference in reality ([Ozdemir et al., 2022](#)). As a result, the P-values of the parameters were checked one at a time and the parameters with the highest P-values were eliminated from the model and the P-values were recalculated. This procedure was performed until all parameter P-values were less than 0.05 (Table 4). Ultimately, only five out of 17 parameters were used in modeling according to the P-values.

**Table 4.** P-values of parameters used for RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost algorithms

Parameters	XGBoost	GBM	AdaBoost	RF
Gross area	0.000	0.000	0.000	0.000
Age	0.004	0.011	0.001	0.002
Floor level	0.022	0.030	0.048	0.009
Aspect	0.000	0.001	0.000	0.000
Carsi neighborhood	0.001	0.011	0.000	0.003

### 2.3. Machine learning algorithms

Although there is various research in the literature that employ ML algorithms to predict house values ([Yilmazer & Kocaman, 2020](#); [Aydemir et al., 2020](#); [Hong et al., 2020](#); [Iban, 2021](#)) (Table 1), there is no study that compares the performance of tree-based ensemble learning methods; RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost. Therefore, the performances of these four approaches were compared in the current study.

#### 2.3.1. Random Forest (RF)

RF, developed by [Breiman \(2001\)](#), is one of the supervised ML algorithms widely used in classification and regression problems. RF combines the output of multiple decision trees to produce a single result. In regression problems, the values produced by each tree are averaged, whereas in classification problems, the output of the RF model is determined according to the majority vote ([Antipov & Pokryshevskaya, 2012](#); [Chen et al., 2017](#); [Avcı et al., 2023](#)). The RF algorithm requires two hyperparameters to be set by the user: the number of trees



(`n_estimators`) and the number of variables or tree depth (`max_depth`) (Hong et al., 2020). A Cross-validation technique is widely used in ML algorithms to obtain a more stable and reliable model prediction. In the case of RF, however, Ceh et al. (2018) reported that no cross-validation procedure was required to estimate model accuracy. In this study, the RF model was implemented in Python using the `RandomForestRegressor` function of the `sklearn` package. Following several attempts, the number of trees was fixed at 50 and the tree depth at four to ensure maximum accuracy in the application.

### 2.3.2. AdaBoost

Freund & Schapire (1997) coined the term AdaBoost, which stands for Adaptive Boosting. AdaBoost is the first practical boosting technique, designed to increase the performance of weak classifiers (Schapire, 2013). In general, boosting techniques attempt to construct a powerful classifier by merging numerous weak classifiers. AdaBoost's main principle is to train numerous weak classifiers for the same training set and then combine these weak classifiers to build a stronger classifier (Wu et al., 2020; He et al., 2021). The samples in the training dataset are given a weight value throughout the boosting procedure. Weights are then adjusted during iterations, with correctly categorized instances losing weight and wrongly classified instances gaining weight in the final iteration. The learning process is halted once the ideal weights are set in order to achieve the best performance (He et al., 2021). The AdaBoost model was implemented in Python in this work using the `AdaBoostRegressor` function from the `sklearn` package. In the model's implementation, the number of trees (`n_estimators`) was set to 100, and the learning rate (`learning_rate`) was set to 0.3.

### 2.3.3. Gradient Boosting Machines (GBM)

GBM, proposed by Friedman (2001), is a tree-based ensemble learning algorithm. The basic idea behind GBM is to bring together multiple weaker learners to improve their performance (Akıncı, 2022). Unlike RF, GBM constantly constructs trees, with each tree attempting to repair the faults of the preceding tree (Wang et al., 2020). Gradient Boosting begins with the creation of the first leaf. The prediction mistakes are then used to form new trees. This process is repeated until the desired number of trees is obtained or the model can no longer be improved. The GBM model's hyperparameters are the number of trees (`n_estimators`), the learning rate (`learning_rate`), and the maximum depth of each tree (`max_depth`) (Wang et al., 2020; Sahin, 2020). The GBM model was developed in Python in this work using the `GradientBoostingRegressor` function from the `sklearn` package. Following multiple trials, the number of trees (`n_estimators`), and learning rate (`learning_rate`) were set to 30 and 0.1, respectively.

### 2.3.4. Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

XGBoost, developed by Chen & Guestrin (2016), is an efficient and optimized gradient tree-boosting algorithm. XGBoost, a type of supervised ML algorithm, is one of the most popular boosting algorithms that can be used for both regression and classification tasks. The most important factors behind the success of XGBoost are that it is scalable and runs ten times as fast as any available ML solutions (Chen & Guestrin, 2016). XGBoost uses a regularized boosting technique to prevent overfitting and to improve model accuracy (Can et al., 2021). In this study, the XGBoost algorithm was implemented using the Python XGBoost package (XGBoost, 2022). The XGBoost algorithm has five main hyperparameters: the number of decision trees (`n_estimators`), max depth of a tree (`max_depth`), learning rate (`learning_rate`), sample ratio of training data (`subsample`), and sample ratio of features (`colsample_bytree`). In this study, after several trials, the value of `n_estimators` parameter was taken as 50, `max_depth` as 3, learning rate as 0.1, and `subsample` and `colsample_bytree` as 1.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Comparison of machine learning methods

As Gustafsson & Wogenius (2014) pointed out, developing a model that can identify the exact value of a house is quite challenging. The reasons for this are structural features, market conditions, the quality of materials used in the property, personal priorities/preferences of buyers and/or sellers, and problems in gathering and quantifying such information (Yavuz Ozalp & Akıncı, 2017). Nonetheless, leveraging a comprehensive and



diverse dataset, combined with the adoption of advanced machine learning algorithms, provides the potential to produce objective and realistic estimates of property values.

In this study, we analyzed the performance and usability of the models built with four machine learning algorithms, i.e., RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost. The comparison of algorithm performance involved the use of fundamental metrics like the Correlation Coefficient ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Squared Error (RMSE) to evaluate the fit of regression models. The results can be found in Table 5.  $R^2$  value, denoting the ratio of explainable variation to total variation and falling between 0 and 1, suggests a robust performance of the model if it is close to 1 (Yilmazer & Kocaman, 2020; Oral et al., 2021). In this context, considering the  $R^2$  performance measure, which expresses the correlation between the actual sales values and the values estimated by the models, the models created with XGBoost and RF algorithms gave nearly identical results for this data set (0.705 and 0.701 respectively) and made more successful price predictions than AdaBoost and GBM (Table 5). Considering the training dataset, all algorithms produced successful results; however, the XGBoost and GBM methods outperformed RF and AdaBoost. The literature also confirmed that the accuracy of training data was higher than that of test data (Fei, 2020; Iban, 2021). Similarly, Yoshida & Seya (2021), and Hjort et al. (2022) also observed that the XGBoost algorithm consistently outperformed others in all predictions. In their study comparing ML algorithms including XGBoost and RF, Mete & Yomralioğlu (2022) discovered that RF performed better than XGBoost.

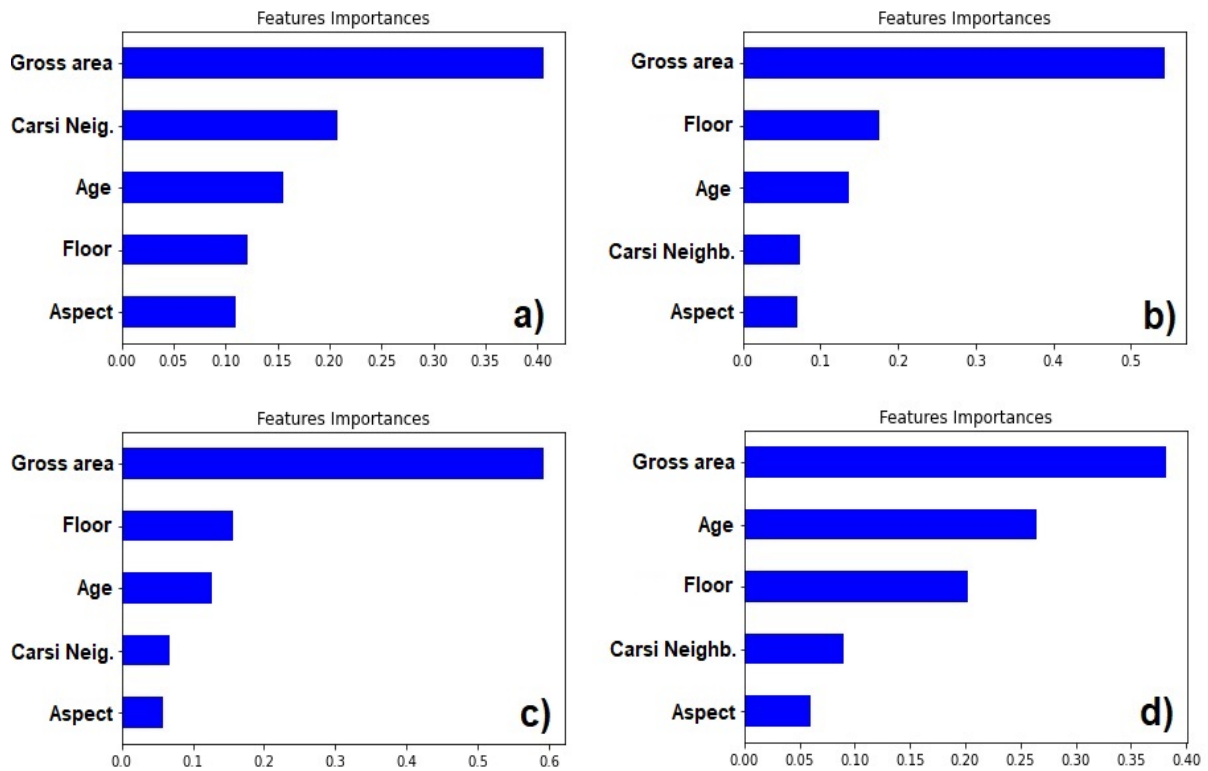
**Table 5.** Performance measures for RF, GBM, AdaBoost, and XGBoost algorithms

Metrics	XGBoost	GBM	AdaBoost	RF
Accuracy of training data	0.85	0.83	0.77	0.77
Accuracy of test data	0.70	0.68	0.63	0.70
$R^2$	0.705	0.676	0.625	0.701
MAE	63623.12	70174.71	71985.45	66925.17
RMSE	78966.28	82601.52	88964.64	79451.96

The RMSE, a measure of the average deviation of the estimates from the observed values, varies between 0 and  $\infty$ , and lower values indicate better performance (Yilmazer & Kocaman, 2020; Oral et al., 2021; Ozdemir et al., 2022). When the algorithms were compared in this regard, the prediction model utilizing the XGBoost algorithm performed the best, followed by the model employing RF. The MAE metric displays the absolute error between observed and predicted values, and as the MAE metric value approaches zero, the predictive power of the model increases (Yilmazel et al., 2018). As shown in Table 5, the XGBoost algorithm delivered the best results yet again. These results imply that the methodologies can be used to value houses. However, the efficacy of the models in predicting house value was seen to be lower compared to some research in the literature (Table 1). The reason behind this is believed to be potentially linked to the limited sample size employed in model building. Similarly, Yilmazer & Kocaman (2020) linked the dependability of ML techniques to data amount and quality. From this perspective, the findings of this investigation based on real sales data are considered adequate.

### 3.2. Evaluation of parameters affecting house value

Although many structural and spatial parameters were taken into account, only five parameters were found to have an impact on the price. By applying four algorithms, the study unveiled that parameters like Gross area, Floor level, Carsi Neighborhood, Aspect, and Age significantly influence the price; however, the magnitude and significance of their effect and significance levels differ (Figure 2).

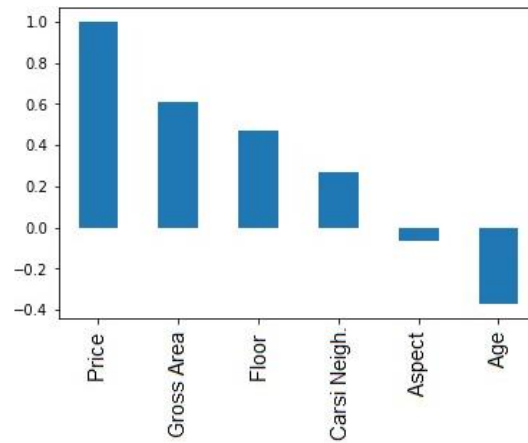


**Figure 2.** Features importance of ML algorithms a) XGBoost, b) GBM, c) RF, d) AdaBoost

When analyzing the significance levels of the parameters used in the estimation models, it becomes evident that the most crucial parameter across all models is the Gross area. Similarly, [Yavuz Ozalp & Akinci \(2017\)](#) discovered that the area parameter alone could explain 76% of the change in pricing in a study conducted on the basis of a neighborhood in Artvin. In another study conducted in the same area by [Yavuz Özalp & Akıncı \(2018\)](#) using 2015 sales data and the HPM approach, the parameters of floor area, age, floor level, and Carsi Neighborhood were found to be effective. Conversely, in that study, it was found that the development level parameter had an impact, whereas the aspect parameter did not show a significant effect. This finding indicates that the area, age, floor of the property, and proximity to the city center all have a substantial impact on the prices in Artvin City's real estate market. Although studies on the house-price relationship were conducted in different locations and using various methods, the area, age, and floor parameters were always found to have a determinant effect on price in the majority of studies ([Yu et al., 2007](#); [Sevgen & Tanrivermis, 2020](#); [Yazdani, 2021](#)). Even though spatial data boosted the adjusted  $R^2$  value of the model, [Hayrulloğlu et al. \(2018\)](#) found that structural factors were more beneficial than spatial and environmental characteristics.

The investigation concluded that the Carsi Neighborhood parameter had an effect on the pricing and caused the price to rise (Figure 3) since the Carsi Neighborhood is Artvin City Center's oldest and most central neighborhood, including key public amenities and attractions. This parameter proved the idea that location was very important and influential on price, as noted by [Adetunji et al. \(2022\)](#).

Upon examining Figure 3 and Table 6, it becomes apparent that the Gross area, Floor level, and Carsi neighborhood criteria have a favorable effect on the real sales price, whilst the Aspect and Age parameters have a negative effect. According to the level of significance, the three most effective characteristics were Gross area, Floor level, and Age, with Aspect being the least effective. The fall in property value with advancing age is consistent with theoretical projections. However, the effect of the Aspect parameter being negative is opposite to the expectation. In other words, despite the fact that aspects that receive more sunlight (such as South, Southeast, and Southwest) are favored in house preference, it was discovered in the current study to decrease the price. This could be because the city is located on a hillside and the slope faces northeast, there is an elevation difference due to its topographical structure, the study area is a small city and thus the volume of the real estate market is limited, and the owner's initiative in establishing the sales price.



**Figure 3.** Correlation between price and other parameters

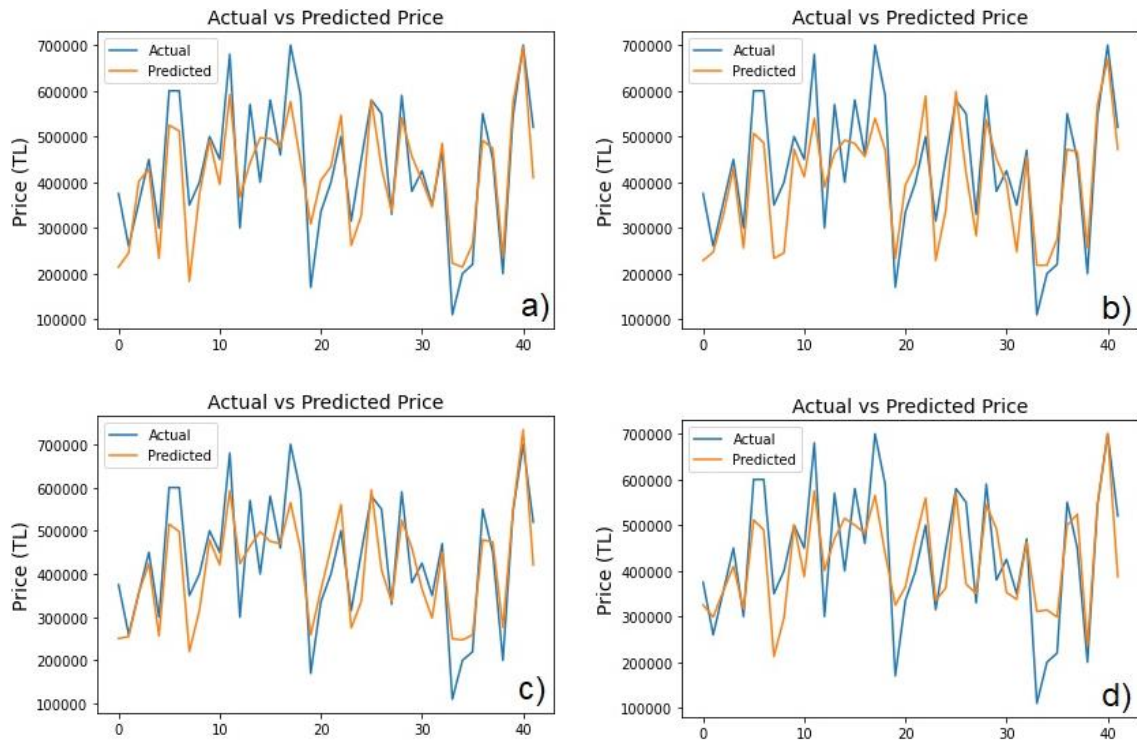
**Table 6.** Correlation values between sales prices and parameters

Parameters	Correlation
Price	1.000000
Gross area	0.609017
Floor level	0.472590
Carsi neighborhood	0.267000
Aspect	-0.065825
Age	-0.374230

Depending on the varied dynamics of different localities, the correlation of parameters with price, their significance, and positive/negative effects may emerge as contrary to expectations. [Tuna et al. \(2015\)](#) found, contrary to expectations, that the increase in the age of the building did not decrease the price of the house, and that older houses in central locations had higher prices. [Iban \(2021\)](#) found a correlation between the price and the number of bedrooms and bathrooms. Similarly, [Oral et al. \(2021\)](#) found that rental price, gross area of the house, and number of bathrooms were the most influential factors on the sale price. As a result, the fact that the price-parameter relationship of houses varies depending on location and local dynamics demonstrates the necessity and importance of conducting studies in various locations.

The actual sales values of the houses in the data set and the values predicted by ML algorithms were compared in the final stage of this study. According to the data set used, the prices of houses sold in Artvin City Center in 2021 range between 110,000 and 920,000 Turkish Liras (TRY) (Table 3). The same dataset shows that per-square-meter prices range from 1422.76 TRY to 9000 TRY, with an average of 3592.22 TRY. Using the test dataset and the prices predicted by the XGBoost algorithm, it was determined that the sales price in the test dataset ranged between 110,000 TRY and 700,000 TRY, with a minimum difference of 656 TRY and a maximum difference of 166,600 TRY between the actual sales price and the price estimated by the model (Figure 4). Between the estimated and real values, [Sevgen & Tanrivermis \(2020\)](#) found a minimum discrepancy of 600 TRY and a maximum difference of 60000 TRY. [Oral et al. \(2021\)](#) contended that the model performed better in estimating the prices of buildings with lower values.

When the graphs in Figure 4 are analyzed, it is clear that there are significant differences between the estimated prices and the actual prices of some houses, implying that houses are sometimes sold for much higher or much lower than the estimated prices. Again, the difference between expected and estimated price was greater for the GBM and AdaBoost algorithms, but less so for the XGBoost and RF algorithms. As a result of these findings, the XGBoost and RF algorithms can be considered suitable for application in mass valuation studies, with positive contributions in terms of time, labor, and cost.



**Figure 4.** Actual versus predicted price for XGBoost (a), GBM (b), RF (c), and AdaBoost (d)

#### 4. Conclusion

This study intends to investigate the performance of tree-based ML algorithms of Random Forest, Gradient Boosting Machine, AdaBoost, and XGBoost in estimating the value of houses and the influence of local dynamics on their prices for Artvin City Centre. According to the results, the XGBoost and RF algorithms performed the best (0.705 and 0.701, respectively) in assessing house value across all  $R^2$ , MAE, and RMSE measures. The relatively low success rate of the models developed in this study compared to their counterparts in the literature is due to the small number of samples used in model construction. However, it should be noted that ML methods, particularly XGBoost and RF, have demonstrated adequate performance in house valuation studies even with small or limited data and that the success rate would increase even further as the data set was expanded, implying that their use could save money, labor, and time. Besides, it is also very important to note that studies with sufficient accuracy can be carried out even if modeling has to be done with a small number of data, as in our country since the real sales prices cannot be recorded regularly. Because of the capacity of ML methods to mix multiple data sources, their precise, rapid, and objective predictive power, and their effectiveness even when the parameters are nonlinear, the application of ML algorithms -notably XGBoost and RF- should be considered as a reliable alternative in-house valuation. Moreover, it has been observed that the parameters including Gross area, Floor level, Carsi Neighborhood, Aspect, and Age significantly impacted the price according to all algorithms used in this study.

The scarcity of land suitable for construction due to its rugged topography, the costly pre-construction works, the city's remoteness from material supply centers, and the submergence of a significant portion of its residential districts due to the construction of several dams have all contributed to the dynamism of the Artvin housing market. As a result, the study's findings are meant to serve as a reference for all sector actors, including investors, homeowners, real estate brokers, and valuation specialists in Artvin's housing market.

Mechanisms for recording the actual sale prices of real estate, as well as the criteria used to establish their values, are still an ongoing process in Türkiye. In this regard, the GDLRC continues to determine and record the value of the real estate as part of the Land Registry Cadastre Modernization Project, resulting in the creation of a Value Information Database. As a result, it is critical that market price formation reflects the realistic and rational value of the real estate, and that regulations to ensure the correct handover price be specified in the declaration signed at the registry office be implemented as soon as possible, both in terms of establishing a successful housing policy and completing provision of taxes related to real estate sales. Finally, the application

of RF and XGBoost algorithms in real estate valuation projects by GDLRC is thought to be advantageous by the benefits and as supported by the necessities indicated above.

### Author contribution

A.Y.O.: Conceptualization, methodology, investigation, visualization, writing—original draft preparation, writing—review and editing. H.A.: Investigation, methodology, software, visualization, writing—original draft preparation, writing—review and editing.

### 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 there is no conflict of interest.

### References

- Adetunji, A.B., Akande, N., Ajala, F.A., Oyewo, O., Akande, Y.F., & Oluwadara, G. (2022). House price prediction using random forest machine learning technique. *Procedia Computer Science*, 199, 806–813. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.100>
- Afonso, B.K.A., Melo, L.C., Oliveira, W.D.G., Sousa, S.B.S., & Berton, L. (2019). Housing prices prediction with a deep learning and random forest ensemble. *Anais do Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC 2019)* (pp. 389-400), Salvador.
- Afşar, M., & Yüksel, Ö.G. (2022). The effectiveness of the housing channel in monetary policy. *ESOGU Journal of Economics and Administrative Sciences*, 17(2), 345 – 367. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.1064471>
- Akay, E.C., Topal, K.H., Kizilarlan, S., & Bulbul, H. (2019). Forecasting of Turkish housing price index: ARIMA, random forest, ARIMA-random forest. *PressAcademia Procedia*, 10, 7-11. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2019.1134>
- Akıncı, H. (2022). Assessment of rainfall-induced landslide susceptibility in Artvin, Turkey using machine learning techniques. *Journal of African Earth Sciences*, 191, 104535. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104535>
- Alkan, T., Dokuz, Y., Ecemiş, A., Bozdağ, A., & Durduran, S. (2022). Using machine learning algorithms for predicting real estate values in tourism centers. *Data Analytics and Machine Learning*, 27, 2601–2613. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07579-7>
- Antipov, E.A., & Pokryshevskaya, E.B. (2012). Mass appraisal of residential apartments: An application of random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics. *Expert Systems with Applications*, 39, 1772-1778. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.077>
- Arslan, Y., Ceritoğlu, E., & Kanık, B. (2022, October 14). *The effects of demographic changes on the long-term housing demand in Turkey*. Munich Personal Repec Archive. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/52013/>
- Avcı, C., Budak, M., Yagmur, N., & Balcık, F. B. (2023). Comparison between random forest and support vector machine algorithms for LULC classification. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 01-10. <https://doi.org/10.26833/ijeg.987605>
- Aydemir, E., Aktürk, C., & Yalçınkaya, M.A. (2020). Estimation of housing prices with artificial intelligence. *Turkish Studies*, 15(2), 183-194. <http://dx.doi.org/10.29228/TurkishStudies.43161>
- Aydinoglu, A.C., Bovkir, R., & Colkesen, I. (2021). Implementing a mass valuation application on interoperable land valuation data model designed as an extension of the national GDI. *Survey Review*, 53, 349-365. <https://doi.org/10.1080/00396265.2020.1771967>



- Baldominos, A., Blanco, I., Moreno, A., Iturrarte, R., Bernardez, O., & Afonso, C. (2018). Identifying real estate opportunities using machine learning. *Applied Sciences*, 8(11), 2321. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.04933>
- Başer, U., & Bozoğlu, M. (2019). Determination of the factors affecting housing rent using hedonic price model: the case of İlkadım and Atakum districts of Samsun province. *Eurasian Journal of Researches in Social and Economics*, 6(4), 308-316.
- Bilgilioğlu, S.S., & Yılmaz, H.M. (2021). Comparison of different machine learning models for mass appraisal of real estate. *Survey Review*, 55, 32-43. <https://doi.org/10.1080/00396265.2021.1996799>
- Borst, R.A. (1991). Artificial neural networks: the next modelling/calibration technology for the assessment community. *Property Tax Journal*, 10(1), 69-94.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Büyük, G., & Ünel, F. B. (2021). Comparison of modern methods using the python programming language in mass housing valuation. *Advanced Land Management*, 1(1), 23-31.
- Can, R., Kocaman, S., & Gokceoglu, C. (2021). A comprehensive assessment of XGBoost algorithm for landslide susceptibility mapping in the upper basin of Ataturk Dam, Turkey. *Applied Science*, 11, 4993. <https://doi.org/10.3390/app11114993>
- Ceh, M., Kilibarda, M., Lisec, A., & Bajat, B. (2018). Estimating the performance of random forest versus multiple regression for predicting prices of the apartments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(5), 168. <https://doi.org/10.3390/ijgi7050168>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XG Boost: A scalable tree boosting system. *22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining-KDD* (pp. 785-794), New York.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Tien, B., Duan, Z., & Ma, J. (2017). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.032>
- Corine- Coordination of Information on the Environment. (2022, November 29). <https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/corine>
- Doğan, O., Bande, N., Genç Y., & Akyön, F.Ç. (2022). Estimation of housing fair values using artificial neural networks method in Kecioren/Ankara. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 35, 113-128. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.941952>
- Embaye, W.T., Zereyesus, Y.A., & Chen, B. (2021). Predicting the rental value of houses in household surveys in Tanzania, Uganda and Malawi: Evaluations of hedonic pricing and machine learning approaches. *Plos One*. 16, 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244953>
- Esen, Y., & Tokgöz, H. (2021). A different perspective to real estate valuation with fuzzy logic modeling. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 9(4), 1155-1165. <https://doi.org/10.21923/jesd.876523>
- Fei, Y. (2020). *California rental price prediction using machine-learning algorithms* [Master's Thesis, University of California Center for Social Statistics].
- Freund, Y., & Schapire, R.E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55(1), 119-139.
- Friedman, J.H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189-1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- GDLRC- General Directorate of Land Registry and Cadastre. (2022, September 10). <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>
- Gustafsson, A., & Wogenius, S. (2014). *Modelling apartment prices with the multiple linear regression model*. Royal Institute of Technology. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:725045/FULLTEXT01.pdf>

- Hayrulloğlu, G., Aliefendioğlu, Y., Tanrıvermiş, H., & Hayrulloğlu, A.C. (2018). Estimation of the hedonic valuation model in housing markets: the case of Cukurambar region in Çankaya district of Ankara province. *Ecoforum*, 1, 1-9.
- He, Q., Jiang, Z., Wang, M., & Liu, K. (2021). Landslide and wildfire susceptibility assessment in Southeast Asia using ensemble machine learning methods. *Remote Sensing*, 13(8), 1572. <https://doi.org/10.3390/rs13081572>
- Hjort, A., Pensar, J., Scheel, I., & Sommervoll, D.E. (2022). House price prediction with gradient boosted trees under different loss functions. *Journal of Property Research*, 39(4), 338-364. <https://doi.org/10.1080/09599916.2022.2070525>
- Hong, J., Choi, H., & Kim, W.S. (2020). A house price valuation based on the random forest approach: the mass appraisal of residential property in South Korea. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(3), 140-152. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.11544>
- IAAO- International Association of Assessing Officers. (2022, April 14). <https://www.iaao.org/media/standards/StandardOnMassAppraisal.pdf>
- Iban, M.C. (2021). Accuracy analysis of community algorithms in estimating the value of real estate. *1st International Artificial Intelligence and Data Science Congress* (pp. 226-232), İzmir.
- İlhan, A.T., & Öz, N.S. (2020). Applicability of artificial neural networks on mass valuation of real estates: the case of Gölbaşı District. *Hacettepe University Journal of Social Sciences*, 2(2), 160-188.
- Louati, A., Lahyani, R., Aldaej, A., Aldumaykhi, A., & Otai, S. (2021). Price forecasting for real estate using machine learning: A case study on Riyadh city. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 1-16. <https://doi.org/10.1002/cpe.6748>
- Mete, M.O., & Yomralıoğlu, T. (2022). GIS and machine learning based mass valuation of residential properties. *11th Turkish National Photogrammetry and Remote Sensing Union (TUFUAB) Technical Symposium* (pp. 1-5), Mersin.
- Oral, M., Okatan, E., & Kırbaş, İ. (2021). A study on house price prediction using machine learning methods: the case of Madrid. *3rd International young researchers student congress* (pp. 263-272), Burdur.
- Özalp, A.Y., Akıncı, H., & Temuçin Kılıçer, S. (2020). Analysis of parameters affecting value of real estates with land property in Artvin Case. *Geomatik*, 5(2), 100-111. <https://doi.org/10.29128/geomatik.579401>
- Ozdemir, M., Yıldız, K., & Büyüktanır, B. (2022). Housing price estimation with deep learning: a case study of Sakarya Turkey. *BSEU Journal of Science*, 9(1), 138-151. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.998331>
- Ravikumar, A.S. (2016). *Real estate price prediction using machine learning* [Master's Thesis, National College of Ireland School of Computing].
- Saraç, E. (2012). *Real estate appraisal with artificial neural networks method* [Master's Thesis, İstanbul Kültür University Institute of Science].
- Sahin, E.K. (2020). Assessing the predictive capability of ensemble tree methods for landslide susceptibility mapping using XGBoost, gradient boosting machine, and random forest. *SN Applied Science*, 2,1308. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3060-1>
- Schapiro, R.E. (2013). *Explaining AdaBoost*. In *Empirical Inference* (Bernhard Schölkopf, Zhiyuan Luo, Vladimir Vovk Eds.). Springer Berlin.
- Sevgen, S.C., & Tanrıvermiş, Y.A. (2020). Mass appraisal with a machine learning algorithm: random forest regression. *Journal of Information Technologies*, 13(3), 301-311. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.555784>
- Tabar, M.E., Başaran, A.C., & Şişman, Y. (2021). Housing valuation study in Tokat province with multiple regression and artificial neural networks. *Turkish Journal of Land Management*, 3(1), 01-07. <https://doi.org/10.51765/tayod.832227>
- Tabanoğlu, M. (2019). *Estimating the market value of residential buildings with artificial neural networks method: Düzcce sample* [Master's Thesis, Düzcce University Graduate School of Natural Sciences].

- TDUB-Türkiye Değerleme Uzmanları Birliği. (2022, April 15). [https://tdub.org.tr/uploads/documents/1667807030\\_d7767c42b3a070c20179](https://tdub.org.tr/uploads/documents/1667807030_d7767c42b3a070c20179)
- TSI- The Turkish Statistical Institute. (2022, November 10). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Insaat-ve-Konut-116>.
- Tuna, M.F., Türk, T., & Kitapçı, O. (2015). House prices with the help of linear regression and GIS estimating: the example of Ankara. *TMMOB HKMO 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı* (pp. 1-5), Ankara.
- Ulvi, C., & Özkan, G. (2019). Usability of artificial intelligence techniques at real estate valuation and comparison of the methods. *Journal of Geomatics*, 4(2), 134-140.
- Wang, C., & Wu, H. (2018). A new machine learning approach to house price estimation. *New Trends in Mathematical Sciences*, 6(4),165-171. <https://doi.org/10.20852/ntmsci.2018.327>
- Wang, Z., Liu, Q., & Liu, Y. (2020). Mapping landslide susceptibility using machine learning algorithms and GIS: A case study in Shexian County, Anhui Province, China. *Symmetry*, 12, 1954. <https://doi.org/10.3390/sym12121954>
- Wilkowski, W., & Budzynski, T. (2006). Application of artificial neural networks for real estate valuation. *Shaping the Change XXIII FIG Congress* (pp. 1-12), Munich.
- Wu, Y., Ke, Y., Chen, Z., Liang, S., Zhao, H., & Hong, H. (2020). Application of alternating decision tree with AdaBoost and bagging ensembles for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 187, 104396. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104396>
- XGBoost- XGBoost Python Package. (2022, December 13). <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/python/>
- Yavuz Ozalp, A., & Akıncı, H. (2017). The use of hedonic pricing method to determine the parameters affecting residential real estate prices. *Arabian Journal of Geoscience*, 10, 535. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3331-3>
- Yavuz Özalp, A., & Akıncı, H. (2018). Using hedonic pricing model to analyze parameters affecting residential real estate value in Artvin City Center. *FIG Congress 2018* (pp. 1-15), İstanbul.
- Yazdani, M. (2021). *Machine learning, deep learning, and hedonic methods for real estate price prediction* [Master's Thesis, Colorado University Department of Economics].
- Yıldırım, S., Özalp, M., & Erdoğan Yüksel, E. (2015). Determining loss and degradation of lands as a result of large dam projects and associated road constructions within the Coruh River Watershed. *ACU Journal of Forestry Faculty*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.17474/acuofd.00766>
- Yılmazel, Ö., Afsar, E., & Yılmazel, S. (2018). Using artificial neural network method to predict housing prices. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 20, 285-300. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.341584>
- Yılmazel, S., & Kocaman, S. (2020). A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land Use Policy*, 99, 104889. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104889>
- Yoshida, T., & Seya, H. (2021). Spatial prediction of apartment rent using regression-based and machine learning-based approaches with a large dataset. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 1-39. <https://doi.org/10.1007/s11146-022-09929-6>
- Yu, D., Wei, Y.D., & Wu, C. (2007). Modeling spatial dimensions of housing prices in Milwaukee, WI. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 34(6), 1085–1102. <https://doi.org/10.1068/b32119>
- Zaki, J., Nayyar, A., Dalal, S., & Ali, Z.H. (2022). House price prediction using hedonic pricing model and machine learning techniques. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34, 1-15. <https://doi.org/10.1002/cpe.7342>

## Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi yağışlarının aylık, mevsimlik ve yıllık trend analizi

*Monthly, seasonal and annual trend analysis of precipitation for Eastern and Central Black Sea Region of Türkiye*

Berfin ÖĞ<sup>1</sup> , Tamer GÜRER<sup>1</sup> , Serhat CENGİZ<sup>1</sup> , Ahmet ÖZTÜRK<sup>1</sup> , Eda TURAN<sup>1</sup> ,  
Evren ÖZGÜR\*<sup>1</sup> 

*İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34700, İstanbul*

• Geliş tarihi / Received: 20.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 03.11.2023

### Öz

Yağış, hidrolojik döngüde kritik bir rol oynar ve günlük hayatımızı çeşitli şekillerde etkiler. Ayrıca iklim değişikliğinin bir göstergesi olarak görülür ve yağış eğilimini tespit etmek, geleceğin yağış rejimi hakkında öngörüler yapmak için çok önemlidir. Bu amaçla, bu çalışmada Doğu ve Orta Karadeniz'de yer alan altı ilin meteoroloji istasyonlarından alınan yağış verileri trend analizine tabi tutulmuştur. Yağış eğilimini belirlemek için lineer trend testi ile parametrik olmayan Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Trend analizi, altı il için aylık, mevsimlik ve yıllık dönemler bazında yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Karadeniz havzasındaki altı ilin 1977-2016 arasındaki yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı eğilimler saptanmıştır. Yıllık toplam yağışlarda üç ilde anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Genel olarak yağışta artış eğilimi gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Karadeniz Bölgesi, Lineer trend, Mann-Kendall, Trend analizi, Türkiye, Yağış

### Abstract

Precipitation plays a crucial role in the hydrological cycle and impacts our daily lives in many ways. It's also viewed as an indicator of climate change. Consequently, determining precipitation trends is vital for forecasting future precipitation patterns. For this study, rainfall data from meteorological stations across six provinces in the Eastern Black Sea region underwent trend analysis. To identify the precipitation trend, linear trend test and the non-parametric Mann-Kendall test was applied. This trend analysis was conducted monthly, seasonally, and annually for each of the six provinces. The study found statistically significant trends in the rainfall data for all six provinces in the Black Sea basin from 1977 to 2016. Notably, significant increases in annual total rainfall were detected in three provinces. Generally, an increasing trend in precipitation was observed.

**Keywords:** Black Sea Region, Linear trend, Mann-Kendall, Trend analysis, Türkiye, Precipitation

\* Evren ÖZGÜR; evren.ozgur@medeniyet.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yağış, hidrolojinin önemli parametrelerinden biri olarak su buharının katı veya sıvı halde yeryüzüne düşmesi olarak tanımlanır. İklim değişimlerine bağlı olarak, iklim elemanlarının zamansal ve mekânsal olarak en değişken parametrelerinden biri olan yağışın sistematik olarak artması ve azalması iklim değişikliği için belirleyici rol oynamaktadır.

Küresel iklim değişikliği nedeniyle hidrolojik analiz yöntemlerinin önemi artmıştır. Küresel ısınma, dünyanın iklim dengesi bozulduğu için ortaya çıkan sera gazlarının dünyanın ısı kapasitesinde artışa neden olarak iklim değişikliğine yol açmasıdır. İklim değişikliği sıcaklıkları artırdıkça kutuplardaki buzullar erimekte ve bu durum dünya yağış rejiminde düzensizlikler yaratmaktadır (IPCC, 2022).

Suyun ana kaynağı yağıştır ve su hayatın devamlılığıdır. Aşırı yağış ve yetersiz drenaj sistemi sele neden olurken yağış düzensizliği ve sıcaklıktaki artış kuraklığa neden olur. Karadeniz Bölgesi'nde sağanak yağışların yol açtığı şiddetli sel ve heyelanlarda birçok kişi hayatını kaybetmiştir. Günümüzde can kaybına neden olan taşkınları, taşkın kontrol çalışmalarının planlanması, tasarımı ve mevcut kaynakların kullanımını dikkate alarak kontrol altına almak mümkündür. Karadeniz bölgesini doğal afet bölgesi yapan etkili faktörler, bölgenin jeolojik yapısal ve özellikleri, dağların kıydan ani yükselişi ile eğim değerinin artması ve akarsu aşındırma şeklidir (Nemli, 2017).

Türkiye'nin Karadeniz bölgesi, su temini ve enerji üretimi için yağışa büyük ölçüde bağımlı olan önemli bir tarım ve sanayi bölgesidir. Bu rapor, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde incelenen altı ilin 1977-2016 yılları arasında aylık, yıllık ve mevsimlik yağış eğilimlerini analiz etmektedir. Analiz, bölgedeki meteoroloji istasyonlarından toplanan verilere dayanmaktadır.

Yağış verilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ile yağışın belirli özellikleri hakkında önemli bilgiler elde etmek ve gelecek yıllar için tahminler yapmak mümkündür. Doğu Karadeniz'de yağış verilerinin eğilimlerinin bulunması amacıyla Karadeniz bölgesinde çeşitli yöntemlerle farklı araştırmalar yapılmıştır.

Karadeniz Bölgesi'ndeki 1971-2010 yılları arasında yağış değişimlerini araştıran bir çalışmada bölgede bulunan 18 istasyondan elde edilen verileri analiz edilmiştir. Yağış trendlerini tespit etmek için Mann-Kendall, regresyon ve Şen eğilim testi olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Çalışmaları sonucunda bölgedeki 8 istasyonda üç yöntemle de uyumlu bir şekilde artan bir yağış trendi olduğu bulunmuştur. (Saplıoğlu & Çoban, 2013).

Sakarya Havzasında yapılan bir çalışmada yağışlarda azalış trendi gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Batı Karadeniz Havzasında belirgin bir trend tespit edilmemiş fakat Doğu Karadeniz Havzasında yağışlarda artış trendi gözlemlenmiştir (Çeribaşı & Doğan, 2015).

Orta Karadeniz'in kıyı şeritlerinde yapılan bir çalışmada yağışlar açısından yapılan analizde iç kesimlerdeki istasyonların denize yakın istasyonlara göre azalan bir eğilim olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Özkoca, 2015).

Doğu Karadeniz Bölgesi'ne ait 10 meteoroloji istasyonu üzerinde yapılan farklı bir çalışmada, standart zamanlarda maksimum yağış yükseklikleri incelenmiş ve bölge genelinde artan bir eğilim tespit edilmiştir (Nemli, 2017).

Doğu Karadeniz'de dört istasyonun çalışıldığı başka bir çalışmada Mann-Kendall ve Şen testleri kullanılarak yağış ve sıcaklık verileri analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda yağış verilerinde Hopa'da azalış eğilimi, diğer istasyonlarda ise artış eğilimi belirlenmiştir (Polat & Sunkar, 2017).

Trabzon ve Akçaabat istasyonlarında çalışılan bir araştırmada Mann-Kendall ve Şen'in Yenilikçi Eğilim metodları kullanılmıştır. Verilerin homojenliği, SNHT ve Von-Neumann teknikleriyle %95 güven seviyesinde doğrulanmıştır. Özellikle sonbahar ve ilkbaharda belirli aylarda yağış miktarında artış eğilimi olduğunu ortaya konmuştur. Şen'in Yenilikçi Eğilim metoduyla, çeşitli dönemlerde ve veri setlerinde artış ve azalış trendleri saptanmıştır. Ancak, bu bulgular daha önceki araştırmalarla tam anlamıyla örtüşmediği belirtilmiştir; bunun nedeni olarak farklı veri periyodlarının kullanılması olduğu belirtilmiştir (Kankal & Akçay,2018).



Bir başka çalışmada ise Batı Karadeniz Havzasında bulunan on meteoroloji istasyonundan alınan yağış verileri Şen yöntemi ile incelenmiştir. İstasyonlardan sadece birinde yağış artış trendi gözlemlenmiş, döt adet istasyonda azalan trend bulunmuş ve kalan istasyonlarda ise herhangi bir trende rastlanmamıştır (Çeribaşı, 2018).

Karadeniz Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada, Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi'nde artan bir eğilim, Batı Karadeniz Bölgesi'nde ise azalan bir eğilim tespit edilmiştir. (Demir, 2018).

31 yıllık bir zaman dilimi boyunca Erzincan, Gümüşhane ve Bayburt'taki meteoroloji istasyonlarından toplanan yağış verileri birden çok trend testi kullanılarak elde edilen analizler sonucunda kış mevsiminde bazı aylarda yağış için artan trend, yaz mevsiminde ise bazı aylarda yağış azalan trend gözlemlenmiştir. (Dalkılıç, 2019).

2020 tarihli çalışmada, 16 meteoroloji istasyonundan toplanan sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizi yapılmıştır. Bu analizler, Yenilikçi Şen metodu ve Mann-Kendall testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yenilikçi Şen metodu, sıcaklık verilerinde her istasyonda bir artış trendi tespit ederken, Mann-Kendall testi yalnızca 7 istasyonda bu trendi belirlemiştir. Aynı zamanda, yağış verilerinin analizinde de Yenilikçi Şen metodu ile Mann-Kendall testi arasında belirgin farklılıklar tespit etmişlerdir. (Tokgöz & Partal, 2020).

Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt illerini kapsayan Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki istasyonlardan elde edilen 1960-2016 yılları arası sonuçlar yıllık olarak bakıldığında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yağış miktarlarının artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Aylara göre değerlendirildiğinde ise, yağış miktarlarının çoğunlukla yükseliş eğiliminde olduğu görülmektedir (Yılmaz vd., 2021).

Artvin ve Bayburt'un iç bölgeleri ile Ordu ve Rize'nin meteoroloji izleme istasyonlarından toplanan veriler dikkatlice incelenmiştir. Yağış tahmin kapasitesi bakımından daha üstün olduğu düşünülen MPI modeli, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları kullanılarak bölgenin yağış özelliklerindeki muhtemel değişiklikleri ortaya çıkarılmıştır. Mevcut gözlem döneminde, tüm istasyonların yağış miktarı ve yoğunluğu değerlendirilmiş; ancak yalnızca Bayburt istasyonunda toplam yağış miktarında önemli bir değişim belirlenmiştir (Aksu vd., 2022).

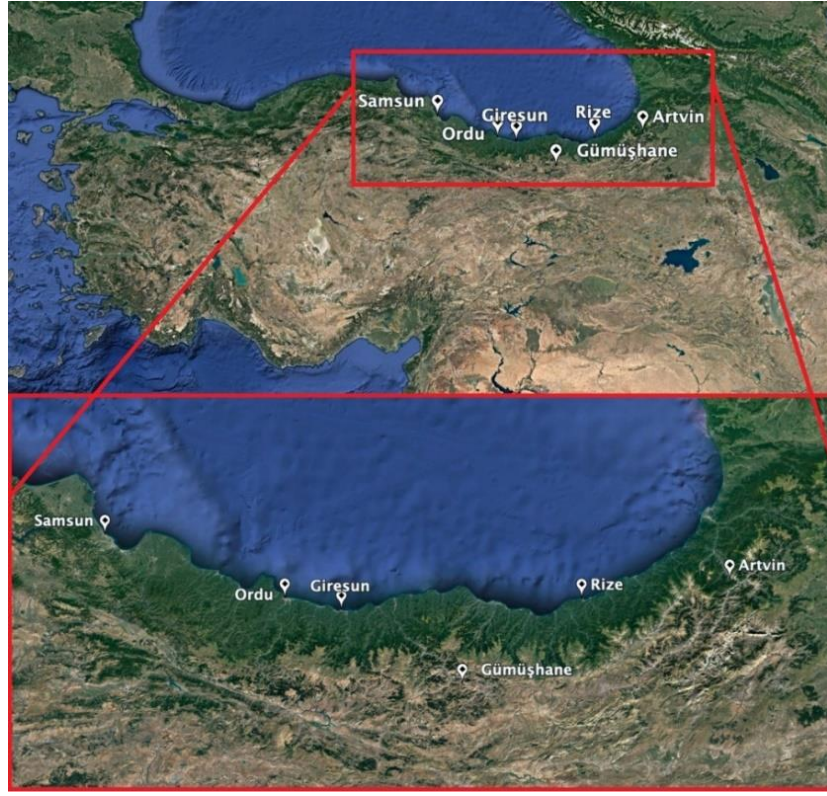
Çalışmalardan da görülebileceği gibi, yağış, sıcaklık ve benzeri meteorolojik bilgilerde trend analizi, iklim değişikliklerini anlamak için önemlidir. Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde altı ilde bulunan meteoroloji istasyonlarının 1977-2016 arasındaki 40 yıllık yağış verileri incelenmiştir. Bu verilerle, aylık, mevsimsel ve yıllık dönemlerde yağışta trendlerin olup olmadığı ve trend gözlenen istasyonlarda değişim noktasının varlığı araştırılmıştır.

## 2. Çalışmada kullanılan materyal

### 2.1. Material used in the study

Çalışmada kullanılan veriye geçmeden önce, Türkiye iklim sisteminden bahsetmek faydalı olabilir. Türkiye "Akdeniz İklimi" adı verilen bir iklim karakterine sahiptir. Bunun yanı sıra, polar ve tropikal iklimlerden de etkilenmektedir. Kış aylarında, ülkemizde denizsel polar (mP) ve karasal polar (cP) hava kütleleri hakimdir. Özellikle de ülkenin güney ve güneydoğu kesimleri oldukça kuru olan karasal polar hava kütlelerinin etkisi altındadır. Öte yandan; özellikle yaz aylarında Azor Yüksek Basınç Sistemi ülkemizin batı kesimlerini etkilemektedir. İstisnai olarak da ülkenin batı ve kuzeybatı kesimleri yaz aylarında yoğun yağış almaktadır. Ayrıca, Karadeniz Bölgesi'nde de yaz aylarında çok yoğun orografik yağış görülmektedir. Kış aylarında zaman zaman Sibiryaya Yüksek Basınç Sistemi kuzey ve doğu Avrupa ile birlikte ülkemizde de etkili olmaktadır. Bu cephesel sistemler Türkiye'yi iki farklı yörüngede etkilemektedir. İlk yörüngede batı, güney ve güneydoğu kesimleri etkilenmektedir. İkinci yörünge ise çalışma alanının da içinde yer aldığı kuzey, kuzeybatı ve orta kesimlere etkide bulunmaktadır (Tatlı vd., 2004; Tatlı & Menteş, 2019; Tekin vd., 2021).

Bu çalışmadaki veriler, 1977-2016 yılları arasındaki 40 yıllık dönemi kapsayan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarından elde edilmiştir. Aylık toplam yağış, mevsimlik toplam yağış ve yıllık toplam yağış değerleri Şekil 1'de belirtilen istasyonlara ilişkindir. İstasyonların bilgileri Tablo 1'de sunulmuştur.



**Şekil 1.** Araştırmada çalışılan bölge ve iller  
**Figure 1.** The region and provinces studied in the research

**Tablo 1.** Araştırmada kullanılan istasyonların özellikleri  
**Table 1.** The characteristics of the stations used in the research

İstasyon kodu	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m.)
17030	Samsun	41.344	36.255	4
17033	Ordu	40.984	37.886	5
17034	Giresun	40.923	38.388	38
17040	Rize	41.040	40.501	3
17045	Artvin	41.175	41.819	613
17088	Gümüşhane	40.460	39.465	1216

### 3. Yöntem

#### 3. Method

#### 3.1. Lineer trend testi

##### 3.1. Linear trend test

Lineer regresyon veri serileri arasındaki doğrusal sınırın belirlendiği bir yöntem olup, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$x_t = \alpha \cdot t + \beta \quad (1)$$

Burada  $\alpha$  katsayısı ve  $\beta$  sabit değeri; bağımlı  $t$  ve bağımsız  $x_t$  değişkenleri arasındaki ilişkiye dayanarak hesaplanan değerlerdir.  $\alpha$  katsayısının istatistiksel olarak anlamlılığı  $t$ -testi yardımıyla belirlenebilir (genellikle 0.05 anlamlılık seviyesi kullanılır). Lineer trend (LT) analizi sonucu elde edilen  $t$  değeri, seçilen anlamlılık

seviyesi için belirlenen kritik değeri aşıyorsa, incelenen zaman serisinde anlamlı bir trend olduğu sonucuna varılır (Vaheddoost, 2020).

### 3.2. Mann-Kendall trend testi

#### 3.2. Mann-Kendall trend test

Mann-Kendall (MK) trend testi, meteorolojide trend testi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yağış, akış, sıcaklık gibi pek çok değişkenin trendinin anlamlılığını test etmek için kullanılır. Bu test, değişkenin dağılımına bağlı olmadığı için parametrik olmayan bir trend testi olarak kabul edilir. Meteorolojik değişkenlerin normal dağılımdan farklı olabileceği göz önüne alındığında, Mann-Kendall testi neredeyse tüm meteorolojik değişkenler için uygun bir seçenektir ve bu da testin avantajlarından biridir (Özgür, 2013; Özgür & Koçak 2019).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

S değerini hesabı şu şekilde yapılır. İlk olarak verideki ilk sırada bulunan değer ikinci sıradan çıkartılır ve işaretine göre denklem 2 de gösterildiği şekilde pozitif ise 1, negatif ise -1 ve sıfır ise 0 değerini alır. Sonra ilk veri üçüncü sıradaki değerden çıkarılır ve aynı işlem tekrarlanır. Bu işlem son sıraya kadar devam eder. Son sıraya kadar tüm değerlerden ilk veri çıkarılarak ilk veri için işlem sonlanır. İlk veri altındaki tüm verilerden çıkartıldıktan sonra ikinci veri ilk veride yapılan işlemler tekrar edilir. Bu işlemler sondan ikinci veriye kadar aynı şekilde uygulanır ve en son elde edilen tüm -1,0 ve 1 değerleri toplanarak S değeri bulunur.

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{Eğer } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{Eğer } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

S değeri hesaplandıktan sonra denklem 3'teki Var[S] değeri hesaplanır. Denklemdeki n değeri veri sayısını ifade ediyor. Denklemdeki  $t_j$  değeri ise tekrar eden değerlerin ne kadar tekrar ettiğini ifade ediyor. Örneğin verideki üç gözlem üç defa tekrar ediyorsa  $t_j = 3$  alınır. Bu işlem tekrar eden diğer gözlemler için de denklemde yerine konarak Var[S] değeri hesaplanmış olur.

$$\text{Var}[S] = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)\}}{18} \quad (4)$$

S ve Var[S] değerleri hesaplandıktan sonra denklem 4'e göre Z değeri hesaplanır. Elde edilen Z değerinin mutlak değeri, seçilen anlamlılık düzeyi için normal dağılımın  $Z_{\alpha/2}$  değerinden küçükse, sıfır hipotezi kabul edilir. Bu sonuç, incelenen zaman serisinde trend olmadığı anlamına gelir. Ancak, Z değerinin büyük olması durumunda trend olduğu sonucuna varılır. Eğer Z pozitif ise trend artan yönde, negatif ise azalan yönde olarak belirlenir (Yue vd., 2002).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}[S]}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}[S]}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

### 3.3. Pettitt testi

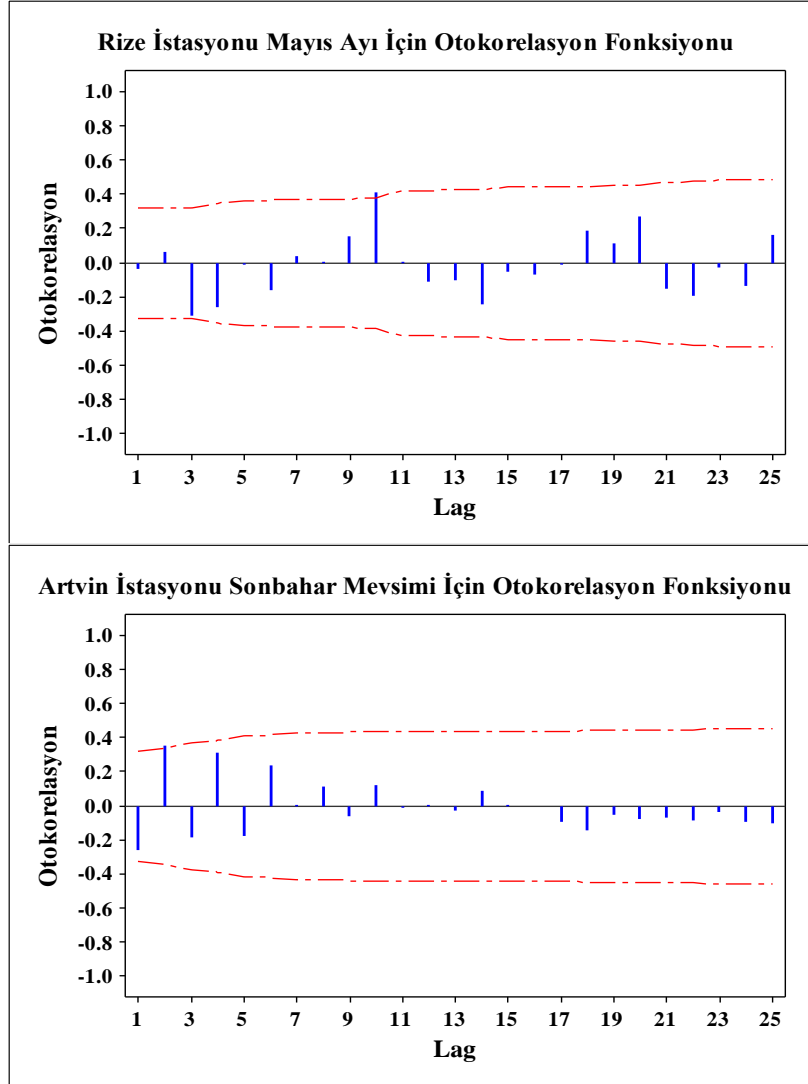
#### 3.3. Pettitt test

Bir zaman serisinde trendin varlığını tespit ettikten sonra, değişimin nerede başladığını tespit etmek de son derece önemlidir. Pettitt testi (Pettitt, 1979), belirli bir zaman serisinde yer alan ani değişimleri saptamak için sıklıkla kullanılan bir testtir. Meteorolojik parametrelerin tümünde değişim noktasının varlığını belirleyebilmek için Pettitt testi yaygın olarak uygulanmaktadır (Yılmaz, 2023). Çalışma kapsamında trend gözlenen istasyonlarda değişim noktalarını belirlemek amacıyla Pettitt testi uygulanmıştır.

## 4. Bulgular

### 4. Results

Öncelikle çalışmada kullanılan tüm istasyonların aylık, mevsimlik ve yıllık toplam yağış verilerine MINITAB programı yardımıyla otokorelasyon analizi uygulanmış ve verilerde içsel bağımlılık olup olmadığı saptanmıştır. Artvin istasyonunda Şubat ve Kasım ayları ile Sonbahar mevsimi verilerinde, Giresun istasyonunda Ağustos ayı verilerinde, Gümüşhane istasyonu Nisan ve Temmuz ayları verilerinde, Ordu istasyonu Haziran ayı ve İlkbahar mevsimi verilerinde, Rize istasyonunda ise Mayıs ve Eylül ayları verilerinde otokorelasyon değerlerinden %95 güven aralığının dışında kalan değerler gözlenmiştir. Şekil 2’de aylık ve mevsimlik verilerden otokorelasyon değeri güven aralığı dışında yer alan iki adet örnek verilmiştir.



Şekil 2. Otokorelasyon analizi sonucu içsel bağımlılık gözlenen istasyon örnekleri

Figure 2. Examples of stations with inner-dependency as a result of autocorrelation analysis

Yukarıda bahsedilen içsel bağımlılık olan istasyonların hiçbirinde, kullanılan iki yöntemde de istatistiksel olarak anlamlı bir trend gözlenmemiştir. Dolayısıyla mevcut veriler için içsel bağımlılık giderici herhangi bir yöntem uygulanmamıştır.

### 4.1. Samsun istasyonu sonuçları

#### 4.1. Samsun station results

Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre Tablo 2’de Samsun ilinin  $t$  ve  $z$  değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre Samsun ilinde her iki yöntemde de istatistiksel olarak anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Ay bazında Lineer Trend analizine göre Mart ayında anlamlı bir artış söz konusu iken

Mann-Kendall trend analizine göre Ocak ayında anlamlı bir artış söz konusudur. Her yılın verilerine göre her iki trend analizi sonucunda elde edilen  $t$  ve  $z$  değerleri neticesinde yıllık yağışta anlamlı artış eğilimi gözlemlenmiştir. Mevsimler veriler dikkate alındığında Lineer Trend analizine göre yaz ve kış mevsimlerinde anlamlı artış mevcuttur. Mann-Kendall trend analizine göre ise yalnızca kış ayında anlamlı bir artış söz konusudur.

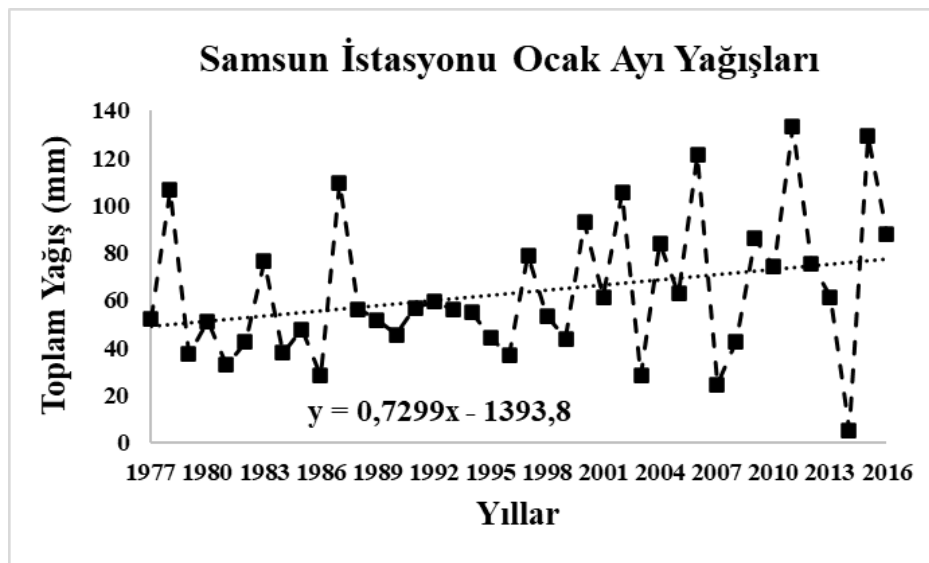
**Tablo 2.** Samsun verileri trend analizi (1977-2016)

**Table 2.** Trend analysis of samsun datas (1977-2016)

	LT $t$ değeri	Trend Evet/Hayır	MK $z$ değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	1,84	Hayır	<b>2,03**</b>	Evet
Şubat	1,45	Hayır	0,84	Hayır
Mart	<b>2,10*</b>	Evet	1,81	Hayır
Nisan	-1,05	Hayır	-0,83	Hayır
Mayıs	0,84	Hayır	0,68	Hayır
Haziran	0,75	Hayır	0,73	Hayır
Temmuz	0,99	Hayır	0,78	Hayır
Ağustos	1,51	Hayır	0,16	Hayır
Eylül	0,08	Hayır	0,02	Hayır
Ekim	-0,56	Hayır	-0,43	Hayır
Kasım	-0,69	Hayır	-0,59	Hayır
Aralık	1,71	Hayır	1,53	Hayır
Yıllık	<b>3,02*</b>	Evet	<b>2,57**</b>	Evet
İlkbahar	0,99	Hayır	0,79	Hayır
Yaz	<b>2,03*</b>	Evet	1,51	Hayır
Sonbahar	-0,85	Hayır	-0,66	Hayır
Kış	<b>2,12*</b>	Evet	<b>2,12**</b>	Evet

\* : %95 anlamlılık seviyesinde lineer trend analizi sonucu elde edilen  $t$  değeri, student-t tablosunda yer alan kritik değer olan  $\pm 2,021$  dışında olduğu için,  $H_0$  hipotezi kabul edilmemiş ve istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir değişim ortaya çıkmıştır.

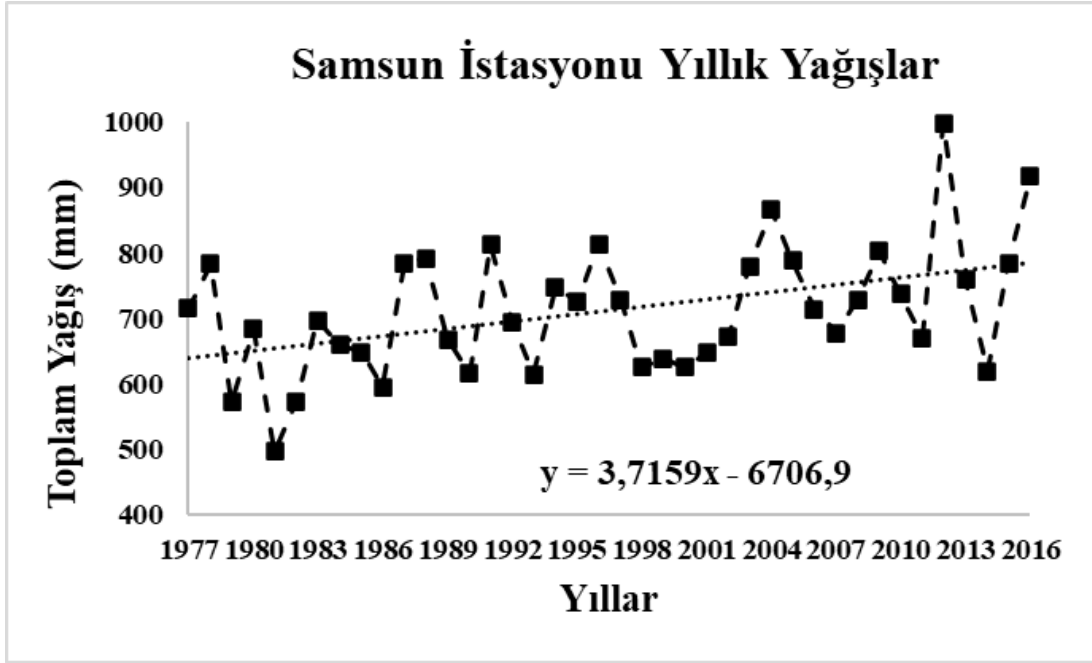
\*\* : %95 güven aralığına karşılık gelen kritik  $z$  değeri  $\pm 1,96$  dışında olduğundan  $H_0$  hipotezi kabul edilmemiş ve istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir değişim ortaya çıkmıştır.



**Şekil 3.** Samsun ocak ayı yağış grafiği (1977-2016)

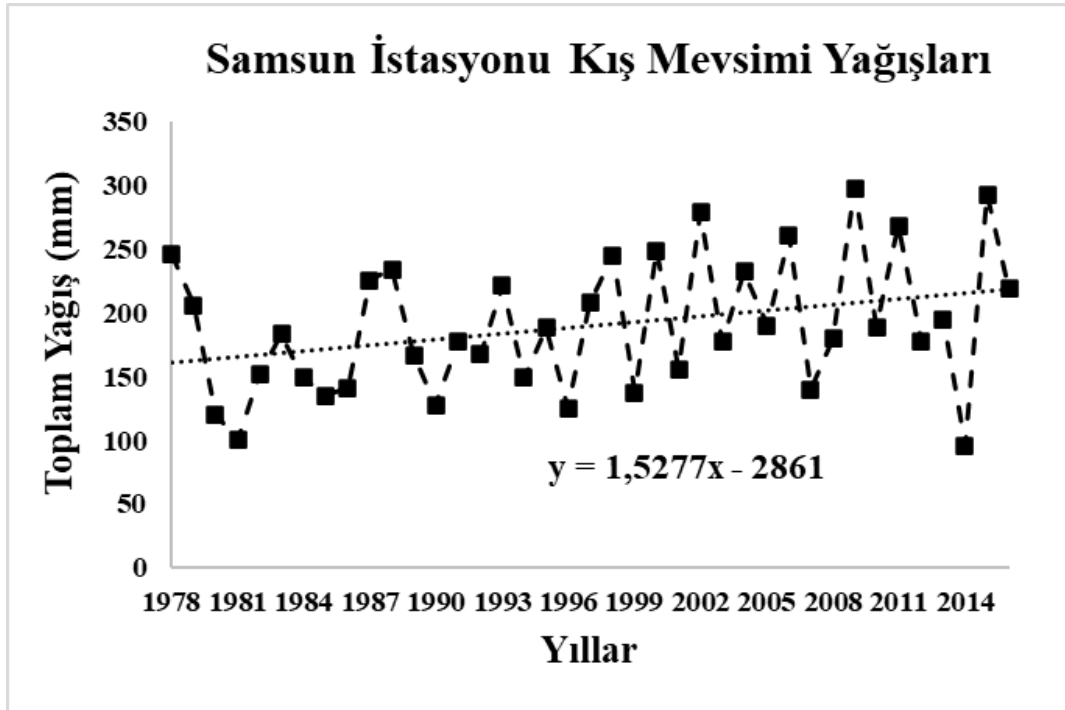
**Figure 3.** Samsun january precipitation graph (1977-2016)





Şekil 4. Samsun yıllık yağış grafiği (1977-2016)

Figure 4. Samsun annual precipitation graph (1977-2016)



Şekil 5. Samsun kış mevsimi yağış grafiği (1978-2016)

Figure 5. Samsun winter precipitation graph (1978-2016)

#### 4.2. Ordu istasyonu sonuçları

##### 4.2. Ordu station results

Linear Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizine göre Tablo 3'te Ordu ilinin  $t$  ve  $z$  değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre Ordu ilinde Nisan ayında Linear Trend analizine göre anlamlı bir azalış eğilimi gözlemlenmiştir. Mann-Kendall trend analizine göre aylık, yıllık ve mevsimsel bazda anlamlı bir değişim söz konusu değildir.

**Tablo 3.** Ordu verileri trend analizi (1977-2016)**Table 3.** Trend analysis of ordu datas (1977-2016)

	LT <i>t</i> değeri	Trend Evet/Hayır	MK <i>z</i> değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	0,72	Hayır	0,64	Hayır
Şubat	0,09	Hayır	0,20	Hayır
Mart	1,42	Hayır	1,92	Hayır
Nisan	<b>-2,42*</b>	Evet	-1,95	Hayır
Mayıs	0,55	Hayır	1,03	Hayır
Haziran	0,81	Hayır	0,38	Hayır
Temmuz	-0,23	Hayır	-0,43	Hayır
Ağustos	0,49	Hayır	0,13	Hayır
Eylül	0,84	Hayır	0,85	Hayır
Ekim	0,83	Hayır	0,65	Hayır
Kasım	-0,35	Hayır	-0,21	Hayır
Aralık	0,74	Hayır	0,86	Hayır
Yıllık	1,35	Hayır	0,80	Hayır
İlkbahar	-0,16	Hayır	-0,31	Hayır
Yaz	0,58	Hayır	0,41	Hayır
Sonbahar	0,71	Hayır	0,63	Hayır
Kış	0,43	Hayır	0,05	Hayır

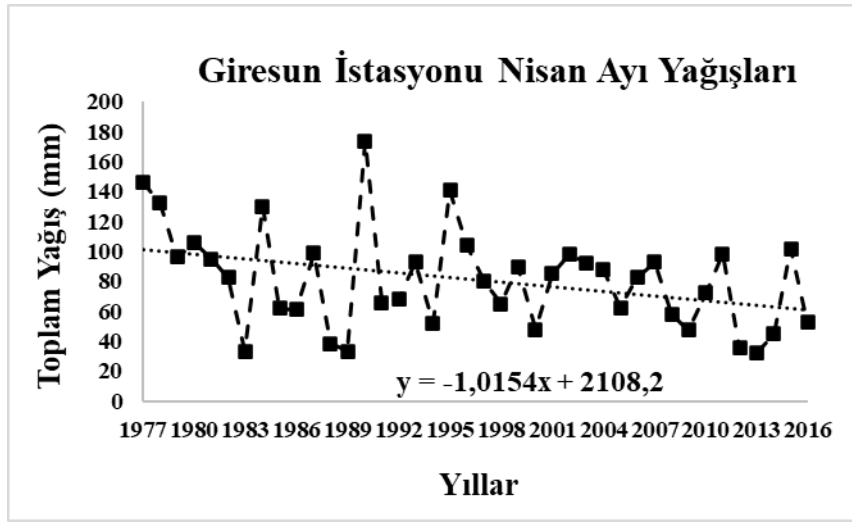
### 4.3. Giresun istasyonu sonuçları

#### 4.3. Giresun station results

Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizine göre Tablo 4'te Giresun ilinin *t* ve *z* değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre ay bazında Giresun ilinde Nisan ayında Lineer Trend analizine göre anlamlı bir azalış eğilimi ve Eylül ayında anlamlı bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Ayrıca Lineer Trend analizine göre sonbahar ve yıllık yağışlarda anlamlı artış eğilimi görülmektedir. Mann-Kendall trend analizine göre Nisan ayında anlamlı bir azalış eğilimi görülmektedir. Mann-Kendall trend analizinde tıpkı Lineer Trend analizinde olduğu gibi sonbahar yağışları ve yıllık yağışlarda anlamlı artış eğilimi görülmektedir.

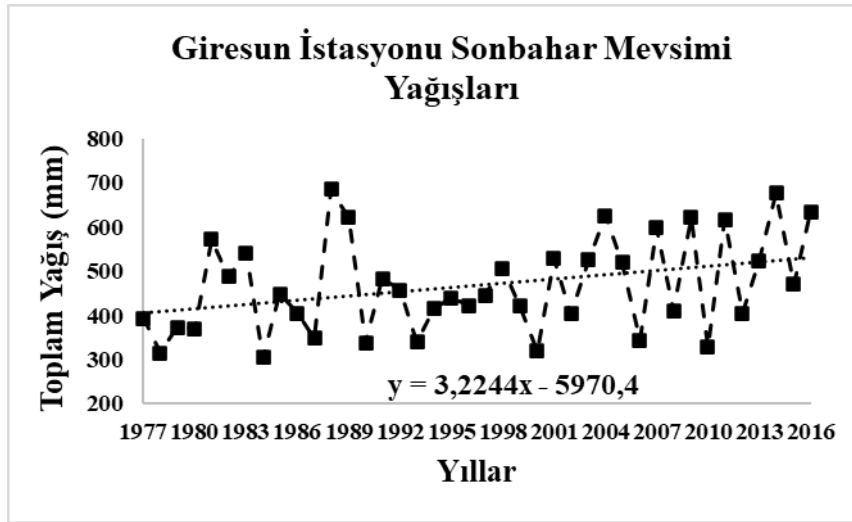
**Tablo 4.** Giresun verileri trend analizi (1977-2016)**Table 4.** Trend analysis of giresun datas (1977-2016)

	LT <i>t</i> değeri	Trend Evet/Hayır	MK <i>z</i> değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	0,77	Hayır	0,72	Hayır
Şubat	-0,16	Hayır	0,08	Hayır
Mart	0,84	Hayır	0,52	Hayır
Nisan	<b>-2,35*</b>	Evet	<b>-2,18**</b>	Evet
Mayıs	0,23	Hayır	0,17	Hayır
Haziran	0,79	Hayır	0,43	Hayır
Temmuz	0,53	Hayır	-0,20	Hayır
Ağustos	-0,74	Hayır	-0,66	Hayır
Eylül	<b>2,06*</b>	Evet	1,90	Hayır
Ekim	1,23	Hayır	1,15	Hayır
Kasım	0,16	Hayır	0,20	Hayır
Aralık	0,91	Hayır	1,04	Hayır
Yıllık	<b>2,02*</b>	Evet	<b>2,11**</b>	Evet
İlkbahar	-0,62	Hayır	-0,44	Hayır
Yaz	0,44	Hayır	0,03	Hayır
Sonbahar	<b>2,27*</b>	Evet	<b>2,09**</b>	Evet
Kış	0,49	Hayır	0,35	Hayır



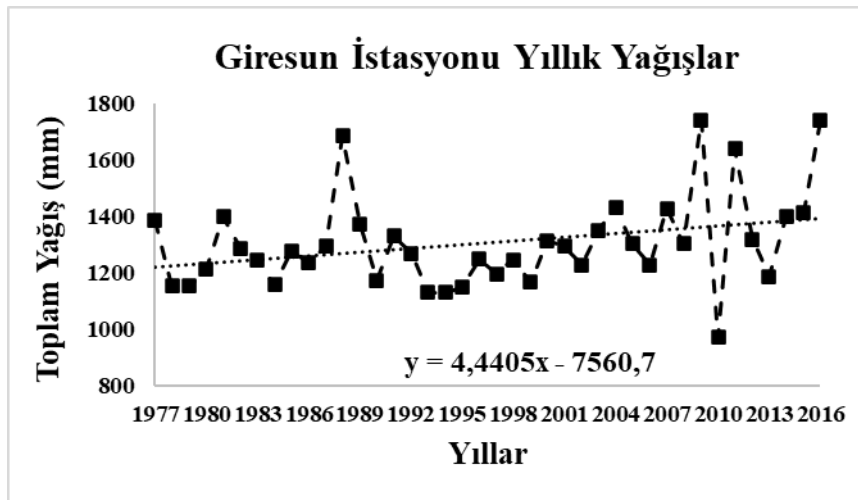
Şekil 6. Giresun nisan ayı yağış grafiği (1977-2016)

Figure 6. Giresun april precipitation graph (1977-2016)



Şekil 7. Giresun sonbahar mevsimi yağış grafiği (1977-2016)

Figure 7. Giresun autumn precipitation graph (1977-2016)



Şekil 8. Giresun yıllık yağış grafiği (1977-2016)

Figure 8. Giresun annual precipitation graph (1977-2016)

#### 4.4. Rize istasyonu sonuçları

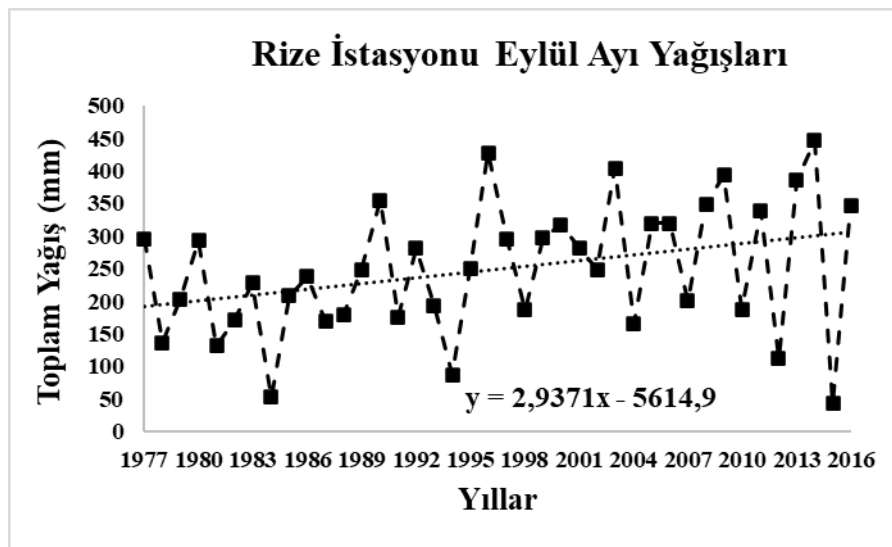
##### 4.4. Rize station results

Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizine göre Tablo 5'te Rize ilinin  $t$  ve  $z$  değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre Rize ilinde Temmuz ve Eylül ayında Lineer Trend analizine göre anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Lineer Trend analizine göre yaz yağışları ve yıllık yağışlarda anlamlı artış eğilimi görülmektedir. Mann-Kendall trend analizine göre yalnızca Eylül ayında anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Mann-Kendall trend analizine göre sonbahar yağışları ve yıllık yağışlarda anlamlı artış eğilimi görülmektedir

**Tablo 5.** Rize verileri trend analizi (1977-2016)

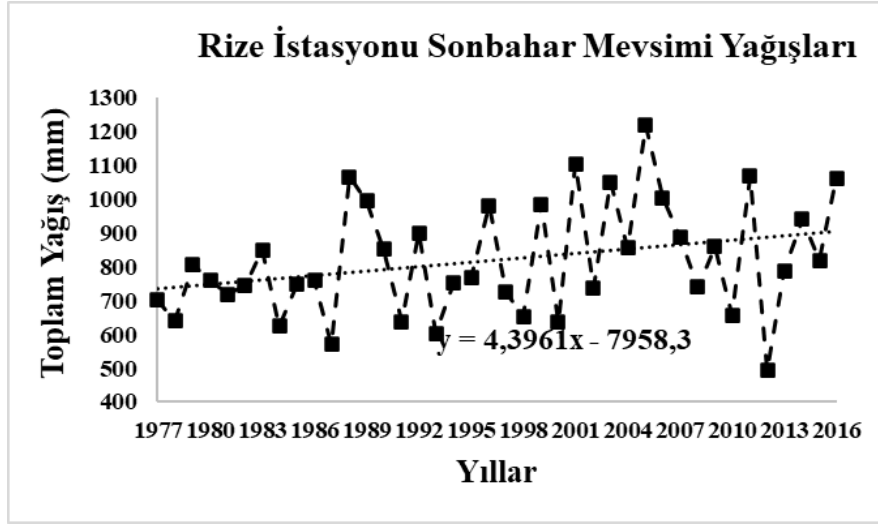
**Table 5.** Trend analysis of rize datas (1977-2016)

	LT $t$ değeri	Trend Evet/Hayır	MK $z$ değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	0,42	Hayır	0,34	Hayır
Şubat	-0,30	Hayır	0,01	Hayır
Mart	1,36	Hayır	1,39	Hayır
Nisan	-0,46	Hayır	-0,24	Hayır
Mayıs	-0,71	Hayır	-0,48	Hayır
Haziran	1,59	Hayır	1,22	Hayır
Temmuz	<b>2,11*</b>	Evet	1,69	Hayır
Ağustos	0,56	Hayır	0,48	Hayır
Eylül	<b>2,22*</b>	Evet	<b>2,55**</b>	Evet
Ekim	1,03	Hayır	0,62	Hayır
Kasım	-0,10	Hayır	-0,13	Hayır
Aralık	0,34	Hayır	0,64	Hayır
Yıllık	<b>2,78*</b>	Evet	<b>2,33**</b>	Evet
İlkbahar	0,09	Hayır	-0,15	Hayır
Yaz	<b>2,50*</b>	Evet	1,82	Hayır
Sonbahar	1,98	Hayır	<b>2,02**</b>	Evet
Kış	-0,12	Hayır	-0,31	Hayır

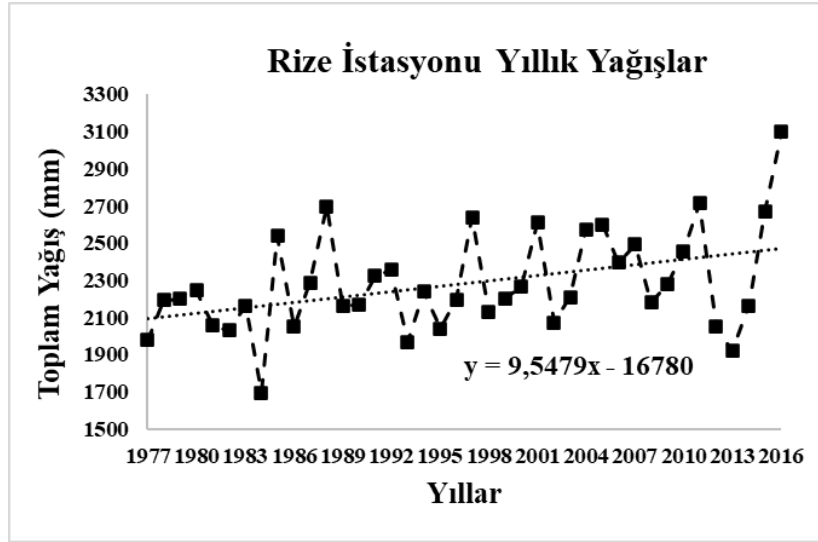


**Şekil 9.** Rize eylül ayı yağış grafiği (1977-2016)

**Figure 9.** Rize september precipitation graph (1977-2016)



Şekil 10. Rize sonbahar mevsimi yağış grafiği (1977-2016)  
Figure 10. Rize autumn precipitation graph (1977-2016)



Şekil 11. Rize yıllık yağış grafiği (1977-2016)  
Figure 11. Rize annual precipitation graph (1977-2016)

#### 4.5. Artvin istasyonu sonuçları

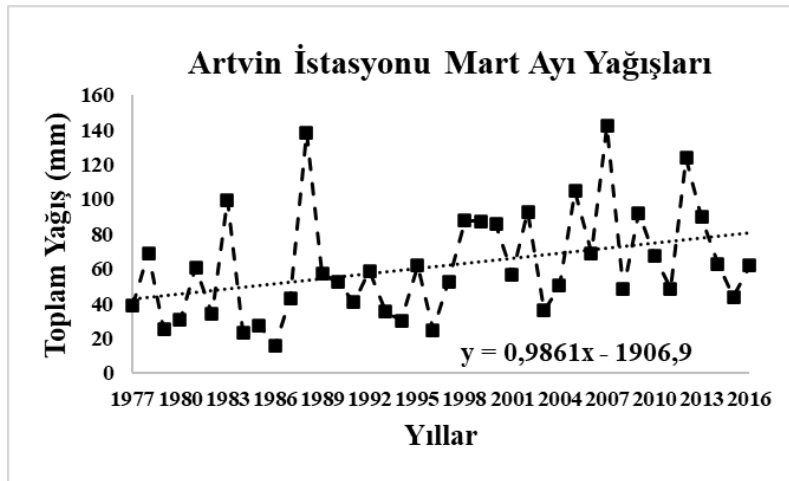
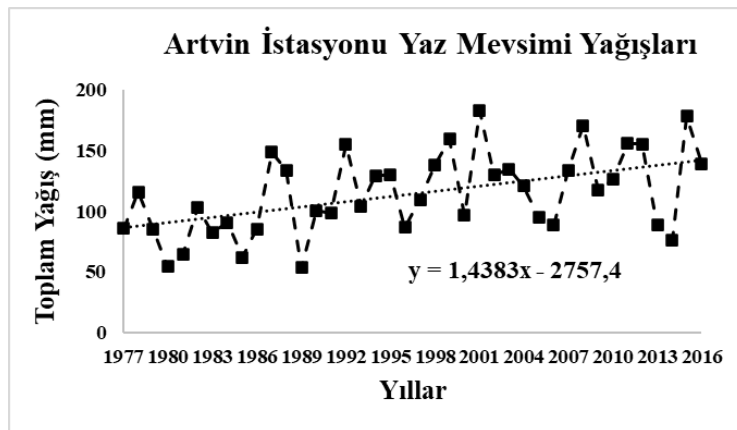
##### 4.5. Artvin station results

Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizine göre Tablo 6'da Artvin ilinin  $t$  ve  $z$  değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre Artvin ilinde Lineer Trend analizine göre Mart, Ağustos, Eylül ayında anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Lineer Trend analizine göre yaz ve sonbahar yağışlarında anlamlı artış eğilimi görülmektedir. Mann-Kendall trend analizine göre yalnızca Eylül ayında anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Mann-Kendall trend analizine göre Mart yağışları ve yaz yağışlarında anlamlı artış eğilimi görülmektedir.



**Tablo 6.** Artvin verileri trend analizi (1977-2016)**Table 6.** Trend analysis of artvin datas (1977-2016)

	LT t değeri	Trend Evet/Hayır	MK z değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	-0,82	Hayır	-0,50	Hayır
Şubat	-0,11	Hayır	-0,23	Hayır
Mart	<b>2,44*</b>	Evet	<b>2,54**</b>	Evet
Nisan	-1,05	Hayır	-1,07	Hayır
Mayıs	-0,25	Hayır	0,30	Hayır
Haziran	1,65	Hayır	0,98	Hayır
Temmuz	1,50	Hayır	1,65	Hayır
Ağustos	<b>2,22*</b>	Evet	1,93	Hayır
Eylül	<b>2,14*</b>	Evet	1,22	Hayır
Ekim	1,59	Hayır	1,57	Hayır
Kasım	0,91	Hayır	0,09	Hayır
Aralık	-1,08	Hayır	-1,28	Hayır
Yıllık	1,54	Hayır	1,76	Hayır
İlkbahar	1,06	Hayır	1,27	Hayır
Yaz	<b>3,51*</b>	Evet	<b>3,06**</b>	Evet
Sonbahar	<b>2,28*</b>	Evet	1,21	Hayır
Kış	-1,67	Hayır	-1,50	Hayır

**Şekil 12.** Artvin mart ayı yağış grafiği (1977-2016)**Figure 12.** Artvin march precipitation graph (1977-2016)**Şekil 13.** Artvin yaz mevsimi yağış grafiği (1977-2016)**Figure 13.** Artvin summer precipitation graph (1977-2016)

#### 4.6. Gümüşhane istasyonu sonuçları

##### 4.6. Gümüşhane station results

Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizine göre Tablo 7’de Gümüşhane ilinin  $t$  ve  $z$  değerleri verilmiştir. Elde edilen analiz verilerine göre her iki trend analizinde de anlamlı bir değişim görülmemiştir.

**Tablo 7.** Gümüşhane verileri trend analizi (1977-2016)

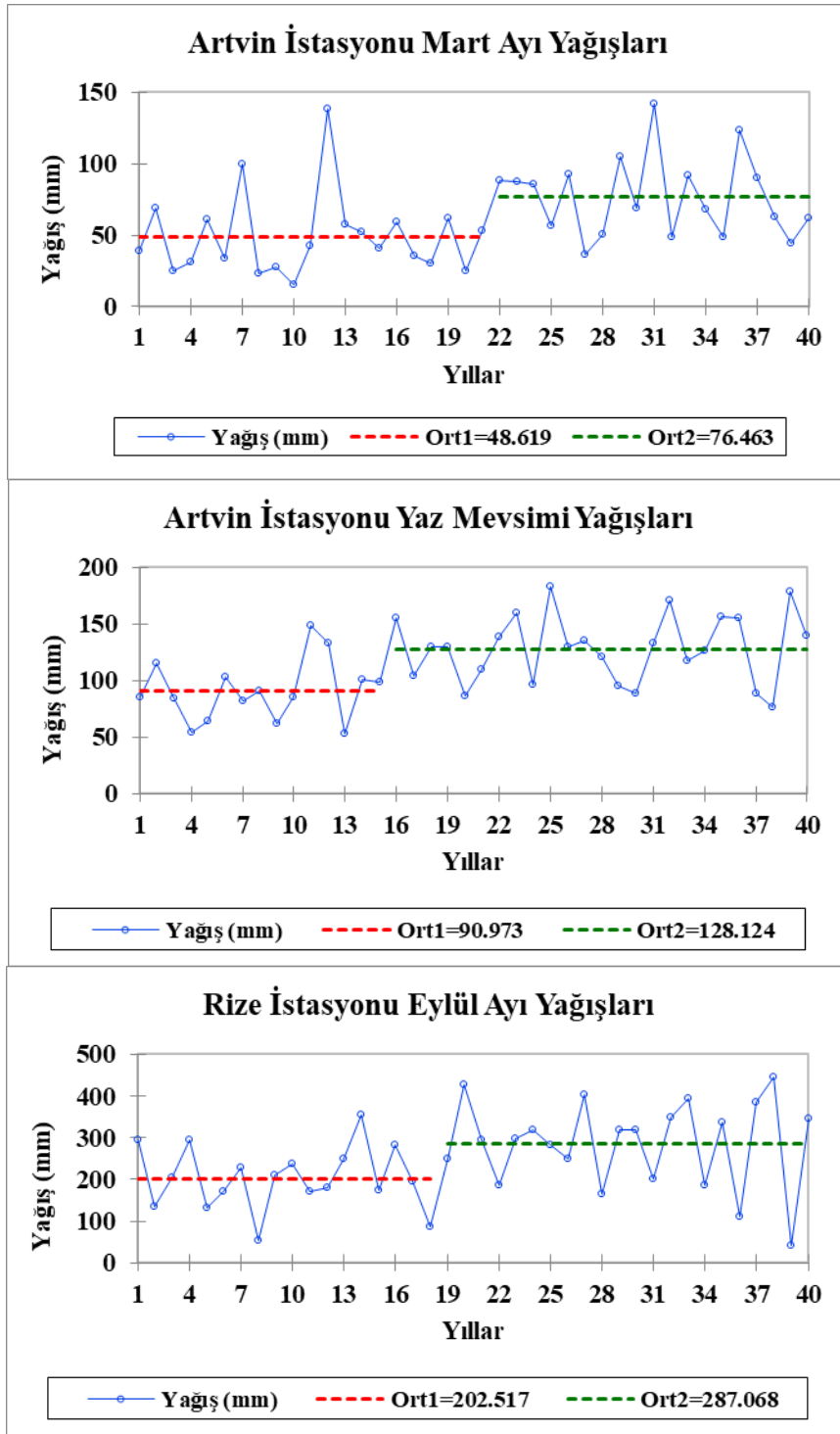
**Table 7.** Trend analysis of gümüşhane datas (1977-2016)

	LT $t$ değeri	Trend Evet/Hayır	MK $z$ değeri	Trend Evet/Hayır
Ocak	0,95	Hayır	1,11	Hayır
Şubat	0,85	Hayır	0,96	Hayır
Mart	1,51	Hayır	1,75	Hayır
Nisan	-0,07	Hayır	0,02	Hayır
Mayıs	-0,31	Hayır	-0,41	Hayır
Haziran	-0,09	Hayır	-0,10	Hayır
Temmuz	0,56	Hayır	0,70	Hayır
Ağustos	0,52	Hayır	0,29	Hayır
Eylül	1,46	Hayır	1,50	Hayır
Ekim	0,53	Hayır	0,30	Hayır
Kasım	-0,01	Hayır	-0,27	Hayır
Aralık	-1,48	Hayır	-1,40	Hayır
Yıllık	0,83	Hayır	0,71	Hayır
İlkbahar	0,43	Hayır	0,17	Hayır
Yaz	0,35	Hayır	0,34	Hayır
Sonbahar	0,79	Hayır	0,80	Hayır
Kış	-0,67	Hayır	-0,94	Hayır

#### 4.7. Trend gözlenen istasyonlarda değişim noktalarının tespiti

##### 4.7. Detection of change points in trend-observed stations

Analiz sonucunda trend gözlenen istasyonların tamamında Pettitt testi yardımıyla değişim noktalarının varlığı tespit edilmiştir. Şekil 14’ten de görülebileceği gibi, yalnızca üç adet veri setinde değişim noktalarının varlığı tespit edilmiştir. Artvin istasyonu Mart ayı yağışlarında 22. yıl itibarıyla değişim gözlenmiştir. Bu yıl da 1998 yılına karşılık gelmektedir. 1977-1997 arası dönemde yağış ortalaması 48,62 mm iken, 1998-2016 döneminde ise yağış verilerinin ortalamasının 76,46 mm olduğu görülmektedir. Artvin istasyonu Yaz mevsimi yağışları incelendiğinde ise, değişimin 16. yıl itibarıyla gözlemlendiği söylenebilir. Bu yıl da 1992 yılına karşılık gelmektedir. 1977-1991 arası dönemde yaz mevsimi yağış ortalaması 90,97 mm iken, 1992-2016 döneminde ise yağış verilerinin ortalamasının 128,12 mm olduğu görülmektedir. Rize istasyonu Eylül ayı yağışlarında ise 19. yıl itibarıyla değişim gözlenmektedir. Bu yıl da 1995 yılına karşılık gelmektedir. 1977-1994 arası dönemde yağış ortalaması 202,52 mm iken, 1995-2016 döneminde ise ortalamasının 287,07 mm olduğu görülmektedir.



**Şekil 14.** Trend gözlenen istasyonlardaki değışim noktaları  
**Figure 14.** Change points in trend-observed stations

## 5. Tartışma ve sonuçlar

### 5. Discussion and conclusions

Doğı ve Orta Karadeniz Bölgesi'nde incelenen 6 şehirde de yıllık verilerde Lineer Trend ve Mann-Kendall trend analizine göre artış gözlemlenmiştir. Her iki analizde de kıyı şehirlerinin Ordu hariç yıllık artışların tamamı istatistiksel olarak anlamlı iken Artvin, Gümüşhane ve Ordu illerindeki yıllık verilerde anlamsız bir artış gözlemlenmektedir. Veriler incelendiğinde her iki yöntemde de yıllık maksimum artış trendinin Samsun'da olduğu, minimum artış trendinin ise Gümüşhane'de olduğu gözlemlenmiştir.

Giresun ilinde Lineer Trend analizine göre gözlemlenen Eylül ayında anlamlı bir artış ( $t=2,06$ ) ve sonbahar mevsiminde de anlamlı bir artış ( $t=2,27$ ) söz konusudur. Giresun'un yıllık yağış trendi ( $t=2,02$ ) anlamlı artış yönündedir. Mann-Kendall trend analizine göre Giresun'un Mart ve Mayıs aylarında anlamsız bir artış gözlemlenirken mevsim özelinde anlamsız bir azalış gözlemlenmektedir. Bunun temel sebebi Giresun ilinin Nisan ayında anlamlı bir azalış ( $z= -2,18$ ) gözlemlenmesidir. Giresun'un yıllık yağış trendi anlamlı artış ( $z=2,11$ ) yönündedir.

Rize Lineer Trend analizine göre Temmuz ayında anlamlı bir artış ( $t=2,11$ ) gözlemlenirken aynı doğrultuda yaz mevsiminde de anlamlı bir artış ( $t=2,50$ ) mevcuttur. Rize'nin yıllık yağış trendi Mann-Kendall trend analizine göre anlamlı artış ( $z=2,33$ ) yönündedir.

Artvin'de Lineer Trend analizine göre yaz ( $t=3,51$ ) ve sonbahar ( $t=2,28$ ) mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenirken yıllık verilerde anlamsız bir artış mevcuttur. Artvin'de Mann-Kendall trend analizine göre yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) anlamlı bir artış gözlenmezken mevsim özelinde anlamlı bir artış ( $z=3,06$ ) gözlemlenmiştir.

Lineer Trend analizine göre Samsun'da Mart ayı, kış ve yaz mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenmektedir ve yıllık verilerde de anlamlı bir artış gözlemlenmektedir. Artvin'de yıllık verilerde anlamlı bir artış gözlemlenmez iken Mart, Ağustos, Eylül ayı, yaz ve sonbahar mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenmektedir. Giresun'da Nisan'da anlamlı bir azalış, Eylül'de ve sonbaharda anlamlı bir artış gözlemlenirken yıllık verilerde anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Gümüşhane ilinde anlamlı bir değişim söz konusu değildir. Ordu ilinde yalnızca Nisan ayında anlamlı azalış gözlemlenmiştir. Rize ili Temmuz, Eylül, yaz mevsimi ve yıllık verilerinde anlamlı bir artış gözlemlenmiştir.

Mann-Kendall trend analizine göre Samsun'da Ocak ayı ve kış mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenmektedir ve yıllık verilerde de anlamlı bir artış gözlemlenmektedir. Artvin'de yıllık verilerde anlamlı bir artış gözlemlenmez iken Mart ayı ve yaz mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenmektedir. Giresun'da Nisan'da anlamlı bir azalış Sonbahar da anlamlı bir artış gözlemlenirken yıllık verilerde anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Gümüşhane ilinde yıllık verilerde artış gözlemlenmiştir fakat anlamlı düzeyde değildir. Gümüşhane ili verilerinde anlamlı bir artış ya da azalış gözlemlenmemiştir. Ordu ilinde yıllık verilerde artış gözlemlenmiştir fakat anlamlı düzeyde değildir. Ordu ili verilerinde anlamlı bir artış ya da azalış gözlemlenmemiştir. Rize ilinde Eylül ayı ve sonbahar mevsiminde anlamlı bir artış gözlemlenirken yıllık verilerde de anlamlı bir artış gözlemlenmiştir.

Saplıoğlu & Çoban, (2013) tarafından yapılan ve Karadeniz Bölgesi'ndeki 1971-2010 yılları arasındaki yağış değişimlerini araştıran çalışmada bölgede bulunan 18 istasyondan elde edilen ortalama yağış verileri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda bu çalışmada incelenen istasyonlara bakıldığında Giresun, Rize ve Artvin istasyonlarında anlamlı artış; Gümüşhane, Ordu ve Samsun istasyonlarında anlamsız değişim söz konusudur. Saplıoğlu ve Çoban'ın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada yıllık verilerde Samsun ilinde anlamlı artış, Artvin ilinde anlamsız değişim bulunmuştur.

Çeribaşı & Doğan, (2015) tarafından yapılmış olan çalışmada Doğu Karadeniz Havzasında yağışlarda artış trendi gözlemlenmiştir. Çalışmada Mann-Kendall trend analizine göre Ordu, Giresun, Gümüşhane ve bu çalışmada incelenen Artvin istasyonuna yakın Hopa istasyonunda trend bulunmamıştır. Rize istasyonunda artan trend gözlemlenmiştir. Çeribaşı ve Doğan'ın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada yıllık verilerde Giresun ilinde artan trend görülmüştür.

Çeribaşı, (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Batı Karadeniz Havzasında bulunan on meteoroloji istasyonundan alınan yağış verileri Şen yöntemi ile incelendiğinde istasyonların beşinde trend bulunamazken dördünde azalan trend ve sadece birinde artış trendi gözlemlenmiştir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi incelendiğinden bu farklılık incelenen veri bölgelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Yılmaz vd., (2021) tarafından 1960-2016 yılları arasındaki verilerle %95 güven aralığında gerçekleştirilen çalışmada Modifiye Mann-Kendall yöntemine göre yıllık yağış trend analizine göre Giresun, Rize, Artvin ve Gümüşhane illerinde anlamlı artış eğilimi gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada yıllık yağış trend analizine göre Giresun ve Rize illerinde anlamlı artış eğilimi gözlemlenmiştir. Yılmaz vd.'nin toplam yağışlara ait aylık sonuçları incelendiğinde Giresun ilinde Ekim, Rize ilinde Eylül ve Ekim, Gümüşhane ilinde Temmuz ve Eylül

ayında anlamlı artış eğilimi gözlemlenirken Rize ilinde ise ay bazında anlamlı eğilim gözlemlenmemiştir. Yapılan bu çalışmada Giresun Nisan ayında anlamlı azalış eğimi, Artvin Mart ve Rize Eylül ayında anlamlı artış eğilimi göstermiştir.

Doğu ve Orta Karadeniz bölgesinde çalışmaya konu olan 6 il merkezindeki meteoroloji istasyonlarının yıllık yağış verileri Lineer Trend analizi ve Mann-Kendall trend analizi sonucu artış eğilimindedir. Artış olan 6 il merkezinin meteorolojik verilerinin üçünde her iki yöntemde de anlamlı bir artış görülmektedir. Doğu Karadeniz bölgesinde yapılan benzer çalışmalarda da yıllık yağış trendinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Samsun, Rize ve Giresun illerinde her iki yöntemde de görülen anlamlı artış trendi nedeniyle bu üç ilin gelecek dönemlerde daha fazla yağış alabileceği öngörülmektedir. Bu öngörü beraberinde Karadeniz bölgesinde sık sık görülen sel ve taşkın olaylarının gerçekleşme riskini arttırmaktadır. Yapılan bu çalışma sonucu öncelikli olarak taşkın önleme çalışmalarının planlanması, tasarımı ve mevcut kaynakların kullanımının önemini göz önüne sermektedir. Bu sayede can ve mal güvenliğini sağlamak önemli derecede mümkün olabilir.

### **Teşekkür / Katkı belirtme**

#### *Acknowledgement*

Kullanılan verilerin temini sayesinde çalışmanın gerçekleşmesini mümkün kılan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) personeline teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkürü bir borç biliriz.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Berfin ÖĞ: Literatür araştırması, trendlerin yorumlanması, makale yazımı.

Tamer GÜRER: Verilerin düzenlenmesi, Mann-Kendall testi, materyal ve metod bölümünün yazılması.

Serhat CENGİZ: Verilerin düzenlenmesi, Mann-Kendall testi, grafiklerin elde edilmesi.

Ahmet ÖZTÜRK: Grafiklerin yorumlanması, tartışma yazılması, sonuçların yorumlanması.

Eda TURAN: Literatür araştırması, kaynakların yazımı, sonuçların yorumlanması.

Evren ÖZGÜR: Lineer trend testi, değişim noktalarının tespiti ve sonuçların yorumlanması.

### **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*

Aksu, H., Aksoy, H., Çetin, M., Alsenjar, O., Yıldız, S. G., & Yıldırım, I. (2022). Doğu karadeniz’de yağışta meydana gelen değişimler ve gelecekteki değişim beklentileri. *11. Uluslararası Hidroloji Kongresi* (ss. 34-39.). Gaziantep.

Çeribaşı, G., & Doğan, E. (2015). Karadeniz ve sakarya havzalarında yıllık ortalama yağışların trend analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 7(1), 1-7.

Çeribaşı, G. (2018). Batı karadeniz havzası’nın yağış verilerinin yenilikçi şen yöntemi ile analizi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 6(3), 168-173. <https://doi.org/10.21541/apjes.431965>

Dalkılıç, H. Y. (2019). Yağışların trend analizi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(3), 1537-1549. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.587610>

- Demir, V. (2018). *Karadeniz bölgesi yağışlarının trend analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı].
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf)
- Kankal, M., & Akçay, F., (2018). Trabzon ili yağışlarının eğilim analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 318-331. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.448542>
- Nemli, M. Ö. (2017). *Doğu karadeniz bölgesi'nde yıllık maksimum yağışların trend analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Özkoca, T. (2015). *Orta karadeniz bölgesi kıyı illerinin hidrometeorolojik parametrelerinin trend analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı].
- Özgür, E. (2013). *Kar yağışlı gün sayılarının toplam yağışlı gün sayılarına oranının yıllık ve bölgesel trend analizi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Özgür, E., & Koçak, K. (2019). Climatology of snowfall/total precipitation days over Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 2487–2495. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-02753-0>
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem, *Journal of the Royal Society: Series C (Applied Statistics)*, 28, 126-135
- Polat, P., & Sunkar, M., (2017). Rize'nin iklim özellikleri ve rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(1), 1-24. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.346684>
- Saplıoğlu, K., & Çoban, E. (2013). Karadeniz yağış serilerinin trend analizi. *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi* (ss. 500-512), Isparta.
- Tatlı, H., Dalfes, H. N., & Mentés, Ş. S. (2004) A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology*, 24, 161–180. <https://doi.org/10.1002/joc.997>
- Tatlı, H., & Mentés, Ş. S. (2019) Detrended cross-correlation patterns between north atlantic oscillation and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 387–397. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02827-7>
- Tekin, M. K., Tatlı, H., & Koç, T. (2021) Climate classification in turkey: a case study evaluating holdridge life zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 661–674. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03565-5>
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107-1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- Vaheddoost, B. (2020). A comparison of several methods in tracking short-term trends associated with the precipitation time series. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(1), 153-168. DOI: 10.17482/uumfd.656175
- Yılmaz, C., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2021). Doğu karadeniz bölgesi meteorolojik parametrelerinin trend analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 489-496. <https://doi.org/10.31590/ejosat.916018>
- Yılmaz, M. U. (2023). Keşif kuraklık indeksi ve standartlaştırılmış yağış indeksi kullanılarak kırklareli ilinde kuraklığın eğilimi ve zamansal değişkenliği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 341-364. <https://doi.org/10.21324/dacd.1296428>
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the mann-kendall and spermann's rho tests for detecting monotonic trends in hydrologic series, *Journal of Hydrology*, 259, 254-271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)



## Buckling analysis of perforated square plates with different oriented various shaped polygon holes

*Farklı açılardaki çeşitli çokgen delikli kare plakların burkulma analizi*

Mustafa Halûk SARAÇOĞLU\*<sup>1</sup> , Fethullah USLU<sup>2</sup> , Uğur ALBAYRAK<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir

• Received: 20.07.2023

• Accepted: 03.11.2023

### Abstract

Buckling of the plates is of great importance in design of structures. If the plate has a hole because of necessity, hole area and shape also affect the critical buckling loads. In this study, buckling analyses of perforated simply supported square plates with various perforation patterns and different loading types were investigated. Three different perforation patterns as circular, hexagonal and square with different orientations were considered. In order to investigate the slenderness ratio effect, samples were calculated with three different ratio values of 100, 20 and 10. The samples were loaded with four different in-plane loads to examine the effect of loading type. Analyses were performed by using a general purpose finite element program and critical buckling loads were determined depending on the orientation angles for square plate models with different hole perforations. The critical buckling load is independent from the orientation angle for circular perforated plates but depends on for hexagonal and square hole perforations. For these plates buckling analyses were performed for different orientation angles of 0 degrees to 90 degrees. The results show that the calculated critical buckling loads did not remain the same although the hole areas were the same.

**Keywords:** Buckling analysis, Hexagonal hole, Orientation angle, Perforated plates

### Öz

Plakların burkulması, yapıların tasarımında büyük önem taşımaktadır. Plakta zorunlu olarak bir delik olması gerekiyorsa, delik alanı ve şekli de kritik burkulma yüklerini etkileyecektir. Bu çalışmada, çeşitli delik şekillerine ve farklı yükleme tiplerine sahip delikli basit mesnetli kare plakaların burkulma analizleri incelenmiştir. Farklı dönme açılına sahip dairesel, altıgen ve kare olmak üzere üç farklı delik şekli modeli dikkate alınmıştır. Narinlik oranı etkisini araştırmak için ise örnekler 100, 20 ve 10 olmak üzere üç farklı narinlik oranı değeri ile hesaplanmıştır. Yükleme tipinin etkisini incelemek için numuneler dört farklı düzlem içi yük ile yüklenmiştir. Analizler genel amaçlı bir sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve farklı çokgen deliklere sahip kare plak modelleri için dönme açılına bağlı olarak kritik burkulma yükleri belirlenmiştir. Kritik burkulma yükü, dairesel delikli plakalar için dönme açısından bağımsızdır, ancak altıgen ve kare delikli delikler için bağımlı olacaktır. Bu plaklar için 0 dereceden 90 dereceye kadar farklı dönme açıları için burkulma analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, delik alanları aynı olmasına rağmen hesaplanan kritik burkulma yüklerinin aynı kalmadığını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Burkulma analizi, Altıgen delik, Dönme açısı, Delikli plak

\*Mustafa Halûk SARAÇOĞLU; mhaluk.saracoglu@dpu.edu.tr

## 1. Introduction

In structural design, buckling analyses have an important aspect. Holes of different sizes and different geometries can be constructed in the plates in case of necessity. These holes in the perforated plate change the stiffness of the plate. This change will affect the stress distribution and also the buckling failure mode of the plate.

Many studies on perforated plates have been made and published. Timoshenko and Woinowsky-Krieger (Timoshenko & Woinowsky-Krieger, 1959) presented the differential equation and solution for axially loaded plate in their work, which is used as the basic book in all plate studies. Brown et al (Brown et al., 1987) investigated the stability of plates with rectangular holes. In their study different loadings and different boundary conditions considered. Albayrak and Saraçoğlu (Albayrak & Saraçoğlu, 2018) studied about perforated thin plates with various hole patterns which are simply supported on all its boundaries. They performed the plates on various models systematically by number, diameter and location of holes. At the end of the study, they find out the optimum hole pattern for circular perforated plates by using APDL codes based on Finite Element Method. Chow and Narayanan (Chow & Narayanan, 1984) studied the elastic buckling behavior of simply and fixed supported square plates containing holes. In their study, the position and size of the square and circular holes on the plate were taken as parameters and experimental results were compared with the results obtained by the computational methods. Guo and Yao (Guo & Yao, 2021) studied buckling behavior of perforated thin plates. They presented the buckling coefficients of perforated plates with rectangular or circular holes by using the extensive parametric study results obtained by finite element method. Saraçoğlu et al (Saraçoğlu et al., 2021) employed a computational model for perforated thin steel square plates bearing uniformly distributed loads that have simply and fixed supported boundary conditions in their study. Dehadray et al (Dehadray et al., 2021) investigated the critical buckling loads for square aluminum and steel square plates with rectangular cut-outs for simply supported boundary conditions in their study. The results are calculated for different parameters as thickness, aspect ratio and variation in orientation of cut-out. Silveira et al (Silveira et al., 2021) applied the constructal design method for investigating the numerical analysis of biaxial buckling of perforated rectangular steel plates. Jayabalan et al (Jayabalan et al., 2022) used different techniques for estimating the buckling coefficients of steel plates with central cutouts. They compared the results obtained by using various techniques from the literature as Evolutionary Polynomial Regression, Artificial Neural Network and Gene Expression Programming. Qablan (Al Qablan, 2022) created formulations for thermal and axially in-plane loaded perforated plates with different boundary conditions in his study. Kharchenko (Kharchenko et al., 2022) et al determined the durability of sieves with different types of holes in their study. They used different hole shapes like triangular and analyzed the problems by using the finite element method based software and experimental data. Karakaya (Karakaya, 2022) investigate the mechanical behavior of linear and staggered arranged circle, triangle, square, hexagon, and ellipse perforated stainless steel and aluminum sheets under tensile loading by finite element analysis in his study. Uslu et al (Uslu et al., 2022) investigate the critical buckling loads of simply supported uniaxially loaded square thin plates with central square and circular holes in terms of some parameters. Fu and Wang (Fu & Wang, 2022) developed a new semi-analytical modelling technique to calculate the critical buckling load of perforated plates with opposite free edges. Perforated plates with central circular holes were discussed as case studies and the results were compared with those obtained from finite element method. Al Qablan et al (Al Qablan et al., 2022) developed a closed-form semi-empirical formula for calculating a critical buckling load for perforated composite panels. They interested in simply and clamped supported composite circular perforated plates subjected to uniaxial and biaxial loadings in their study. Baumgardt et al (Baumgardt et al., 2023) developed a model in their study and simulated the mechanical behavior of plates under uniaxial and biaxial in-plane loadings. They also examined the perforated plates with different hole geometries such as circle, square, and rectangle perforations.

Since the geometry of the circle, which we can define as a polygon consisting of an infinite number of edges, is symmetrical, it will give the same geometry no matter what angle it rotates around its center point. This case will not apply to polygons with a different number of edges. Especially in perforated plates that are subjected to in-plane forces such as uniaxial or biaxial buckling loads, the internal forces occurring in the structural element will differ depending on the orientation angle around the center of the polygon hole. In this study effects of the orientation angle of different polygon holes as square and hexagon on critical buckling loads for square plates are investigated. Though there have also been numerous studies on analyses of plates with holes, few are seen in open literature on plates with different hole shapes from circular, rectangular and square.

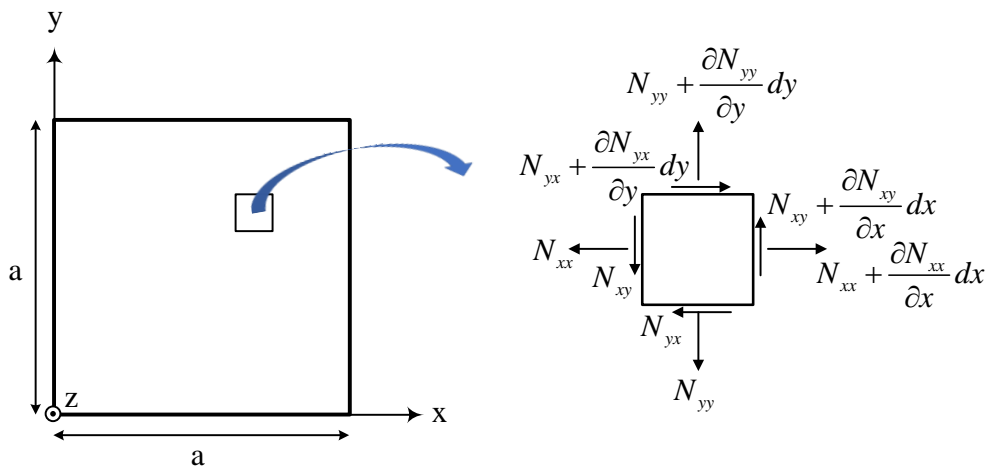
Different from the usual shapes, an investigation of hexagonal perforated plates was also carried out in this study.

## 2. Material and method

Thin plates can be subjected to axial compressive loads acting on the plate midplane. Such loads can cause buckling of the plate under certain conditions. In practical applications buckling of the plates is of great importance. Plate thickness is a parameter that directly affects the critical buckling load. If the plate thickness is low, the critical buckling load will be less depending on the thickness. The buckling analysis of plates has very important in the analysis of structures.

When the axial compressive loads acting on the plate exceed the critical buckling value, very large lateral deflections will occur in the plate. Because of this loading, very large bending stresses will occur and eventually, the plate will not be able to carry the load and will collapse.

As the plate equilibrium goes from a stable configuration to unstable configuration, it will pass through the neutral state of equilibrium, which is a boundary state. In mathematical expressions of the plate buckling problems, the neutral state of equilibrium can be obtained from the deformations. The critical buckling load that can be applied to the plate can be defined as the smallest possible load that causes it to pass from the neutral state of equilibrium to the unstable state. The purpose of buckling analyses in plates is to determine these critical buckling loads.



**Figure 1.** Stress resultants of a differential element in a plate

The corresponding in-plane stress resultants  $N_{xx}$ ,  $N_{yy}$  and  $N_{xy}$  can be found from the solution of the plane stress problem for a given plate geometry and in-plane external loading in the initial equilibrium state of a plate subjected to external edge loads acting on the midplane of the plate (Figure 1). When the vertical equilibrium equation in z direction is written in a differential element by using these expressions, the governing differential equation in the linear buckling analysis of the plate is obtained as in Equation (1).

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{1}{D} \left( N_{xx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_{yy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

In this expression,  $N_{xx}$ ,  $N_{yy}$  and  $N_{xy}$  are in-plane stress resultants. D defines the bending stiffness of the isotropic plate which has h thickness, E modulus of elasticity and  $\nu$  Poisson's ratio as in Equation (2).

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

To calculate the critical buckling load, this homogeneous partial differential equation needs to be solved with appropriate boundary conditions. Simply support boundary conditions for a square plate can be defined as in Equation (3).

$$w = 0 \Big|_{x=0,a} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \Big|_{x=0,a} \quad w = 0 \Big|_{y=0,a} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \Big|_{y=0,a} \quad (3)$$

If the buckling load is uniaxial, the governing differential equation becomes as in Equation (4).

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) - \left( N_{xx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (4)$$

This constant coefficient linear partial differential equation can be solved by converting it into a two-harmonic equation. The solution of this expression that satisfies the simple support boundary conditions can be defined by the expression of infinite series as in Equation (5).

$$\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ D \pi^4 \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) - q_x \pi^2 \frac{m^2}{a^2} \right] w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} = 0 \quad (5)$$

One possible solution of this expression can be obtained by setting the quantity in square brackets to zero as in Equation (6).

$$\left[ D \pi^4 \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) - q_x \pi^2 \frac{m^2}{a^2} \right] = 0 \quad (6)$$

From this equation load  $q_x$  can be calculated as in Equation (7).

$$q_x = \frac{\pi^2 D}{b^2} \left( \frac{mb}{a} + \frac{n^2 a}{mb^2} \right)^2 \quad (7)$$

This expression gives all values of  $q_x$  corresponding to  $m = 1, 2, 3, \dots$  and  $n = 1, 2, 3, \dots$  as possible forms of the deflected surface of the plate. The smallest value of these values is the critical one and can be obtained for  $n = 1$  as in Equation (8).

$$N_{xx} = \frac{\pi^2 D}{b^2} \left( \frac{mb}{a} + \frac{a}{mb^2} \right)^2 \quad (8)$$

This value depends only on the aspect ratio of the plate for a known  $m$  value. From this equation the elastic critical stress of a simply supported square plates can be calculated as in Equations (9) and (10) (Bryan, 1891; Guo & Yao, 2021).

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 D}{hb^2} \left( \frac{mb}{a} + \frac{a}{mb} \right)^2 \quad (9)$$

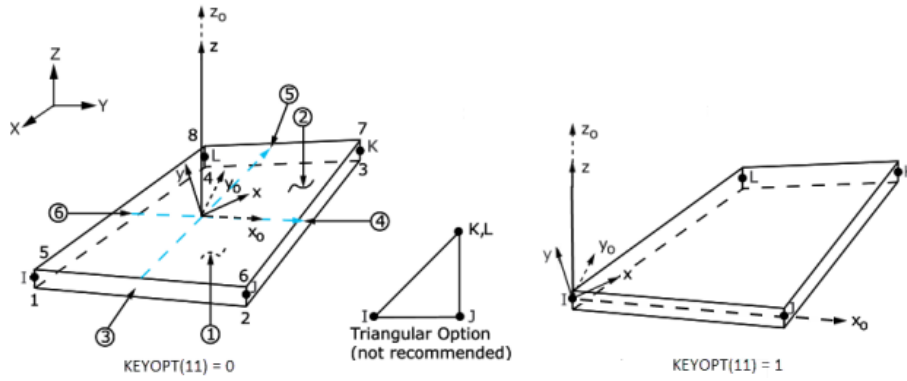
$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(a/h)^2} = k \frac{\pi^2 D}{a^2 h} \quad (10)$$

In this equation  $k$  is the plate buckling coefficient. If  $D$  is the plate flexural rigidity (Timoshenko, & Woinowsky-Krieger, 1959), plate buckling coefficient can be expressed as in Equation (11).

$$k = \sigma_{cr} \frac{a^2 h}{\pi^2 D} \quad \text{or} \quad k = \frac{a^2}{\pi^2 D} N_{cr} \tag{11}$$

These problems solved by using the finite element package program ANSYS (Swanson Analysis System Inc., 2005).

In this computational study, SHELL 181 element, as shown in Figure 2, has been selected from the finite element software program library. This element has 4 nodes. Each node has 6 degrees of freedom. These freedoms are translations and rotations in 3 axes (x-y-z)



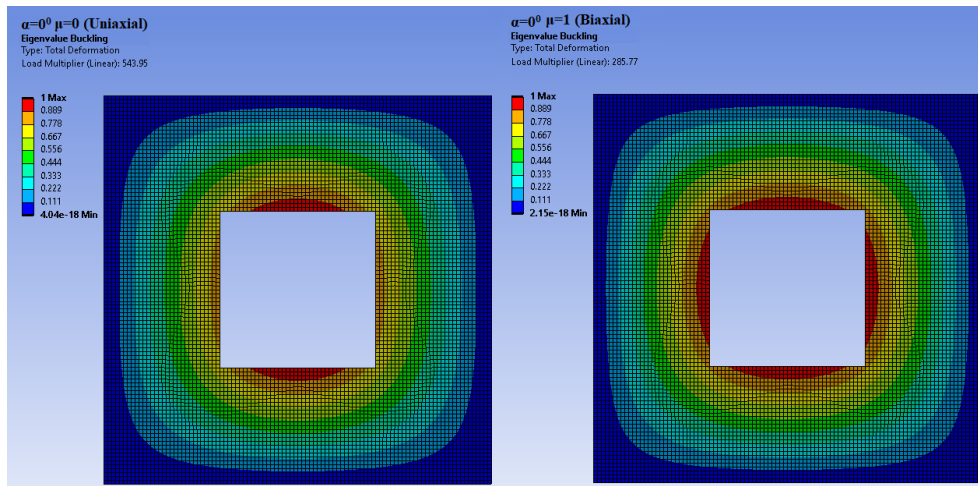
**Figure 2.** SHELL181 finite element of ANSYS program (Swanson Analysis System Inc., 2005)

In computational mechanics mesh convergence effects, the accuracy of problem results. For determining the correct finite element mesh density different finite element frequencies created for the analyzed plate models and different results are obtained. From the mesh convergence study, it was observed that the difference between the results was negligible if the mesh spacing was below 10 mm. The mesh spacing was chosen as 10 mm so that the calculation results do not deviate from the exact value and the analysis time does not prolong too much.

### 2.1. Verification of models

For the purpose of verification of the models, the critical buckling loads of the square hole perforated plate taken from the literature were analyzed by using finite element software for uniaxial and biaxial cases. For this purpose, the results obtained by finite element method are compared to those results given by literature (Chow & Narayanan, 1984). The buckling coefficient is calculated as in the derived equation before.

As an example, the contour plots of the total deformation of perforated square plates with square holes with a/h=100 slenderness ratios under uniaxial and biaxial loadings are shown in Figure 3.



**Figure 3.** Contour plots of total deformations for square perforated plates (a/h=100)

The buckling coefficients obtained by the finite element for the simply supported square plates with square holes with different thickness and the corresponding values obtained from Chow and Narayanan (Chow & Narayanan, 1984) are listed in Table 1. Length of square steel plate is taken as 1000 mm. A square hole is perforated, in the middle of the square plate, and the one length of the square hole was taken as 500mm which is half of the square plate length.

**Table 1.** Comparison of square hole perforated plates with reference.

Loading	a/h	$N_{cr}^{FE}$ (N/mm)	$k^{FE}$	$N_{cr}^{(Cho.\&Nar.)}$ (N/mm)	$k^{(Cho.\&Nar.)}$	$k^{Dif.\%}$	$N_{cr}^{Dif.\%}$
Uniaxial	100	543.95	3.01	547.45	3.03	-0.64	-0.64
	20	65825.56	2.91	68431.31	3.03	-3.81	-3.81
	10	495490.38	2.74	547450.58	3.03	-9.49	-9.49
Biaxial	100	285.77	1.58	283.08	1.57	0.95	0.95
	20	34970.74	1.55	35385.01	1.57	-1.17	-1.17
	10	268876.74	1.49	283080.09	1.57	-5.02	-5.02

Difference% values are calculated by the  $\left(\frac{FE - Ref}{Ref}\right) \times 100$  formula. It can be seen from the Table 1 that the loads and buckling coefficients obtained from finite element method and numerical results from literature did not differ by more than 9.49%. These comparative results prove that the finite element method models presented in this study are sufficiently accurate. In the reference study, results were obtained for only one plate within the thin plate assumptions. All of the plates with different slenderness ratios considered in this study are within the thin plate assumptions. Therefore, comparisons were made with the same reference values in the table.

### 3. Examples

#### 3.1. Material properties

The example plates were assumed to be made of isotropic structural steel whose material properties are defined as modulus of elasticity (E) is 200000MPa and Poisson's ratio ( $\nu$ ) is 0.3.

#### 3.2. Geometry

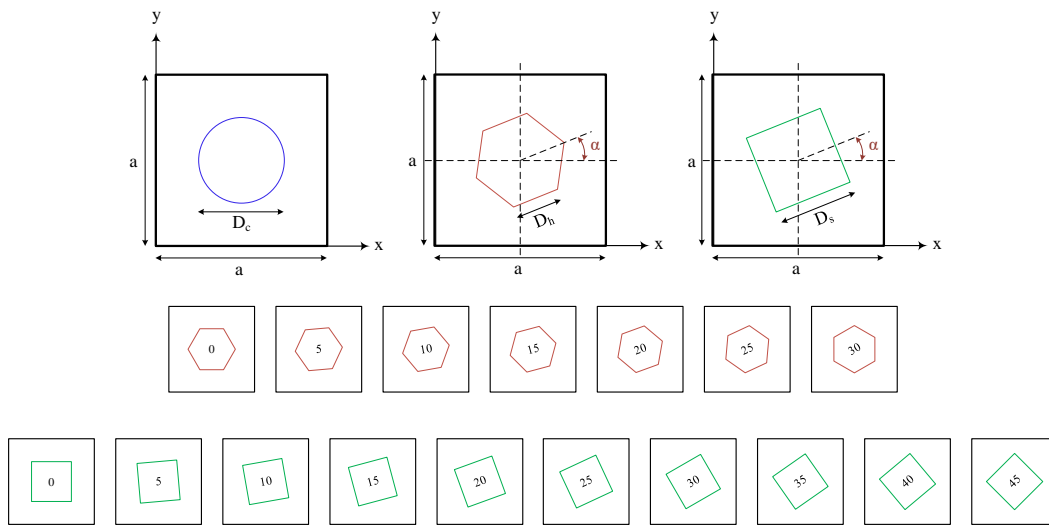
Three different hole shape as circular, hexagonal and square are considered. The geometry of the perforations can be of the shape of a circle, a hexagonal or a square polygon which are at the center of the square plate. The geometry of the square plates considered in this study is described in Figure 4 with the length and width of a. In all examples, the open area percentage is the same. The perforated plate with hexagonal holes is taken as a reference. The hole sizes of the other two plates were calculated based on the percentage of open area of the hexagonal perforated plate. In the perforated plate with a hexagonal hole, the length of one side of the hexagonal hole is one quarter of the edge of the plate as 250 mm.

A schematic image of the geometry of the square plates with all three different geometric perforations in the middle of the plates are demonstrated in Figure 4. In this figure, location of the hole, and the edges of the hole can be seen and compared exactly among them. The orientation angle  $\alpha$  is also illustrated in Figure 4. The orientation angle  $\alpha$  can be defined as the angle between the lower edge axis of the plate and the lower edge axis of the hole.

In practice, circular perforated plates are widely used. The geometry of the square plate with the circular perforation in the middle of the plate with diameter  $D_c$  is demonstrated in Figure 4. The critical buckling loads of the plates consisting of different orientation angles of the circular hole in the center of the plate will be the same as expected. So that only one model has been evaluated as shown in Figure 4.

The geometry of the square plate with the hexagonal perforation in the middle of the plate with length of the edge  $D_h$  is demonstrated in Figure 4. By rotating the hexagonal hole in the center of the plate, models were created between the orientation angle of 0 and 30 degrees.





**Figure 4.** Square plate models with different hole perforations and orientations

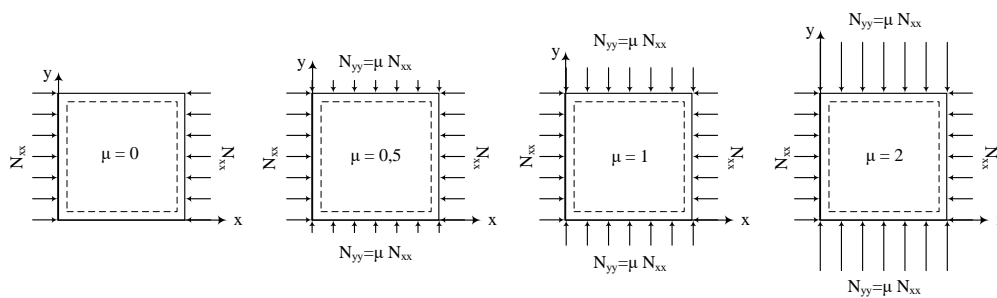
After the angle of 30 degrees there is a symmetry in the geometry. So that by increasing the orientation angle five by five, seven different models were evaluated as shown in Figure 4.

The geometry of the square plate with the square perforation in the middle of the plate with length of the edge  $D_s$  is demonstrated in Figure 4. By rotating the square hole in the center of the plate, models were created between the orientation angle of 0 and 45 degrees. After the angle of 45 degrees there is a symmetry in the geometry. So that by increasing the orientation angle five by five, ten different models were evaluated as shown in Figure 4.

### 3.3. Loads

Simply supported square plates with a central hole subjected to different in-plane loads are investigated. For this purpose,  $N_{xx}$  load on the perpendicular sides of the square plate to the  $x$ -axis ( $x=0$  and  $x=a$ ) and  $N_{yy}$  load on the sides perpendicular to the  $y$ -axis ( $y=0$  and  $y=a$ ) are defined. There is a relation between the applied  $N_{xx}$  and  $N_{yy}$  buckling loads with the constant  $\mu$  as  $N_{yy} = \mu N_{xx}$ . In example problems different values of  $\mu$  (0, 0.5, 1, 2) is considered. When the value of the coefficient  $\mu$  is 0, problems will be uniaxially loaded, and when the value of the coefficient  $\mu$  is 1, problems will be the bi axially loaded.

For different four values of  $\mu$  as shown in Figure 5 critical buckling loads of perforated simply supported square plates are investigated.



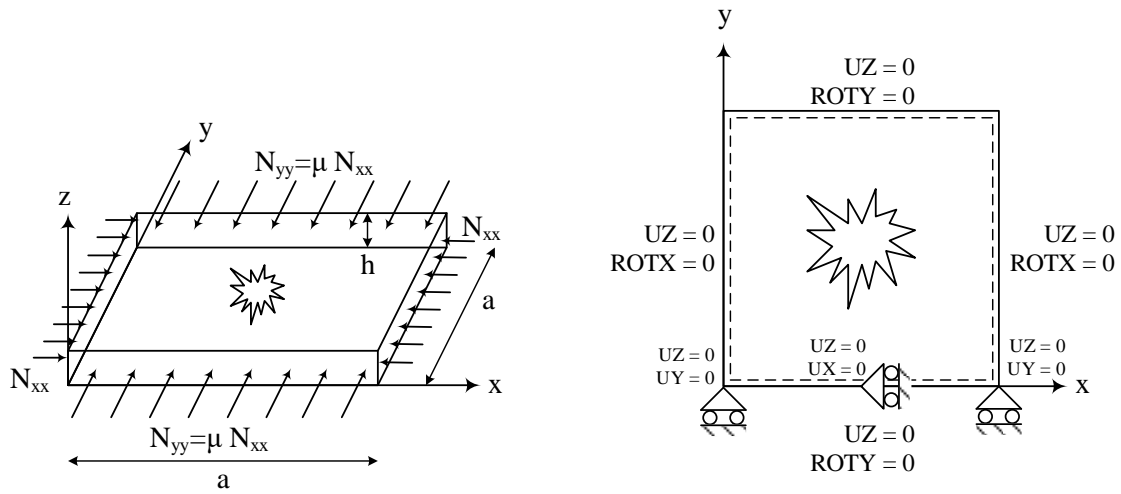
**Figure 5.** Loading types of perforated plates

### 3.4. Boundary conditions

All four edges of the perforated square plates considered in this study are simply supported. Such a boundary condition can be defined by no vertical displacements at the plate edges and zero slopes perpendicular to the plate edges. For this purpose, in the analysis program, on the perpendicular sides of the square plate to the  $x$ -axis ( $x=0$  and  $x=a$ ) UZ and ROTX, on the sides perpendicular to the  $y$ -axis ( $y=0$  and  $y=a$ ) UZ and ROTY are

restrained. And also, at the corner points of the plate (0,0) and (a,0) UZ and UY displacements, at the midpoint of the  $y=0$  edge ( $a/2,0$ ) UZ and UX displacements were restrained for the stability of the in-plane loaded plate.

Geometry and boundary conditions for different hole perforations illustrated in Figure 6



**Figure 6.** Geometry and boundary conditions of square plate models with different hole perforations

#### 4. Results and discussion

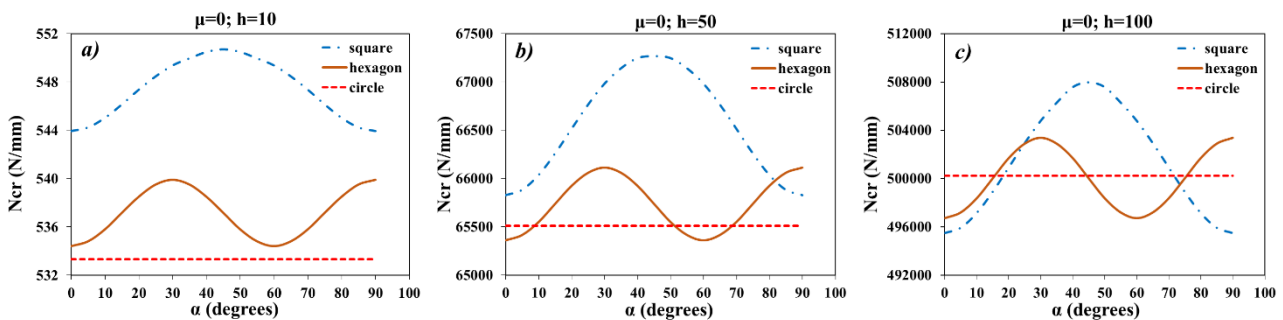
In this section, results on the effect of plate slenderness ratio and hole orientation angle on the critical buckling loads of different shaped perforated simply supported square plates subjected to buckling loads for different biaxial load ratios ( $\mu = N_{yy} / N_{xx}$ ) are presented and discussed. All plate examples conform to Kirchoff-Love thin plate theory assumptions. In this investigation, a general purpose finite element program has used to calculate the critical buckling load of perforated plates.

##### 4.1. Effect of slenderness ratio

The effect of slenderness ratio on the critical buckling loads of different oriented perforated plates are investigated. For this purpose, three different  $h$  thickness (10mm, 50mm, 100mm) considered for constant  $a$  length (1000mm) simply supported square plates.

When the slenderness ratio decreases the critical buckling loads were increases for all types of perforated square plates. The critical buckling loads are the same for circular perforated plates for all orientation angles as expected.

For uniaxial ( $\mu=0$ ) loaded perforated plates critical buckling loads vs orientation angles are plotted in Figure 7 with slenderness ratios 100, 20 and 10 respectively.



**Figure 7.** Uniaxial ( $\mu=0$ ) critical buckling loads vs orientation angles for square plate models with different hole perforations (a)  $a/h=100$  (b)  $a/h=20$  (c)  $a/h=10$

In the square perforated plates, it is seen that as the hole orientation increases from 0 to 45 degrees, the critical buckling load also increases regardless of the slenderness ratios. When the orientation angle is 45 degrees in square perforated plates, the critical buckling load is the maximum. Between the 45 to 90 degrees of orientation angle, the critical buckling loads symmetrically decreases, and a frequency occurs between 0 and 90 degrees of orientation angle.

In the hexagonal perforated plates, it is seen that as the hole orientation increases from 0 to 30 degrees, the critical buckling load also increases regardless of the slenderness ratios. When the orientation angle is 30 degrees in hexagonal perforated plates, the critical buckling load is the maximum. Between the 30 to 60 degrees of orientation angle, the critical buckling loads symmetrically decreases, and a frequency occurs between 0 and 60 degrees of orientation angle.

When the slenderness ratio decreases and plates become thicker, the critical buckling loads become closer to each other for the same orientation angles. For the slenderness ratio  $a/h=100$ , the critical buckling loads are ordered from highest to lowest as square, hexagonal and circular perforated plates, respectively. However, when the slenderness ratio decreases this order changes.

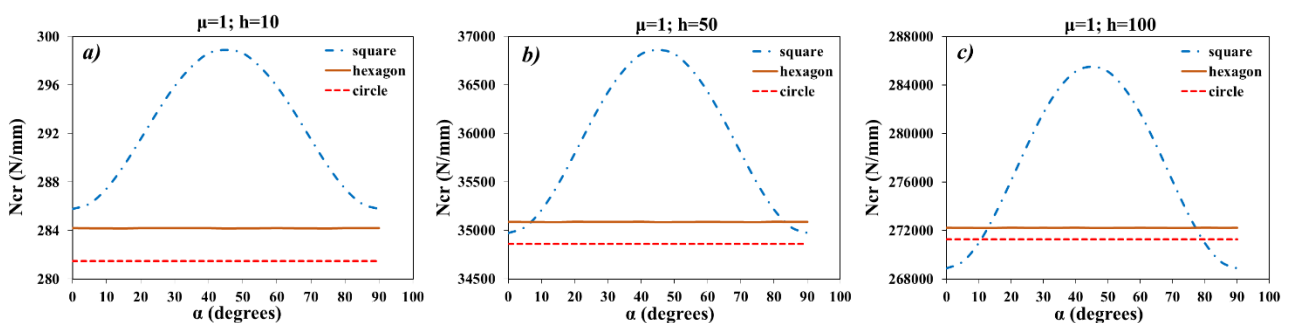
For the slenderness ratio  $a/h=20$ , the critical buckling loads for circular perforated plates are higher than the hexagonal perforated plates between 0 to 10 and 50 to 70 degrees of orientation angle. Between 80 to 90 degrees of orientation angle the critical buckling loads for hexagonal perforated plates are higher than the square perforated plates.

For the slenderness ratio  $a/h=10$ , the critical buckling loads for circular perforated plates are higher than the hexagonal and square perforated plates between 0 to 15, higher than the hexagonal perforated plates between 45 to 75 and higher than the square perforated plates between 75 to 90 degrees of orientation angle. Between 0 to 20 and 75 to 90 degrees of orientation angle the critical buckling loads for hexagonal perforated plates are higher than the square perforated plates.

Perforated plates considered in this study were also subjected to compression biaxial loads as uniaxial loads. For biaxial ( $\mu=1$ ) loaded perforated plates critical buckling loads vs orientation angles are plotted in Figure 8 with slenderness ratios 100, 20 and 10 respectively.

In biaxial loading, the critical buckling loads are the same for circular perforated plates for all orientation angles and approximately same for hexagonal perforated plates.

For the slenderness ratio  $a/h=100$ , the critical buckling loads are ordered from highest to lowest as square, hexagonal and circular perforated plates, respectively. However, when the slenderness ratio decreases this order changes.



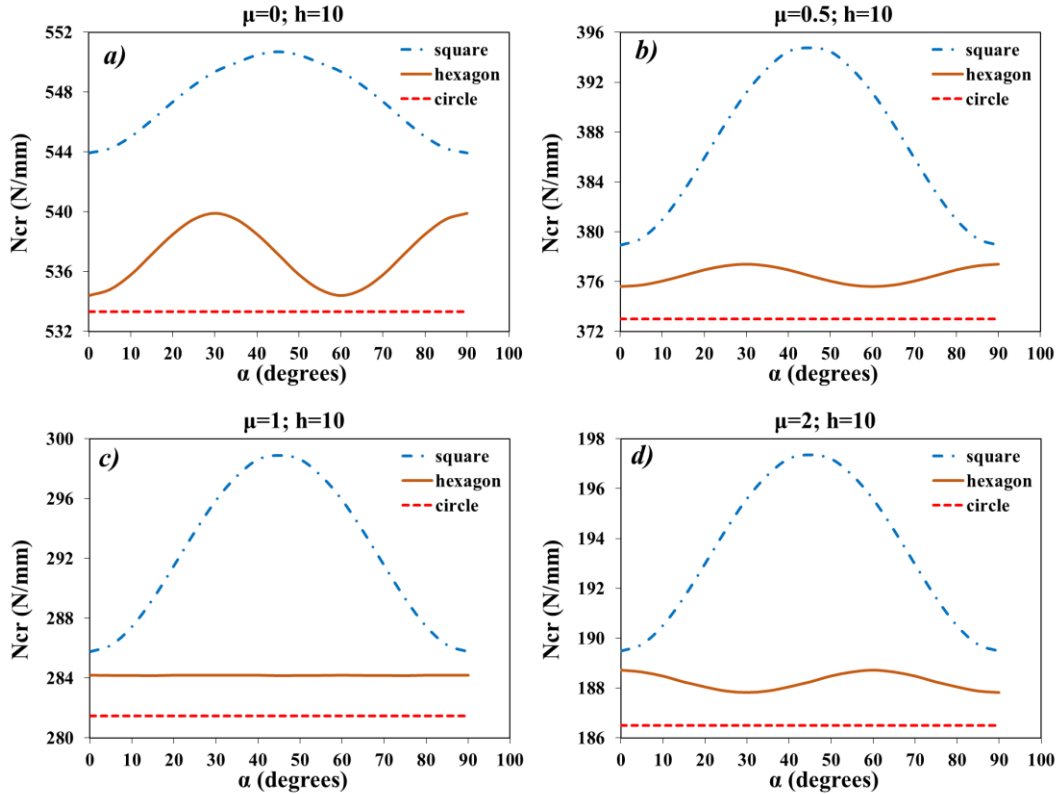
**Figure 8.** Biaxial ( $\mu=1$ ) critical buckling loads vs orientation angles for square plate models with different hole perforations (a)  $a/h=100$  (b)  $a/h=20$  (c)  $a/h=10$

For the slenderness ratio  $a/h=20$ , the critical buckling loads for circular perforated plates are the lowest. Between 0 to 10 and 80 to 90 degrees of orientation angle the critical buckling loads for hexagonal perforated plates are higher than the square perforated plates.

For the slenderness ratio  $a/h=10$ , the critical buckling loads for circular and hexagonal perforated plates are higher than the square perforated plates between 0 to 10 and 80 to 90 degrees of orientation angle. The critical buckling loads for hexagonal perforated plates are higher than the circular perforated plates.

#### 4.2. Effect of loading type

As an example, critical buckling loads vs orientation angles for square plate models with different loading types for slenderness ratio  $a/h=100$  is shown in Figure 9.



**Figure 9.** Critical buckling loads vs orientation angles for square plate models with different loading types ( $a/h=100$ ) a)  $\mu=0$  b)  $\mu=0.5$  c)  $\mu=1$  d)  $\mu=2$

When the load factor  $\mu$  increases the critical buckling loads decrease. In all cases the critical buckling loads are ordered from highest to lowest as square, hexagonal and circular perforated plates, respectively. The frequency explained before between 0 to 90 degrees of orientation angle can be observed clearly in the critical buckling loads vs orientation angles diagram for square perforated plates.

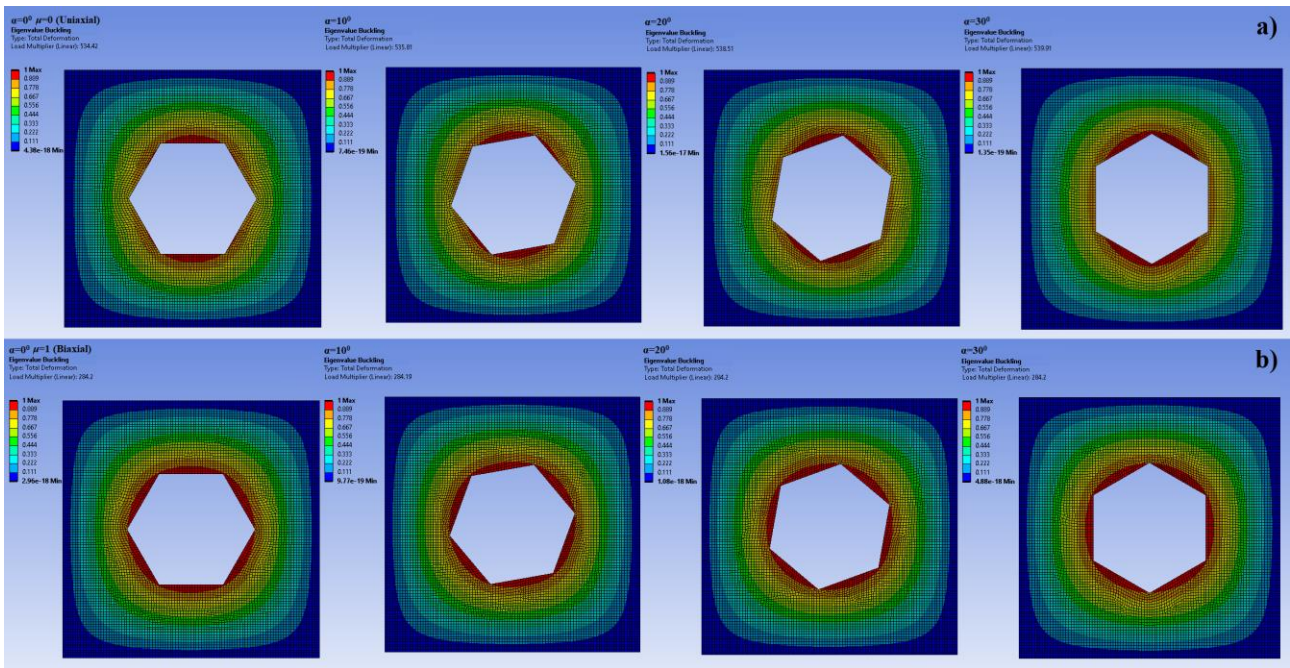
The frequency between 0 and 60 degrees of orientation angle can be seen for hexagonal perforated plates for load factor  $\mu=0$  and  $\mu=0.5$ . for load factor  $\mu=2$ , in-plane loads in y axis is higher than in x axis. Therefore, the frequency in the diagram takes place inversely.

As a result of analyses, some example drawings shown below. In these drawings uniaxial ( $\mu=0$ ) and biaxial ( $\mu=1$ ) loaded simply supported thin plates have  $a/h=100$  slenderness ratio is considered. For hexagonal perforated plates, four of seven models are selected as an arrangement changed from a horizontal one to a vertical one, whose orientation angles  $\alpha$  are 0, 10, 20, and 30 respectively.

A similar case exists for perforated plates with square holes. For square perforated plates, four of ten models are selected as an arrangement changed from a horizontal one to a vertical one, whose orientation angles  $\alpha$  are 0, 15, 30, and 45 respectively.

The contour plots of total deformations of four of seven different hexagonal perforated plates are given in Figure 10 as an example.

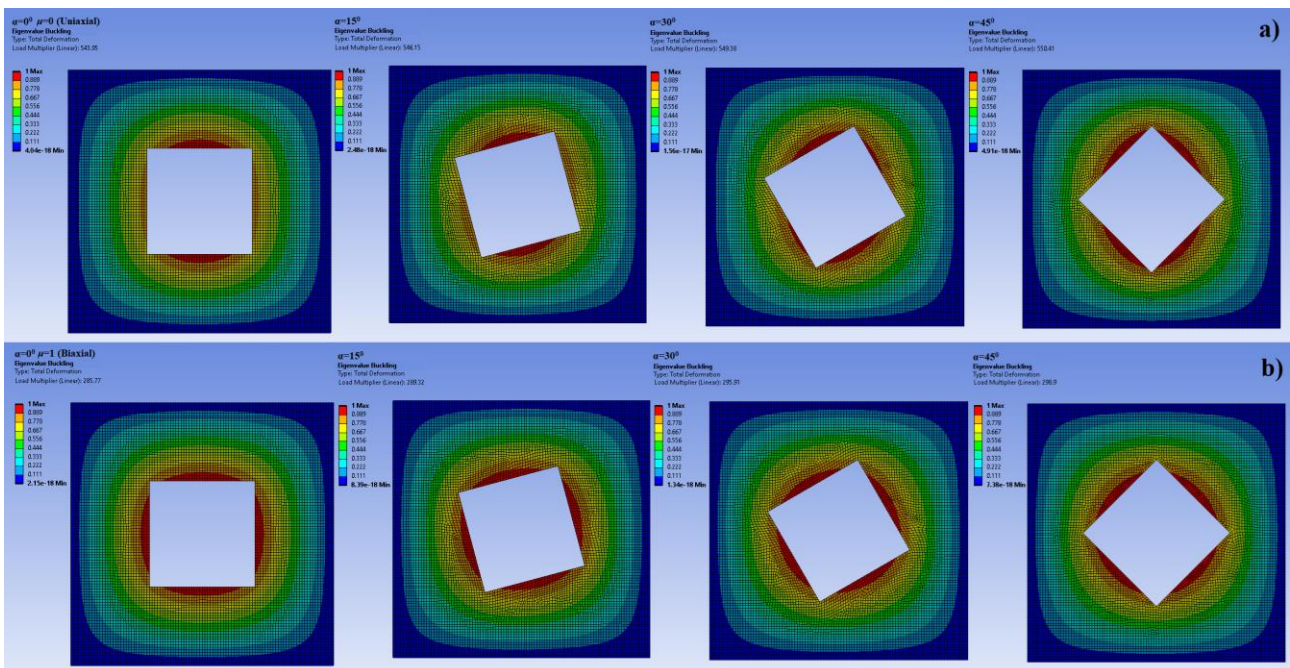




**Figure 10.** Contour plots of total deformations for hexagonal perforated plates with (a) uniaxial and (b) biaxial loading types ( $a/h=100$ )

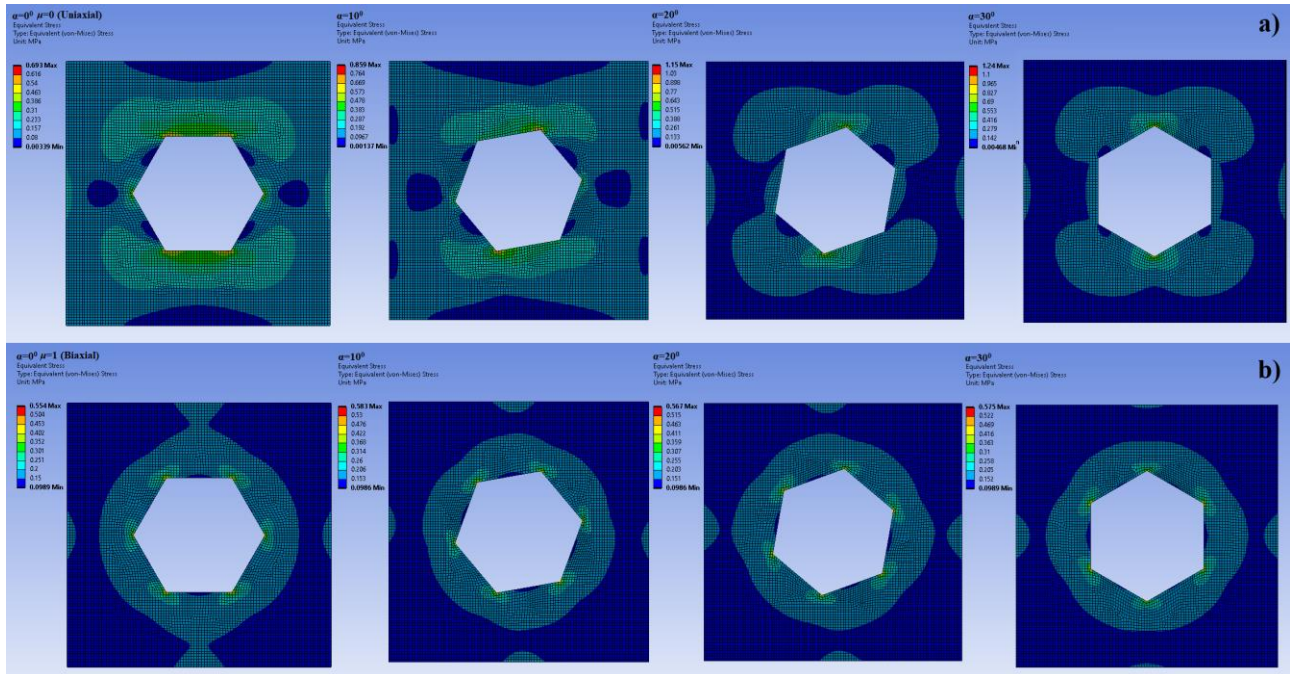
Results of these performed buckling analyses also show the distribution of the total deformations in the hexagonal perforated square thin plate obtained as a result of the buckling mode analysis. Generally, the maximum deformation should be seen in the regions surrounding the hexagonal holes. The critical buckling loads calculated in the case of biaxial loadings are approximately half of those calculated in the case of uniaxial loadings. In hexagonal perforated plates under uniaxial loading, the regions with the highest total deformations are the hole edges parallel to the  $x=0$  and  $x=a$  edges, where the axial load is not loaded. On the other hand, in hexagonal perforated plates under biaxial loading, it is seen that the highest total deformation regions are distributed to all sides of the hole.

The contour plots of total deformations of four of ten different square perforated plates are given in Figure 11 as an example.



**Figure 11.** Contour plots of total deformations for square perforated plates with (a) uniaxial and (b) biaxial loading types ( $a/h=100$ )

Similar to perforated plates with hexagonal holes in perforated plates with square holes the maximum deformation should be seen generally in the regions surrounding the holes. The critical buckling loads of square perforated plates under bi axial loadings are approximately half of the plates under uniaxial loadings. In square perforated plates under uniaxial loading, the regions with the highest total deformations are the hole edges parallel to the  $x=0$  and  $x=a$  edges, where the axial load is not loaded. On the other hand, in square perforated plates under biaxial loading, it is seen that the highest total deformation regions are distributed to all sides of the hole.



**Figure 12.** Von Mises stress of (a) uniaxial and (b) biaxial loaded hexagonal perforated plates with slenderness ratio of  $a/h=100$

The contour plots for Von Mises stress of four models of hexagonal perforated plates with orientation angles 0, 10, 20, and 30 degrees are given in Figure 12.

In uniaxial loaded hexagonal perforated plates stresses were condensed in surrounding the hole edges parallel to  $x$  axes. In biaxial loaded hexagonal perforated plates stresses were distributed all around the hole edges.

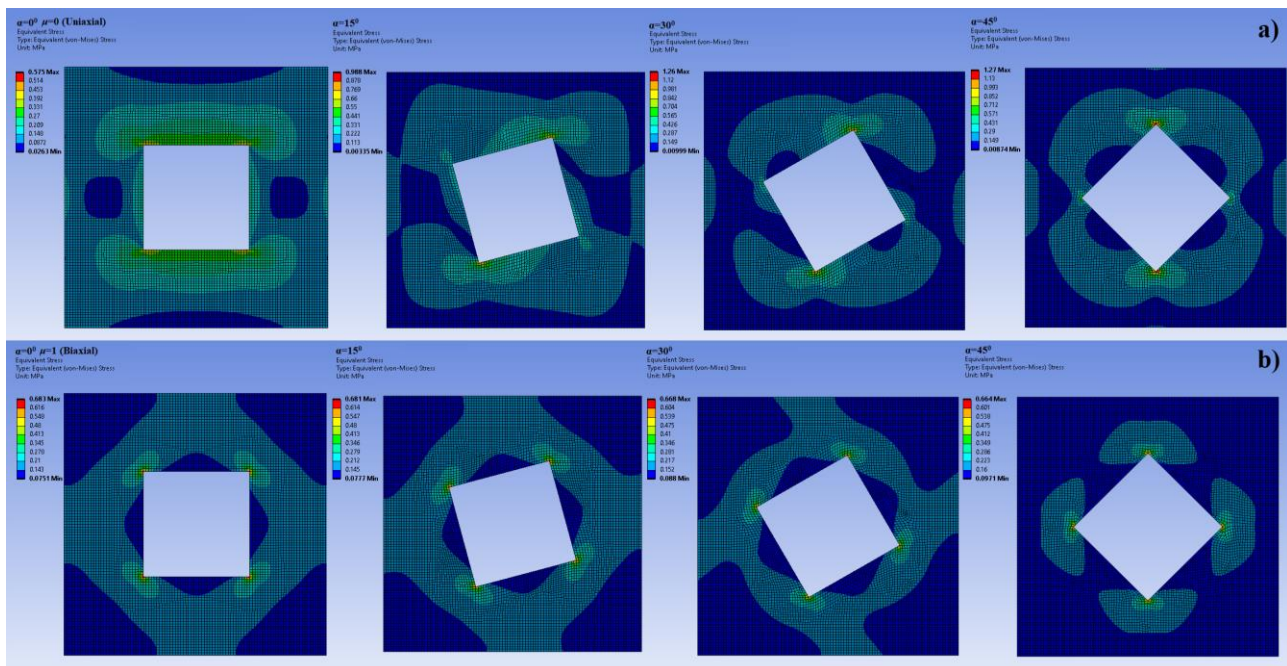
The contour plots for Von Mises stress of four models of square perforated plates with orientation angles 0, 10, 20, and 30 degrees are given in Figure 13.

In uniaxial loaded square perforated plates stresses were condensed in surrounding the hole edges parallel to  $x$  axes. In biaxial loaded square perforated plates, especially at the corners of the square hole stresses were distributed all around the hole edges.

## 5. Conclusion

In this study, the buckling behavior of simply supported perforated plates with different hole orientation angles was investigated. For determining the critical buckling loads different types of loads as uniaxial and biaxial in-plane compressive loads are affected. Square plates subjected to in-plane compressive load  $N_x$  in the edges of the square plate parallel to  $y$  axis were examined as uniaxial loading. For investigating the biaxial buckling loads of perforated simply supported square plates, in addition to the  $N_x$  load acting on the plate sides parallel to the  $y$  axis, a load equal to  $\mu$  times the  $N_x$  load was applied to the sides parallel to the  $x$  axis. The constant  $\mu$ , which shows how many times the buckling load  $N_x$  load acting on the plate edges parallel to the  $x$  axis was considered as 0, 0.5, 1 and 2.





**Figure 13.** Von Mises stress of (a) uniaxial and (b) biaxial loaded square perforated plates with slenderness ratio of  $a/h=100$

The slenderness ratio is a parameter on buckling of perforated simply supported square plates. Three different slenderness ratios are considered in examples as 10, 50, and 100. The results obtained about the slenderness ratio can be summarized as follows:

- When the slenderness ratio decreases the critical buckling loads were increases.
- It is observed from the results that the slenderness ratio does not affect the corresponding increase of critical buckling load with the increase of hole orientation.
- As the slenderness ratio decreases, the critical buckling loads for the same orientation angles converge.
- The change in slenderness ratio affects the critical buckling load sequence obtained for hole types.

Perforated plates in the study have one hole in the middle of the plate. Centrally located hole perforation shapes are considered circular, hexagonal, and square. All the hole areas are taken as equal. The hexagonal hole was taken as a reference and the other hole areas were calculated based on the area of the hexagonal hole. The edge length of the hexagonal hole is quarter ( $1/4$ ) of the square plate edge length. It has been determined from the analyses that the effect of the hole types on critical buckling load is different for uniaxial and biaxial loading.

In uniaxial loadings, the results obtained about the hole types can be summarized as follows:

- For uniaxial loading, behave of the function of critical buckling load versus orientation angle of the perforation is quadratic function for square type perforations, sinusoidal function of two periods for hexagon type perforations, and constant linear function for circle type perforations.
- For the circle type perforations, critical buckling loads are the minimum values for  $a/h=100$  compared to hexagon and square. When the slenderness ratio  $a/h$  decreases to 20, the critical buckling load values are also lower than the square but higher than the hexagon type between some orientations. For the slenderness ratio  $a/h=10$ , the values are higher than the square and hexagonal type perforations for certain values of the orientation angle.
- For the hexagonal type perforations, critical buckling load values are generally seen as higher than the circle type perforations but lower than the square type perforations.
- For the square type perforations, critical buckling load values are mostly higher than the circle and hexagonal type perforations.

In biaxial loadings, the results obtained about the hole types can be summarized as follows:

- For biaxial loading, behave of the function of critical buckling load versus orientation angle of the perforation is quadratic function for square type perforations and constant linear function for hexagon and circle type perforations.

- For the circle type perforations, critical buckling loads are the minimum values for  $a/h=100$  and  $a/h=20$  compared to hexagon and square. When the slenderness ratio  $a/h$  decreases to 10, the critical buckling load values are higher than square type perforation at between 0 to 10 and 80 to 90 degrees of orientation angle.
- The critical buckling load in hexagon type holes is always higher than in circle type holes at all the slenderness ratios examined. However, hexagon type holes are higher than the square type holes only at between 0 to 10 and 80 to 90 degrees of orientation angle.
- For the square type perforations, critical buckling load values are mostly higher than the circle and hexagonal type perforations, as is the case with uniaxial loadings.

As a result of rotating the hole geometry in the perforated plate with the  $x$ - $y$  plane by an orientation angle  $\alpha$  around the  $z$  axis passing through its center, it was observed that the calculated critical buckling load did not remain the same although the hole areas were the same.

### Author contribution

For this study, the author responsible for the investigation, conceptualization, the development of the methodology, writing-original draft preparation, software data curation, validation, visualization is Mustafa Halûk Saraçoğlu; the author responsible for the investigation, conceptualization, the development of the methodology, writing, formal analysis, software data curation, software, validation, visualization is Fethullah Uslu; the author responsible for the investigation, methodology, the development of the methodology, writing-reviewing and editing, supervision is Uğur Albayrak.

### 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 there is no conflict of interest.

### References

- Al Qablan, H. (2022). Applicable formulas for shear and thermal buckling of perforated rectangular panels. *Advances in Civil Engineering*, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/3790462>
- Al Qablan, H., Rabab'ah, S., Abu Alfoul, B., & Al Hattamleh, O. (2022). Semi-empirical buckling analysis of perforated composite panel. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 50(8), 2635-2652 <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1784198>
- Albayrak, U., & Saraçoğlu, M. H. (2018). Analysis of regular perforated metal ceiling tiles. *International Journal of Engineering and Technology*, 10(6), 440–446. <https://doi.org/10.7763/ijet.2018.v10.1099>
- Baumgardt, G. R., Fragassa, C., Rocha, L. A. O., dos Santos, E. D., da Silveira, T., & Isoldi, L. A. (2023). Computational model verification and validation of elastoplastic buckling due to combined loads of thin plates. *Metals*, 13(4), 731–751. <https://doi.org/10.3390/MET13040731>
- Brown, C. J., Yettram, A. L., & Burnett, M. (1987). Stability of plates with rectangular holes. *Journal of Structural Engineering*, 113(5), 1111–1116. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1987\)113:5\(1111\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:5(1111))
- Bryan, G. H. (1891). *On the stability of a plane plate under thrusts in its own plane with applications to the buckling of the sides of a ship. Proceedings of London Mathematics Society*, s1-22(1), 54–67. <https://doi.org/10.1112/plms/s1-22.1.54>
- Chow, F.-Y., & Narayanan, R. (1984). *Buckling of plates containing openings. 7th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, 39–53. <https://scholarsmine.mst.edu/isccss/7iccfss/7iccfss-session2/1>

- Dehadray, P.M., Alampally, S., & Lokavarapu, B. R. (2021). *Buckling analysis of thin isotropic square plate with rectangular cut-out*. *International Conference on Innovations in Mechanical Engineering*, 71–86. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7282-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7282-8_6)
- Fu, W. & Wang, B. (2022). A semi-analytical model on the critical buckling load of perforated plates with opposite free edges. *Original Research Article Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science*, 236(9), 4885–4894. <https://doi.org/10.1177/09544062211056890>
- Guo, Y. & Yao, X. (2021). Buckling behavior and effective width design method for thin plates with holes under stress gradient. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5550749>
- Jayabalan, J., Dominic, M., Ebid, A. M., Soleymani, A., Onyelowe, K. C., & Jahangir, H. (2022). Estimating the buckling load of steel plates with center cut-outs by ANN, GEP and EPR techniques. *Designs*, 6(5), 84-96. <https://doi.org/10.3390/DESIGNS6050084>
- Karakaya, C. (2022). Numerical investigation on perforated sheet metals under tension loading. *Open Chemistry*, 20(1), 244–253. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0142>
- Kharchenko, S., Kharchenko, F., Samborski, S., Paśnik, J., Kovalyshyn, S., & Sirovitskiy, K. (2022). Influence of physical and constructive parameters on durability of sieves of grain cleaning machines. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(6), 156–165. <https://doi.org/10.12913/22998624/156128>
- Saraçoğlu, M. H., Uslu, F., & Albayrak, U. (2021). Investigation of hole shape effect on static analysis of perforated plates with staggered holes. *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 3. <https://doi.org/10.47933/ijeir.883510>
- Silveira, T., Neufeld, J. P. S., Rocha, L. A. O., Santos, E. D., & Isoldi, L. A. (2021). *Numerical analysis of biaxial elasto-plastic buckling of perforated rectangular steel plates applying the Constructal Design method*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1048(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1048/1/012017>
- Swanson Analysis System Inc., A. (2005). *ANSYS User's manual*.
- Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of plates and shells*. In McGraw-Hill, Inc. McGraw-Hill, Inc.
- Uslu, F., Saraçoğlu, M. H., & Albayrak, U. (2022). Buckling of square and circular perforated square plates under uniaxial loading. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 4(2), 61–75. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jiciviltech/issue/74932/1190956>

## Derin özniteliklerin farklı atak senaryolarındaki yüz sahteciliği tespiti başarımlarının incelenmesi

*Investigation of face spoofing detection performances of deep features in different attack scenarios*

Asuman GÜNAY YILMAZ\*<sup>1</sup> , Fırat ŞAKAR<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 26.04.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 03.11.2023

### Öz

Günümüzde yüz tanıma sistemlerinin kullanımının çoğalmasıyla birlikte bu sistemlere karşı yapılan saldırılar da artmıştır. Özellikle artan sosyal medya kullanımı ile yüz görüntü ve videolarının paylaşımının artışı, saldırganların bu içeriği kullanarak yüz tanıma sistemlerini daha kolay kandırmasına imkân sağlamaktadır. Bu nedenle yüz sahteciliği tespiti (YST) konusu oldukça önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Yüz sahteciliği saldırıları çeşitli türlerde gerçekleştirilmektedir. Genellikle çalışmalarda tüm atak türlerinin birlikte değerlendirildiği senaryolar üzerinde başarımlar değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Replay-Attack veri setindeki Basılı Fotoğraf (Printed Photo), Dijital Fotoğraf (Digital Photo) ve Video Oynatma (Replay Video) saldırı türlerinde derin öğrenme yöntemlerinin YTS başarımları değerlendirilmiştir. Bu amaçla ilk aşamada VGG16, DenseNet121 ve MobileNet derin ağ mimarilerinin bu saldırı türlerindeki YST başarımları incelenmiştir. İkinci aşamada her bir ağın ürettiği derin özniteliklerin klasik makine öğrenmesi yöntemi olan destek vektör makineleri (Support Vector Machines – SVM) ile sınıflandırılması sonucu YST başarımlarındaki değişim incelenmiştir. Son olarak VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarının ürettikleri derin öznitelikler birleştirilerek (öznitelik seviyesinde birleştirme - feature level fusion) tüm saldırı türleri için SVM ile gerçek/sahte sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre derin özniteliklerin ya da birleşimlerinin SVM ile sınıflandırılması saldırı türüne göre YST başarımlarını artırmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Derin öğrenme, Sınıflandırma, Yüz sahteciliği tespiti

### Abstract

Today, the use of face recognition systems and attacks against these systems have increased. Especially with the increasing use of social media, the increase in the sharing of facial images and videos allows attackers to deceive facial recognition systems more easily. For this reason, face spoofing detection has become a very important field of study. Face spoofing attacks are carried out in various types. Generally, performance evaluations are made on scenarios in which all attack types are evaluated together. Therefore, in this study, face spoofing detection performances of deep learning methods in Printed Photo, Digital Photo and Replay Video attack types in the Replay-Attack dataset were evaluated. For this purpose, the face spoofing detection performances of VGG16, DenseNet121 and MobileNet deep network architectures were examined. Then, the change in face spoofing detection performances because of classification of deep features produced by each network with support vector machines (SVM) was examined. Finally, the deep features produced by VGG16, DenseNet121 and MobileNet networks were combined (feature level fusion) and real/fake classification was performed for all attack types with SVM. According to the results, the classification of deep features or their combinations with SVM increases the performance of face spoofing detection according to the attack type.

**Keywords:** Deep learning, Classification, Face spoofing detection

\*Asuman GÜNAY YILMAZ; gunaya@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yüz tanıma sistemleri günümüzde en çok kullanılan biyometrik tanıma sistemleridir. Bu sistemlerin kullanımının yaygınlaşması beraberinde, sistemleri kandırmaya yönelik saldırılar da artırmıştır. Bu nedenle yüz tanıma sistemleri günümüzde iyi bir başarıya ulaşmış olsa da bu sistemlerin güvenilirliği sorgulanmaya başlanmıştır. Bu nedenle yüz sahteciliği tespiti (YST) alanındaki çalışmalar oldukça önem taşımaktadır. Yüz sahteciliği saldırıları standart görüntüleme cihazları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Saldırganlar kişilerin basılmış fotoğraflarını yüz tanıma sistemine sunabileceği gibi kişilere ait videoları bir mobil cihaz ya da tablet üzerinden de kameraya gösterip sistemi kandırmaya çalışmaktadır. Daha ileri saldırı türleri ise 3D maskelerin kullanımını ya da plastik cerrahi ile kişilerin kimliklerine bürünmeyi içermektedir. Dolayısı ile atak türleri oldukça çeşitlidir. Bunun dışında YST sistemleri, ortam ışığı, görüntü kalitesi, gürültü, yüz görüntülerindeki tutarsızlık (gözleri kısma veya kapama, yüz ifadesini değiştirme) ve yaşlanmaya bağlı yüz değişiklikleri gibi çok sayıda değişkenden etkilenmektedir. Bu nedenle problemin çözümü zorlaşmaktadır.

Mevcut yüz sahteciliği tespit sistemleri 4 gruba ayrılabilir: 1) hareket analizine dayalı yöntemler, 2) canlılık tespitine dayalı yöntemler ve 3) görüntü kalitesi analizine dayalı yöntemler ve 4) doku analizine dayalı yöntemler. Hareket analizi tabanlı yöntemler video dizilerinden hesaplanan değişikliklerin hesaplanmasına dayalıdır. Bu yöntemlerin taklit edilmesi zordur ve düşük kullanıcı iş birliği gerektirir. Ancak, yüksek hareket etkinliğine sahip video dizilerine ihtiyaç duyulması ve yüksek hesaplama karmaşıklığı, bu yaklaşımların ana dezavantajlarıdır. [Anjos vd. \(2014\)](#), optik akış kullanarak ön plan/arka plan hareket korelasyonuna dayanan bir yöntem önermiştir. Canlılık tespitine dayalı yöntemler, videolardaki göz kırpmaları, yüz ifadeleri gibi fizyolojik yaşam belirtilerini tespit etmeye çalışmaktadır. Ancak bu yöntemler yüksek kullanıcı işbirliğine, ekstra cihazlara ve video dizilerine ihtiyaç duyar. Ayrıca zaman alıcı ve hesaplama açısından karmaşıktırlar. [Alotaibi ve Mahmood \(2017\)](#), derinlik bilgisi elde etmek ve sınır konumlarını korumak için doğrusal olmayan difüzyon kullanan bir yüz canlılığı tespit yöntemi önermiştir. Ardından, görüntülerin ayırt edici ve yüksek seviyeli özneliklerini çıkarmak için, bir derin evrişim sinir ağı kullanılmıştır. Gerçek erişimlerin ve yasadışı saldırıların görüntü kalite özellikleri farklı olduğundan, görüntü kalitesi analizine dayalı yöntemler, renk çeşitliliği, bulanıklık, kenar bilgisi, kromatik moment gibi öznelikleri kullanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanması kolay, hesaplama maliyetleri düşüktür ve kullanıcı iş birliğine ihtiyaç duymazlar. Fakat performansları büyük ölçüde görüntülerin kalitesine bağlıdır. [Wen vd. \(2015\)](#), görüntü bozulma analizi (Image Distortion Analysis-IDA) tabanlı yüz sahteciliği tespiti yöntemi önermiştir. Yöntemde yüz görüntülerinden 4 farklı IDA özelliği (aynasal yansıma, bulanıklık, renk momenti ve renk çeşitliliği) elde edilmiş ve SVM sınıflandırıcısı kullanılarak görüntü için gerçek veya sahte kararı verilmiştir. [Galbally vd. \(2014\)](#), gerçek ve sahte yüzleri birbirinden ayırt etmek için 25 görüntü kalitesi özelliği (ortalama kare hatası, tepe sinyali / gürültü oranı, maksimum fark, ortalama fark, vb.) kullanmıştır. Görüntüler lineer ve ikinci derece diskriminant analizi ile gerçek ya da sahte olarak sınıflandırılmıştır. Doku analizine dayalı yöntemler, sahtecilik girişimlerini belirlemek için gerçek ve sahte yüzlerin doku desenleri (baskı hataları, görüntü bulanıklığı, ...) arasındaki farkları kullanır. Bu yaklaşımların uygulanması kolaydır ve kullanıcı iş birliğine ihtiyaç duymazlar. Ancak gerçek ve sahte yüzleri ayırt etmek için iyi öznelik vektörlerine ihtiyaç duyarlar. Bu çalışmada doku analizine dayalı bir YST yöntemi önerilmiştir.

Son yıllarda doku analizine dayalı YST alanında, elle üretilen özneliklere (hand-crafted features) dayalı ve derin özneliklere (deep-features) dayalı çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. [Määttä vd. \(2011\)](#), yüz sahteciliği tespitinde, yüz dokusunu analiz etmek için yerel ikili örüntüler (Local Binary Patterns-LBP) kullanmıştır. Gerçek ve sahte yüzler arasındaki farkları yakalamak için çok ölçekli LBP operatörleri ile çıkarılan öznelikler, bir destek vektör makinesi (Support Vector Machine-SVM) ile sınıflandırılmıştır. Başka bir çalışmada ([Määttä vd., 2012](#)), hem doku tabanlı (LBP, Gabor) hem de gradyan tabanlı (Gradyanların Histogramı-HoG) yüz tanımlayıcılarının yüz sahteciliği tespit performansı incelenmiştir. Agarwal vd. (2016), ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmış görüntü dizilerinden blok tabanlı Haralick doku özneliklerini (korelasyon, kontrast, entropi, fark varyansı, toplam ortalaması, vb.) çıkarmış ve bunları SVM ile sınıflandırarak yüz sahteciliği tespitinde kullanmıştır. [Boulkenafet vd. \(2016\)](#), renk dokusu analizini kullanarak bir yüz sahteciliğini önleme yöntemi önermişlerdir. Farklı renk uzaylarının (HSV ve YCbCr) parlaklık ve renklilik kanallarından doku özneliklerini hesaplamak için farklı tanımlayıcılar (LBP, LPQ, BSIF ve SID) kullanılmıştır. Diğer bir çalışmalarında ise ([Boulkenafet vd., 2017](#)) farklı renk uzaylarından (HSV, YCbCr) (Speeded-Up Robust Features-SURF) özneliklerini çıkarıp birleştirmiş ve öznelik vektörlerini doğrusal sınıflandırmaya daha uygun yüksek boyutlu bir alana gömmek için Fisher vektör kodlaması



kullanmıştır. [Zhao vd. \(2018\)](#), dinamik öznitelikleri temsil etmek için yeni bir doku tanımlayıcısı (Volume Local Binary Count - VLBC) önermiştir. Yöntemde herhangi bir t çerçevesindeki bir merkez piksel için için, t-1, t ve t+1 çerçevelerinde, R yarıçap mesafesinde eşit olarak konumlanmış P komşu piksel birlikte kullanılarak, merkez piksele göre eşiklenmekte ve bir kod üretilmektedir. [Gan vd., \(2017\)](#), CASIA ve Replay-Attack gibi veri setlerindeki video saldırı veri kümeleri üzerinde 3D-CNN'i (Convolutional Neural Networks-CNN) kullanmıştır. [Liu vd., \(2019\)](#), baskı, yeniden oynatma, 3D maske vb. gibi 13 tür sahte saldırı türü için yeni bir Deep Tree Network (DTN) önermiştir. [Einy vd. \(2021\)](#), Replay Attack ve Rose-Youtu veri setlerindeki görüntüleri RGB, HSV ve YCbCr renk uzaylarına dönüştürmüş, RGB görüntüler için VGG-Face, HSV ve YCbCr görüntüler için VGG-16 modelini kullanmıştır. [Korkmaz vd. \(2023\)](#), DFDC veri tabanında bulunan deep fake videolarındaki oynamaları tespit etmek için EfficientNet ağını kullanmıştır.

Yüz sahteciliği yöntemleri genel olarak Basılı Fotoğraf saldırısı (printed photo), Video Oynatma (video replay) saldırısı ve 3D maske saldırısı olarak üçe ayrılır. 3D modellerin oluşturulması daha zor ve pahalı olduğu için, saldırganlar ilk iki yöntemi daha kolay gerçekleştirebilir. Video Oynatma saldırıları kişinin fotoğrafının ya da videosunun telefon/tablet gibi cihazlardan kameraya tutularak sistemin kandırılmaya çalışılmasını içermektedir. Bunun dışında farklı çözünürlük, aydınlatma koşulları, giriş cihazı türü ve konumu gibi etkenler de saldırı senaryolarını çeşitlendirmektedir. Dolayısıyla, YST sisteminin gerçek zamanlı kullanımında ne tür bir senaryo ile karşılaşacağı tam olarak bilinememektedir. Literatürde yaygın kullanılan veri kümeleri birçok saldırı senaryosu içermektedir. Ancak bunları kullanan çoğu çalışmada genellikle tek bir saldırı senaryosu için (tüm saldırı türlerinin bir arada olduğu senaryo) sonuçlarının paylaşıldığı görülmektedir. Bu durum, önerilen modelin farklı senaryolar altındaki davranışını kestirmeyi ve genelleştirilmiş bir çözüm üretmeyi zorlaştırmaktadır. Diğer yandan derin ağların YST başarımları çeşitli çalışmalarda incelenirse de bu ağlardan üretilen derin özniteliklerin birleştirilmesinin YST başarımına etkisi incelenmemiştir. Bu nedenlerle bu çalışmada üç farklı saldırı türü için üç farklı CNN mimarisinin YST başarımı değerlendirilmiştir. İkinci aşamada CNN ağlarından üretilen derin öznitelikler SVM ile sınıflandırılmış ve herhangi bir performans artışı olup olmadığı gözlemlenmiştir. Son olarak üç farklı ağın ürettiği derin özniteliklerin birleşiminin YST başarımına etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Veri seti

##### 2.1.1. Dataset

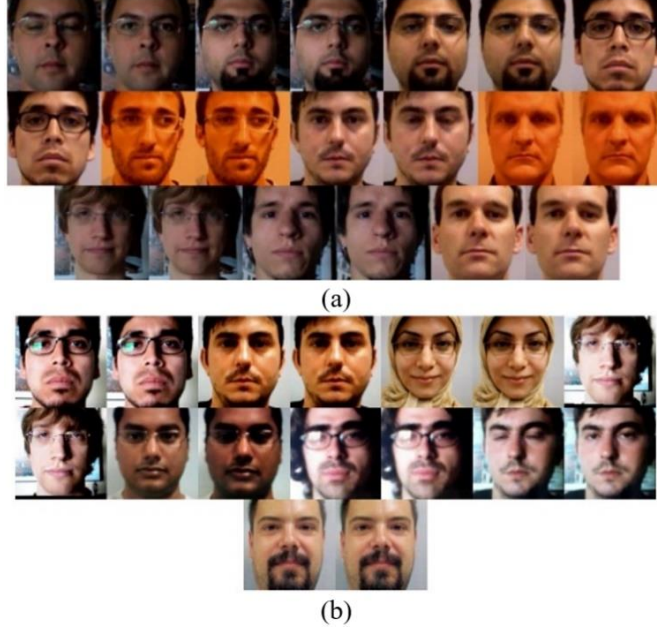
Deneylerde yüz sahteciliği saldırı türlerini barındıran Replay-Attack ([Chingovska vd., 2012](#)) veri seti kullanılmıştır. Replay-Attack veri seti 50 kişiye ait gerçek ve sahte erişim videolarından oluşmaktadır. Videolar MacBook Air 13" kamerası ile iki farklı aydınlatma koşulunda elde edilmiştir. Kontrollü ortamda florasan lambalarıyla ışıklandırma yapılmış ve tek bir arka plan kullanılmıştır. Kontrolsüz ortamda ise videolar gün ışığında farklı arka planlarda çekilmiştir. Yüksek çözünürlüklü videolar iPhone 3GS ve Canon PowerShot SX150 IS cihazları ile elde edilmiştir. Veri setinde üç tür atak bulunmaktadır. Bunlar Basılı Fotoğraf, Mobil ve Yüksek Çözünürlük ataklarıdır. Görüntülerin kameraya elle ya da sabit bir yerde tutularak gösterilmesi açısından da iki atak türü bulunmaktadır.

Bu çalışmada Replay-Attack veri setindeki Basılı Fotoğraf (fotoğrafın yüksek kalite basılarak kameraya sunulması), Dijital Fotoğraf (Fotoğrafın dijital bir cihazdan gösterilmesi) ve Video Oynatma saldırıları için YST başarımları incelenmiştir. Burada bu üç saldırı türü, içerisinde, yüksek/normal çözünürlüklü görüntüleri, kontrollü/kontrolsüz ortamda üretilen görüntüleri ve sabit bir yerde tutularak kameraya sunulan görüntüleri içermektedir. Veri kümesinde her biri ortalama 10 snlik çok sayıda video bulunmaktadır. Ağların ezberlemesini engellemek ve Google Colab ortamının sınırlı kaynaklarını kullanabilmek adına videolardan 125ms lik aralıklarla (sn de 8 çerçeve) görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülerden yüz bölgesi düzgün bir biçimde elde edilenler ayrılmıştır. Daha sonra 50 kişiden 20 kişi rasgele olarak eğitim kümesi, 10 kişi doğrulama kümesi, 10 kişi ise test kümesi olarak seçilmiştir. Buna göre eğitim, doğrulama ve test kümelerinde kullanılan görüntü sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Eğitim kümesinden seçilen gerçek ve sahte görüntü örnekleri ise Şekil 1'de görülmektedir.



**Tablo 1.** Eğitim, doğrulama ve test kümelerindeki örnek sayıları  
**Table 1.** Number of samples in training, validation and test sets

Saldırı türü	Eğitim		Doğrulama		Test	
	Gerçek	Sahte	Gerçek	Sahte	Gerçek	Sahte
Basılı fotoğraf	1200	800	600	342	600	400
Dijital fotoğraf	1185	800	600	400	600	400
Video oynatma	1185	797	600	384	597	379



**Şekil 1.** Replay-Attack veri setinden a) gerçek, b) saldırı sınıfından örnek görüntüler (Chingovska vd., 2012)  
**Figure 1.** Sample images from a) real, b) attack classes of the Replay-Attack dataset (Chingovska vd., 2012)

## 2.2. Ön işleme

### 2.2. Preprocessing

Çalışmada öncelikle veri setinden alınan görüntülerde yüz bölgesinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla giriş görüntülerinde Dlib (King, 2009) kütüphanesinin ön eğitilmiş 5 nokta işaretleyicisi (gözlerin iç dış kenarları (4 nokta) ve burun-ağız arası (1 nokta)) kullanılarak yüz bölgeleri belirlenmiş ve göz pozisyonlarına göre normalize edilmiştir. Noktalar belirlendikten sonra noktalar arasındaki açığa göre görüntü döndürülmüş ve daha sonra görüntü kesilerek  $128 \times 128$  boyutlarına ölçeklenmiştir. Böylece tüm görüntüler hizalanmış ve aynı boyuta sahip olmuştur.

## 2.3. Evrişimsel sinir ağları

### 2.3. Convolutional neural networks

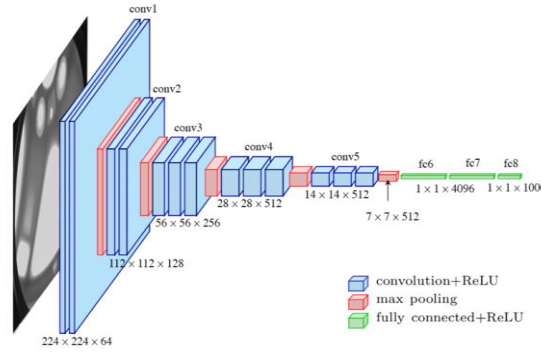
Evrişimsel sinir ağları (Convolutional Neural Networks-CNN), çok katmanlı derin öğrenme mimarilerinden biridir. Bu ağlar, evrişim katmanlarında görüntülere uygulanan filtreler ile görüntülerden öznelik çıkarma işlemini gerçekleştirmektedir. Evrişim katmanının sayısı arttıkça görüntüye ait spesifik öznelikler daha belirgin hale gelir. Evrişim katmanları ile üretilen öznelik matrisleri, vektörel forma dönüştürülür ve tam bağlantılı katmana iletilir. Tam bağlantılı katmanda sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada CNN modellerinden VGG16, DenseNet121 ve MobileNet kullanılmıştır.

### 2.3.1. VGG16

#### 2.3.1. VGG16

VGG16, Oxford Üniversitesi'nde Karen Simonyan ve Andrew Zisserman tarafından önerilen bir CNN modelidir. Bu model tek piksel adımli  $3 \times 3$ 'lük filtreler kullanmakta ve 13 evrişim ve 3 tam bağlı katman olmak

üzere toplam 16 katmandan oluşmaktadır. VGG16 mimarisi, genel olarak  $224 \times 224$  boyutlu görüntüleri giriş olarak alır. Görüntüler ilk yığılda bulunan 1 adımlı  $3 \times 3$ 'lük 2 evrişim katmanından geçirilir ve hemen ardından ReLU aktivasyon fonksiyonu devreye girer. İki evrişim katmanı da 64 filtre içerir. Daha sonra görüntü 2 adımlı  $2 \times 2$  'lik bir maksimum havuzlama katmanından geçirilir. Bu işlemlerin sonunda ilk katmandan çıkan öznetelik  $112 \times 112 \times 64$  boyutlarına sahip olacaktır. Aynı şekilde filtre sayısı iki katına çıkarılarak devam eder ve en sonunda  $7 \times 7 \times 512$  boyutuna sahip görüntü öznetelikleri elde edilir. VGG16 ağ mimarisi Şekil 2'de görülmektedir.

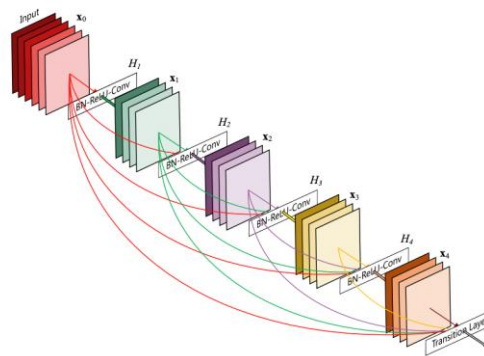


Şekil 2. VGG16 ağ mimarisi (Le, 2021)  
Figure 2. VGG16 architecture (Le, 2021)

### 2.3.2. DenseNet121

#### 2.3.2. DenseNet121

DenseNet121, Gluon CV tarafından ortaya çıkarılmış bir CNN modelidir. DenseNet ailesi içinde yer aldığından dolayı bağlantı ağırlıklarının birleştirilmesi (concatenation) prensibi üzerine inşa edilmiştir. DenseNet121 modelinin mimarisi, giriş katmanı, yoğun bloğu ve geçiş katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanı girdi görüntüsünün öznetelik haritalarına çevrilmesini sağlar. Her bir yoğun blok, bir dizi katmanı içerir ve her bir katman, önceki katmanların öznetelik haritalarının birleştirilmesi ile oluşur. Bu bağlantılar, ağırlık paylaşımını ve veri akışını optimize etmeyi amaçlar. Her bir yoğun bloğun sonunda, geçiş katmanı bulunur. Bu katman, yoğun bloğun son katmanından gelen öznetelik haritalarının boyutlarını azaltmak ve veri akışını optimize etmek için kullanılır. Bu tasarım sayesinde, veri yoğunluğunu ve öznetelik akışını artırır. Bu durum daha iyi performans ve daha az overfitting (aşırı uyum) riski gibi avantajları beraberinde getirir. DenseNet121 ağ mimarisi Şekil 3'te görülmektedir.



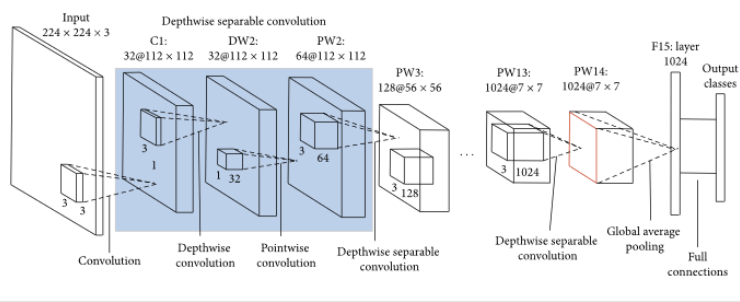
Şekil 3. DenseNet121 ağ mimarisi (Sarkar, 2020)  
Figure 3. DenseNet121 architecture (Sarkar, 2020)

### 2.3.3. MobileNet

#### 2.3.3. MobileNet

MobileNet, mobil cihazlarda yüksek performansla görüntü tanıma veya nesne tanıma gibi uygulamaları desteklemek amacıyla tasarlanmış bir CNN modelidir. Ağırlıklardan ve katmanlardan tasarruf yaparak, bellek ve işlem gereksinimlerini azaltır ve bu nedenle mobil cihazlarda etkin bir şekilde çalışmasına olanak tanır.

MobileNet mimarisi, klasik evrişim katmanları yerine mobil katmanlardan oluşur. Mobil katmanlar, derinlemesine ayrılabilir evrişim ve noktasal evrişim işlemlerini gerçekleştirir. Derinlemesine ayrılabilir evrişim, her kanal için ayrı ayrı bir filtre uygular ve bu filtrelerin sonuçlarını toplar. Noktasal evrişim ise, tüm kanallar üzerinde aynı filtreyi uygular. MobileNet ağ mimarisi Şekil 4’te görülmektedir.

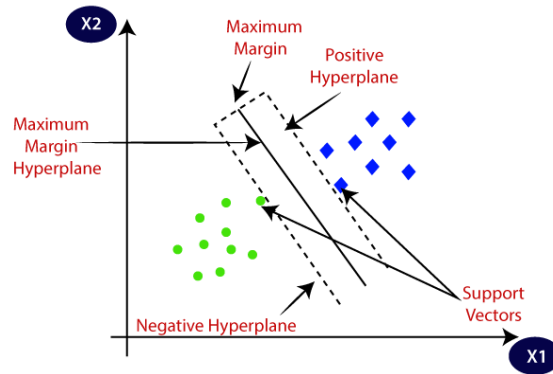


Şekil 4. MobileNet ağ mimarisi (Singhal, 2020)  
Figure 4. MobileNet architecture (Singhal, 2020)

## 2.4. Destek vektör makineleri

### 2.4. Support vector machines

SVM, bir sınıflandırma ve regresyon yöntemidir. Yöntemde veri noktaları arasındaki en büyük marjı bulan dolayısı ile veri noktalarını en iyi şekilde ayıran hiper düzlem belirlenir (Şekil 5). SVM, bazı veri noktalarını destek vektörleri olarak tanımlar. Destek vektörleri, hiper düzlem ile en yakın olan veri noktalarıdır ve hiper düzlemin belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Ayrıca SVM, doğrusal ve doğrusal olmayan veri kümelerinde kullanılabilir. Doğrusal veri kümelerinde, hiper düzlem doğrusal bir şekilde belirlenir ve sınıflandırma yapılır. Doğrusal olmayan veri kümelerinde ise, verilerin daha iyi ayrışması için önce veriler dönüştürülür, sonrasında hiper düzlem belirlenir.



Şekil 5. Destek vektörleri  
Figure 5. Support vectors

## 3. Bulgular

### 3. Results

Bu çalışmada VGG16, DenseNet121 ve MobileNet CNN mimarileri kullanılarak Replay-Attack veri setindeki Basılı Fotoğraf (Print Photo), Dijital Fotoğraf (Digital Photo) ve Video Oynatma (Replay Video) saldırıları için YST gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle her bir saldırı senaryosu için VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarının gerçek/sahte sınıflandırma başarımları incelenmiştir. İkinci aşamada CNN ağlarının ürettiği derin öznitelikler SVM ile sınıflandırılarak saldırı tespiti yapılmıştır. Son aşamada ise CNN ağlarının ürettiği derin öznitelikler birleştirilmiş ve SVM ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Deneysel bulgular alt bölümlerde verilmiştir.

Çalışmada ağların eğitiminde batch-size 128, öğrenme katsayısı 0.0001, ve Adam optimizyer kullanılmıştır. Kayıp fonksiyonu ise categorical cross entropy'dir. Uygulamalar Google Colab ortamında çalıştırılmıştır.

Transfer öğrenme yöntemi ile ImageNet veriseti ile ön eğitilmiş CNN ağları YST için 25 epoch boyunca tekrar eğitilmiştir.

Performans ölçütü olarak Doğruluk (Accuracy), Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve F1-skoru kullanılmıştır. Bu ölçütlerin hesaplanmasında ise karmaşıklık matrisi kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisi Şekil 6'da görülmektedir. Bu matris sayesinde gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin kıyaslanması mümkün olmaktadır. Matriste TP (True Positive) doğru sınıflandırılan pozitif örnek sayısını, TN (True Negative) doğru sınıflandırılan negatif örnek sayısını, FP (False Positive) ve FN (False Negative) ise sırasıyla yanlış sınıflandırılan negatif ve pozitif örnek sayılarını ifade etmektedir. Bu çalışmada Pozitif gerçek görüntüleri, Negatif ise sahte görüntüleri temsil etmektedir.

		Predicted Label (Tahmini Değer)	
		Positive (Pozitif)	Negative (Negatif)
True Label (Gerçek Değer)	Positive (Pozitif)	TP	FN
	Negative (Negatif)	FP	TN

Şekil 6. Karmaşıklık matrisi  
Figure 6. Confusion matrix

Bu değerler çalışmada Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1-skoru ölçütlerinin hesaplanmasında aşağıdaki şekilde kullanılmıştır. Doğruluk bir modelin başarısını ölçmek için kullanılan ancak tek başına yeterli olmadığı görülen bir metriktir. Doğruluk değeri modelde doğru tahmin edilen örnek sayısının toplam örnek sayısına oranı ile hesaplanmaktadır. Kesinlik doğru sınıflandırılan verilerin oranı iken Duyarlılık sadece pozitif değerlerden doğru sınıflandırılanların oranıdır. F1-skoru ise Kesinlik ve Duyarlılık değerlerinin harmonik ortalaması olup Denklem 4'e göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = TP / (TP + FP) \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = TP / (TP + FN) \quad (3)$$

$$\text{F1\_skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

### 3.1. VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağları ile YST

#### 3.1. Face spoofing detection with VGG16, DenseNet121 and MobileNet

##### 3.1.1. Basılı fotoğraf saldırısı için YST başarımları

###### 3.1.1. Face spoofing detection performances for printed photo attack

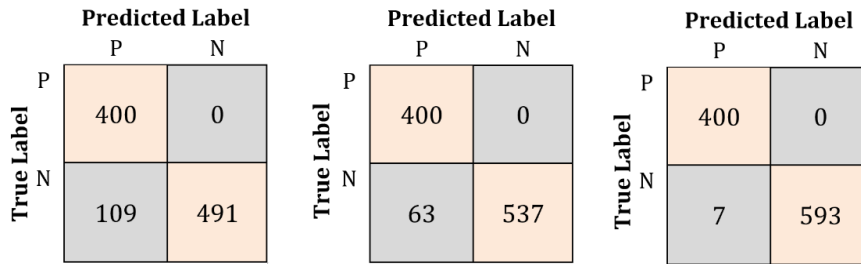
Basılı Fotoğraf saldırısı senaryosunda VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarıyla elde edilen başarımlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi bu saldırı senaryosunda MobileNet ağı ile %99.30 doğruluk ve %99.13 F1-skor değeri ile en iyi başarımlar elde edilmiştir. MobileNet ağı ile elde edilen Kesinlik ve Duyarlılık değerleri sırasıyla %98.28 ve %100 şeklindedir. Bu atak türünde DenseNet121 ağı ile %93.63, VGG16 ağı ile %89.10 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Eğitilen ağların test kümesindeki örnekler için yaptığı tahmin değerlerine göre oluşturulan karmaşıklık matrisleri ise Şekil 7'de görülmektedir. Karmaşıklık matrisleri incelendiğinde MobileNet ağı ile 400 gerçek 600 basılı fotoğraf görüntüden oluşan test kümesinde, gerçek görüntülerin hepsinin, sahte görüntülerin 593'ünün doğru sınıflandırıldığı görülmektedir.

Ayrıca genel olarak tüm ağlar test kümesindeki gerçek görüntüleri sınıflandırmada başarılı iken, VGG16 ve DenseNet121 ağları sahte görüntülerin sınıflandırılmasında MobileNet ağından daha başarısızdır.

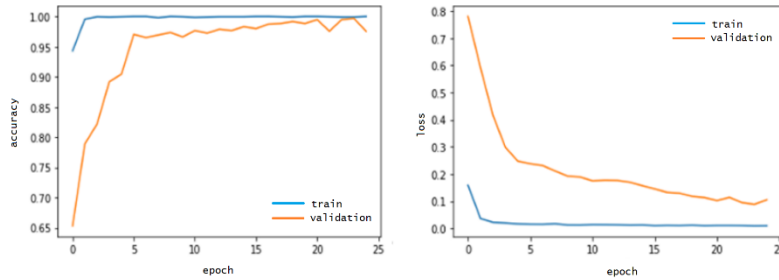
**Tablo 2.** Basılı fotoğraf saldırısı için VGG16, Dense Net121 ve MobileNet ağlarının başarımları (%)  
*Table 2. Performances of VGG16, Dense Net121 ve MobileNet networks for printed photo attack (%)*

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG16	89.10	78.58	100	88.00
DenseNet121	93.69	86.39	100	92.69
MobileNet	<b>99.30</b>	<b>98.28</b>	<b>100</b>	<b>99.13</b>

Basılı Fotoğraf saldırısı için en başarılı sonucu veren MobileNet ağından, eğitim (train) ve doğrulama (validation) setleri için elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi MobileNet ağı bu saldırı türünün belirlenmesinde kararlı bir yapıya sahiptir ve epochlar ilerledikçe yakınsama sağlanmıştır. Kayıp değeri ise başlangıç epochlarında düşmeye başlamış ve eğitimin sonuna doğru belli bir seviyede kalmıştır.



**Şekil 7.** Basılı fotoğraf saldırısı için karmaşıklık matrisleri (sırasıyla: VGG16, DenseNet121, MobileNet)  
*Figure 7. Confusion matrixs of printed photo attack (VGG16, DenseNet12, MobileNet)*



**Şekil 8.** Basılı fotoğraf saldırı senaryosu için MobileNet ile elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri  
*Figure 8. Accuracy and loss graphics of printed photo attack with MobileNet*

### 3.1.2. Dijital fotoğraf saldırısı için YST başarımları

#### 3.1.2. Face spoofing detection performances for digital photo attack

Dijital Fotoğraf saldırısı senaryosunda VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarıyla elde edilen başarımlar Tablo 3’te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi bu saldırı senaryosunda VGG16 ağı ile %93.5 doğruluk ve %91.15 F1-skor değeri ile en iyi başarımlar elde edilmiştir. VGG16 ağı ile elde edilen Kesinlik ve Duyarlılık değerleri sırasıyla %100 ve %83.75 şeklindedir. Bu atak türünde DenseNet121 ağı ile %73.50, MobileNet ağı ile %78.20 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır.

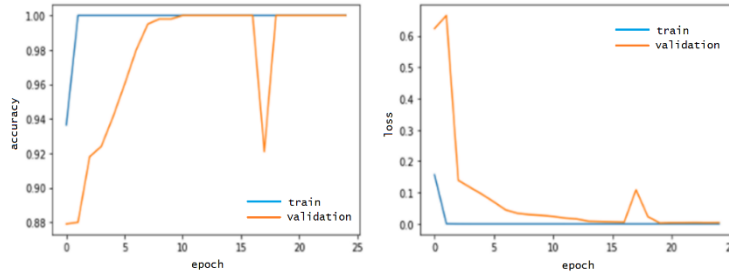
**Tablo 3.** Dijital fotoğraf saldırısı için VGG16, Dense Net121 ve MobileNet ağlarının başarımları (%)  
*Table 3. Performances of VGG16, Dense Net121 ve MobileNet networks for digital photo attack (%)*

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG-16	<b>93.50</b>	<b>100</b>	<b>83.75</b>	<b>91.15</b>
DenseNet121	73.50	100	33.75	50.46
MobileNet	78.20	97.89	46.50	63.05

Eğitilen ağların test kümesindeki örnekler için yaptığı tahmin değerlerine göre oluşturulan karmaşıklık matrisleri ise Şekil 9’da görülmektedir. Karmaşıklık matrisleri incelendiğinde bu saldırı türünde VGG16 ağı ile 400 gerçek 600 basılı fotoğraf görüntüden oluşan test kümesinde, gerçek görüntülerin 335’inin, sahte görüntülerin hepsinin doğru sınıflandırıldığı görülmektedir. Ayrıca genel olarak tüm ağlar test kümesindeki sahte görüntüleri sınıflandırmada daha başarılı iken, DenseNet121 ve MobileNet ağları gerçek görüntülerin sınıflandırılmasında VGG16 ağına göre daha başarısızdır. Dijital Fotoğraf saldırısı için en başarılı sonucu veren VGG16 ağından, eğitim (train) ve doğrulama (validation) setleri için elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 10’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi VGG16 ağı bu saldırı türünün belirlenmesinde kararlı bir yapıya sahiptir ve epochlar ilerledikçe yakınsama sağlanmıştır. Kayıp değeri ise başlangıç epochlarında düşmeye başlamış, ara bir adımda yükselmiş olsa da eğitimin sonuna doğru belli bir seviyede kalmıştır.

		Predicted Label					
		P	N				
True Label	P	335	65	True Label	P	135	265
	N	0	600		N	0	600
		Predicted Label					
		P	N				
True Label	P	186	214	True Label	P	186	214
	N	4	596		N	4	596

**Şekil 9.** Dijital fotoğraf saldırısı için karmaşıklık matrisleri (sırasıyla: VGG16, DenseNet121, MobileNet)  
**Figure 9.** Confusion matrixs of digital photo attack (VGG16, DenseNet12, MobileNet)



**Şekil 10.** Dijital fotoğraf saldırı senaryosu için VGG16 ile elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri  
**Figure 10.** Accuracy and loss graphics of digital photo attack with VGG16

### 3.1.3. Video oynatma saldırısı için YST başarımları

#### 3.1.3. Face spoofing detection performances for video replay attack

Video Oynatma saldırısı senaryosunda VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarıyla elde edilen başarımların değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi bu saldırı senaryosunda VGG16 ağı ile %88.01 doğruluk ve %86.62 F1-skor değeri ile en iyi başarımlar elde edilmiştir. VGG16 ağı ile elde edilen Kesinlik ve Duyarlılık değerleri sırasıyla %76.41 ve %100 şeklindedir. Bu atak türünde DenseNet121 ağı ile %84.52, MobileNet ağı ile %62.90 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 4.** Video oynatma saldırısı için VGG16, Dense Net121 ve MobileNet ağlarının başarımları (%)  
**Table 4.** Performances of VGG16, Dense Net121 ve MobileNet networks for video replay attack (%)

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG-16	<b>88.01</b>	<b>76.41</b>	<b>100</b>	<b>86.62</b>
DenseNet121	84.52	74.15	92.34	82.25
MobileNet	62.90	51.34	85.75	64.22

Eğitilen ağların test kümesindeki örnekler için yaptığı tahmin değerlerine göre oluşturulan karmaşıklık matrisleri ise Şekil 11’de görülmektedir. Karmaşıklık matrisleri incelendiğinde bu saldırı türünde VGG16 ağının diğer ağlara göre gerçek/sahte sınıflandırmada daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. VGG16 ağı ile test

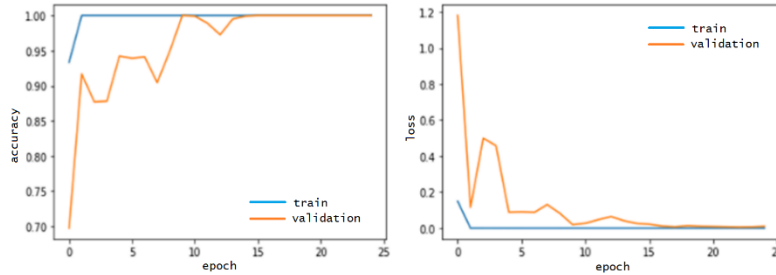


kümesindeki 379 gerçek görüntünün hepsi doğru sınıflandırılmışken, 597 sahte görüntünün 480'i doğru sınıflandırılmıştır. Bu saldırı türünde genel olarak ağlar gerçek görüntülerin sınıflandırılmasında daha başarılı olmaktadır. DenseNet121 ve MobileNet ağları sahte görüntülerin sınıflandırılmasında VGG16 ya kıyasla daha başarısızdır.

Video Oynatma saldırısı için en başarılı sonucu veren VGG16 ağı ile gerçek/sahte sınıflandırması sonucunda eğitim (train) ve doğrulama (validation) setleri için elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 12'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi VGG16 ağı bu saldırı türünün belirlenmesinde kararlı bir yapıya sahiptir ve epochlar ilerledikçe yakınsama sağlamıştır.

		Predicted Label				Predicted Label				Predicted Label	
		P	N			P	N			P	N
True Label	P	379	0	350	29	325	54				
	N	117	480	122	475	308	289				

**Şekil 11.** Video oynatma saldırısı için karmaşıklık matrisleri (sırasıyla: VGG16, DenseNet121, MobileNet)  
**Figure 11.** Confusion matrixes of video replay attack (VGG16, DenseNet12, MobileNet)



**Şekil 12.** Video oynatma saldırı senaryosu için VGG16 ile elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri  
**Figure 12.** Accuracy and loss graphics of video replay attack with VGG16

### 3.2. VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağları ile çıkarılan derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması ile YST

3.2. Face spoofing detection with SVM classification of deep features extracted using VGG16, DenseNet121 and MobileNet networks

Çalışmanın ikinci bölümünde VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarının eğitimi sonucunda üretilen derin öznitelikler alınarak SVM ile sınıflandırılmış ve YST başarımı incelenmiştir. Yine Replay-Attack veri kümesindeki Basılı Fotoğraf, Dijital Fotoğraf ve Video Oynatma saldırı senaryoları için derin özniteliklerin başarımları incelenmiştir. Buna göre Basılı Fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri Şekil 13'te başarımları ise Tablo 5'te görülmektedir. Tablo 5'teki başarımlarından DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin ağların tek başına sınıflandırma başarımını sırasıyla %93.69'dan %98.8'e ve %99.30'dan %99.90'a yükselttiği görülmektedir. Bu iki ağ için derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması gerçek/sahte sınıflandırma başarımını artırmıştır. VGG16 ağı ise tek başına VGG16+SVM yönteminden %7.2 daha başarılıdır.

**Tablo 5.** Basılı fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin başarımları

**Table 5.** Performances of VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM methods for printed photo attack

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG-16+SVM	81.90	76.00	80	77.94
DenseNet121+SVM	98.80	100	97	98.47
MobileNet+SVM	<b>99.90</b>	<b>99.75</b>	<b>100</b>	<b>99.87</b>

Şekil 13 incelendiğinde ise basılı fotoğraf saldırısında DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin sahte görüntülerin sınıflandırılmasında VGG16+SVM yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Gerçek görüntülerin sınıflandırılmasında ise MobileNet+SVM yöntemi diğer iki modele göre daha başarılıdır.

		Predicted Label				Predicted Label				Predicted Label	
		P	N			P	N			P	N
True Label	P	320	80	388	12	400	0				
	N	101	499	0	600	1	599				

**Şekil 13.** Basılı fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+ SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri

**Figure 13.** Confusion matrixs of printed photo attack with VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM

Dijital Fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri Şekil 14’te başarımları ise Tablo 6’da görülmektedir. Şekil 14 incelendiğinde dijital fotoğraf saldırısında VGG16+SVM yönteminin gerçek ve sahte görüntülerin sınıflandırılmasında DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Genel olarak üç yöntem sahte görüntü sınıflandırmada gerçek görüntülere göre daha başarılıdır. Tablo 6’daki başarımlarından ise sadece DenseNet121+SVM yönteminin, ağır tek başına sınıflandırma başarımlarını %73.50’den %75.40’a yükselttiği görülmektedir. Bu ağ için derin özneteliklerin SVM ile sınıflandırılması gerçek/sahte sınıflandırma başarımlarını artırmıştır. VGG16 ve MobileNet ağları ise, VGG16+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinden sırasıyla %0.8 ve %11 daha başarılıdır. Bu saldırı türünde en iyi başarımları %92.70 ile VGG16+SVM yöntemi ile elde edilmiştir.

**Tablo 6.** Dijital fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+ SVM yöntemlerinin başarımları (%)

**Table 6.** Performances of VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM methods for digital photo attack (%)

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG-16+SVM	<b>92.70</b>	<b>97.94</b>	<b>83.50</b>	<b>90.14</b>
DenseNet121+SVM	75.40	79.84	51.50	62.61
MobileNet+SVM	67.20	66.98	35.50	46.40

		Predicted Label				Predicted Label				Predicted Label	
		P	N			P	N			P	N
True Label	P	334	66	206	194	142	258				
	N	7	593	52	548	70	530				

**Şekil 14.** Dijital fotoğraf saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+ SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri

**Figure 14.** Confusion matrixs of digital photo attack with VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM

Video Oynatma saldırısı için VGG16+SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri Şekil 15’te başarımları Tablo 7’de görülmektedir. Şekil 15 incelendiğinde video oynatma saldırısında DenseNet121+SVM yönteminin gerçek ve sahte görüntülerin sınıflandırılmasında VGG16121+SVM ve MobileNet+SVM yöntemlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Genel olarak üç yöntem gerçek görüntü sınıflandırmada sahte görüntü sınıflandırmaya göre daha başarılıdır. Tablo 7’deki

başarım sonuçlarından ise her üç yöntemin de ağların tek başına sınıflandırma başarımlarını artırdığı görülmektedir. VGG16+SVM yöntemi ile %95.38, DenseNet121+SVM yöntemi ile %97.43, MobileNet+SVM yöntemi ile ise %90.16 doğruluk değeri elde edilmiştir. Bu saldırı türünde derin özneteliklerin SVM ile sınıflandırılması gerçek/sahte sınıflandırma başarımını artırmıştır. En fazla başarımların %27.26 ile MobileNet+SVM yöntemi ile elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Video oynatma saldırısı için VGG16+ SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+ SVM yöntemlerinin başarımların değerleri (%)

**Table 7.** Performances of VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM methods for video replay attack (%)

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
VGG-16+SVM	95.38	89.38	100	94.39
DenseNet121+SVM	<b>97.43</b>	<b>96.33</b>	<b>97.09</b>	<b>96.70</b>
MobileNet+SVM	90.16	84.76	91.02	87.77

		Predicted Label	
		P	N
True Label	P	379	0
	N	45	552

		Predicted Label	
		P	N
True Label	P	368	11
	N	14	583

		Predicted Label	
		P	N
True Label	P	345	34
	N	62	535

**Şekil 15.** Video oynatma saldırısı için VGG16+ SVM, DenseNet121+SVM ve MobileNet+ SVM yöntemlerinin karmaşıklık matrisleri

**Figure 15.** Confusion matrixs of video replay attack with VGG16+SVM, DenseNet12+SVM and MobileNet+SVM

### 3.3. VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağları ile çıkarılan derin özneteliklerin birleştirilmesi ve SVM ile sınıflandırılması ile YST

3.3. Face spoofing detection with SVM classification of deep feature fusion extracted with VGG16, DenseNet121 and MobileNet networks

Çalışmanın son bölümünde ise VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağlarında üretilen derin öznetelikler birleştirilmiş, ve SVM yöntemi ile gerçek/sahte olarak sınıflandırılmıştır. Replay-Attack veri kümesindeki Basılı Fotoğraf, Dijital Fotoğraf ve Video Oynatma saldırı senaryoları için ayrı ayrı birleştirilmiş derin özneteliklerin başarımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar karmaşıklık matrisleri Şekil 16'da başarımların değerleri ise Tablo 8'de görülmektedir. Bu model ile en yüksek doğruluk değeri Video Oynatma saldırı senaryosu için %99.18 olarak elde edilmiştir. Basılı Fotoğraf ve Dijital Fotoğraf saldırı türleri için sırasıyla %98.9 ve %84.9 doğruluk sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntemde her üç saldırı türü için gerçek görüntüler sahte görüntülere göre daha başarılı şekilde sınıflandırılmaktadır.

**Tablo 8.** VGG16+DenseNet121+MobileNet+ SVM modeli ile basılı fotoğraf, dijital fotoğraf ve video oynatma saldırılarının YST başarımları (%)

**Table 8.** Face spoofing detection performances of VGG16+ DenseNet121+MobileNet+SVM model for printed photo, digital photo, video replay attacks (%)

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skoru
Basılı fotoğraf	98.90	97.32	100	98.64
Dijital fotoğraf	84.90	79.57	83.75	81.60
Video oynatma	99.18	97.93	100	98.95

		Predicted Label				Predicted Label				Predicted Label	
		P	N			P	N			P	N
True Label	P	400	0	True Label	P	335	65	True Label	P	379	0
	N	11	589		N	86	514		N	8	589

**Şekil 16.** Saldırı senaryoları için VGG16+ DenseNet121+MobileNet+SVM modelinin karmaşıklık matrisleri (sırasıyla: basılı fotoğraf, dijital fotoğraf, video oynatma)

**Figure 16.** Confusion matrixes of VGG16+ DenseNet121+MobileNet+SVM model for attack scenarios (printed photo, digital photo, video replay)

#### 4. Tartışma

##### 4. Discussion

DeneySEL çalışmalar sonucunda VGG16, DenseNet121 ve MobileNet ağ modellerinin ve bu ağlarda üretilen derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması sonucu Basılı Fotoğraf, Dijital Fotoğraf ve Video Oynatma saldırıları için elde edilen tüm doğruluk ve F1-skor değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde Basılı Fotoğraf saldırı türü için MobileNet ağının ürettiği derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması sonucu %99.90 doğruluk ve %99.87 F1-skoru ile en iyi sonucun elde edildiği görülmektedir. Bu saldırı türünde ağların tek başına kullanımında MobileNet %99.3 doğruluk ile en iyi başarıma sahiptir. VGG16 ağı tek başına VGG16+SVM yönteminden daha başarılı iken, DenseNet121+SVM modeli DenseNet121 e göre %5.11 daha başarılı bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Bu saldırı türünde üç ağdan üretilen derin özniteliklerin birleştirilerek SVM ile sınıflandırılması sonucu (VGG16+DenseNet 121+MobileNet+SVM) %98.9 doğruluk elde edilmiş fakat bu değer MobileNet+SVM modelinden daha düşük kalmıştır.

**Tablo 9.** Tüm modellerin tüm saldırı senaryoları için doğruluk ve F1-skoru değerleri (%)

**Table 9.** Accuracy and F1-score values for all attack scenarios of all models (%)

Saldırı türü Yöntem	Basılı fotoğraf		Dijital fotoğraf		Video oynatma	
	Doğruluk	F1- skoru	Doğruluk	F1- skoru	Doğruluk	F1- skoru
VGG16	89.10	88.00	<b>93.50</b>	<b>91.15</b>	88.01	86.62
DenseNet121	93.69	92.69	73.50	50.46	84.52	82.25
MobileNet	99.30	99.13	78.20	63.05	62.90	64.22
VGG16+SVM	81.90	77.94	92.70	90.14	95.38	94.39
DenseNet121+SVM	98.80	98.47	75.40	62.61	97.43	96.70
MobileNet+SVM	<b>99.90</b>	<b>99.87</b>	67.20	46.40	90.16	87.77
VGG16+DenseNet121+ MobileNet+SVM	98.90	98.64	84.90	81.60	<b>99.18</b>	<b>98.95</b>

Dijital Fotoğraf saldırı türü için VGG16 ağı tek başına %93.5 doğruluk ve %91.15 F1-skoru başarımları göstermiştir. Bu saldırı türünde DenseNet121 ve MobileNet ağlarının daha düşük bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan derin özniteliklerin ayrı ayrı ya da birleştirilip SVM ile sınıflandırılması herhangi bir performans artışı sağlamamıştır. Diğerlerine kıyasla göz kırpmaya gibi canlılık belirtileri içerdiği için belirlenmesi daha zor olan Video Oynatma saldırı türünde ise Tablo 9’dan da görüldüğü gibi en iyi başarımları VGG16+DenseNet121+ MobileNet+SVM modeli ile elde edilmiştir. Bu saldırı türünde %99.18 doğruluk ve %98.95 F1-skoru sonucuna ulaşılmıştır. Diğer modeller incelendiğinde ağların tek başına düşük başarıma sahip olduğu (VGG16 %88.01, DenseNet121 %84.52, MobileNet %62.90) görülmektedir. Diğer yandan bu saldırı türünde ağlardan üretilen derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması, genel olarak ağların verdiği doğruluk sonuçlarını büyük ölçüde artırmıştır (VGG16+SVM %95.38, DenseNet121+SVM %97.43, MobileNet+SVM %90.16). Farklı çözünürlük, aydınlatma koşulları, giriş cihazı türü ve konumu gibi etkenler saldırı senaryolarını çeşitlendirmektedir. Dolayısıyla, YST sisteminin gerçek zamanlı kullanımında ne tür bir senaryo ile karşılaşacağı tam olarak bilinememektedir. Literatürde yaygın kullanılan veri kümeleri birçok

saldırı senaryosu içermektedir. Ancak bunları kullanan çoğu çalışmada genellikle tek bir saldırı senaryosu için (tüm saldırı türlerinin bir arada olduğu senaryo) sonuçlarının paylaşıldığı görülmektedir. Bu durum, önerilen modelin farklı senaryolar altındaki davranışını kestirmeyi ve genelleştirilmiş bir çözüm üretmeyi zorlaştırmaktadır. Diğer yandan derin ağların YST başarımları çeşitli çalışmalarda incelenmiş de bu ağlardan üretilen derin özniteliklerin birleştirilmesinin YST başarımına etkisi incelenmemiştir. Bu nedenlerle bu çalışma atak türlerinde YST başarımlarının incelenmesi ve derin özniteliklerin ve birleşimlerinin makine öğrenmesi algoritmasıyla sınıflandırılması konusunda katkı sağlamaktadır.

## 5. Sonuçlar

### 5. Results

Bu çalışmada VGG16, DenseNet121 ve MobileNet CNN mimarilerinden üretilen derin özniteliklerin Replay-Attack veri setindeki Basılı Fotoğraf (Print Photo), Dijital Fotoğraf (Digital Photo) ve Video Oynatma (Replay Video) saldırıları için YST başarımları incelenmiştir. Çalışmada 7 model 3 saldırı türü olmak üzere 21 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı saldırı türlerinde farklı modeller daha iyi bir başarımlar göstermektedir. Derin ağların tek başına kullanımı sadece 1 deneyde (Dijital Fotoğraf saldırısı, VGG16 ağı) en yüksek başarımla sahiptir. Derin özniteliklerin SVM ile sınıflandırılması 6 deneyde ağların tek başına kullanımına göre sınıflandırma başarımlarını artırmıştır. Basılı Fotoğraf saldırı türünde MobileNet+SVM yöntemi ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Derin ağlardan üretilen derin özniteliklerin birleştirilip SVM ile sınıflandırılması ise daha karmaşık saldırı türlerinde daha başarılıdır (Video Oynatma saldırısı, VGG16+DenseNet121+MobileNet+SVM modeli). Literatürde genellikle tek bir saldırı senaryosu için (tüm saldırı türlerinin bir arada olduğu senaryo) sonuçları paylaşılmaktadır. Bu durum önerilen modelin farklı senaryolar altındaki davranışını kestirmeyi zorlaştırmaktadır. Diğer yandan derin ağlarda üretilen derin özniteliklerin birleştirilmesinin YST başarımına etkisi incelenmemiştir. Çalışma bu alanda çalışmak isteyenlere farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Çalışmada kullanılan Replay-Attack veri seti literatürdeki pek çok çalışmada kullanılmaktadır. Veri setinde farklı etnik kökene sahip kişilerin gerçek ve sahte görüntülerinin de dahil edilmesi ile yöntemin geçerliliği artırılabilir. İleriki çalışmalarda daha güncel veri setleri üzerinde deneyler gerçekleştirilebilir. Çalışmada kullanılan ağlar dışındaki diğer ağların da başarımları incelenebilir. Ayrıca ağların parametreleri değiştirilerek performans artışı sağlamak üzerine çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada öznitelik seviyesinde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve YST başarımı değerlendirilmiştir. İleriki çalışmalarda ağların YST sonuçlarının ağırlıklı ya da oylama yoluyla birleştirilmesi ile başarımlar değerlendirilmesi yapılabilir.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Asuman GÜNAY YILMAZ: literatür taraması, metodoloji, ilgili tabloların/şekillerin yorumlanması, makalenin yazılması ve düzenlenmesi.

Fırat ŞAKAR: deneysel çalışmalar, ilgili tabloların/şekillerin hazırlanması, makalenin yazılması.

### 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.

### Kaynakça

#### References

Agarwal, A., Singh, R., & Vatsa, M. (2016). Face anti-spoofing using Haralick features. *2016 IEEE 8th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS 2016)*, (pp. 1-6), Niagara Falls, NY, USA. <https://doi.org/10.1109/BTAS.2016.7791171>

- Alotaibi, A., & Mahmood, A. (2017). Deep face liveness detection based on nonlinear diffusion using convolution neural network. *Signal, Image and Video Processing*, 11, 713–720. <https://doi.org/10.1007/s11760-016-1014-2>
- Anjos, A., Chakka, M.M., & Marcel, S. (2014) Motion-based counter-measures to photo attacks in face recognition. *IET Biometrics*, 3, 147-158. <https://doi.org/10.1049/iet-bmt.2012.0071>
- Boulkenafet, Z., Komulainen, J., & Hadid, A. (2016). Face spoofing detection using colour texture analysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11(8), 1818-1830. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2016.2555286>
- Boulkenafet, Z., Komulainen, J., & Hadid, A. (2017). Face antispoofing using speeded-up robust features and fisher vector encoding. *IEEE Signal Processing Letters*, 24, 141-145. <https://doi.org/10.1109/LSP.2016.2630740>
- Chingovska, I., Anjos, A., & Marcel, S. (2012). On the effectiveness of local binary patterns in face anti-spoofing, *Proceedings of the International Conference of Biometrics Special Interest Group (BIOSIG)*, (pp. 1-7), Darmstadt, Germany.
- Einy, S. Oz, C., & Navaei, Y.D. (2021). IoT cloud-based framework for face spoofing detection with deep multicolor feature learning model. *Journal of Sensors*. <https://doi.org/10.1155/2021/5047808>
- Galbally, J., Marcel, S., & Fierrez, J. (2014). Image quality assessment for fake biometric detection: application to iris, fingerprint, and face recognition. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23, 710-724. <https://doi.org/10.1109/TIP.2013.2292332>
- Gan, J. Li, S., Zhai, Y., & Liu, C. (2017). 3D Convolutional neural network based on face anti-spoofing, *2017 2nd International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP)*, (pp. 1-5), Wuhan, China. <https://doi.org/10.1109/ICMIP.2017.9>
- King, D. E. (2009). Dlib-ml: A machine learning toolkit. *The Journal of Machine Learning Research*, 10, 1755–1758. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1577069.1755843>
- Korkmaz, Ş., & Alkan, M. (2023). Derin öğrenme algoritmalarını kullanarak deepfake video tespiti. *Politeknik Dergisi*, 26(2), 855-862. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1063104>
- Le, K. (2021, Mar 25). *An overview of VGG16 and NiN models*. <https://medium.com/mllearning-ai/an-overview-of-vgg16-and-nin-models-96e4bf398484>
- Liu, Y., Stehouwer, J., Jourabloo, A., & Liu, X. (2019). Deep tree learning for zero-shot face anti-spoofing. *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (pp. 4680-4689), Long Beach, CA, USA. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00481>
- Määttä, J., Hadid, A., & Pietikäinen, M. (2011). Face spoofing detection from single images using micro-texture analysis. *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, (pp. 1-7), Washington, DC, USA. [doi: 10.1109/IJCB.2011.6117510](https://doi.org/10.1109/IJCB.2011.6117510).
- Määttä, J., Hadid, A., & Pietikäinen, M. (2012). Face spoofing detection from single images using texture and local shape analysis. *IET Biometrics*, 1,3-10. <https://doi.org/10.1049/iet-bmt.2011.0009>
- Sarkar, A. (2020, Jul 11). *Creating DenseNet 121 with TensorFlow*. <https://towardsdatascience.com/creating-densenet-121-with-tensorflow-edbc08a956d8>
- Singhal, G. (2020, Nov 16). *Transfer learning in deep learning using Tensorflow 2.0*. <https://www.pluralsight.com/guides/transfer-learning-in-deep-learning-using-tensorflow-2.0>
- Wen, D., Han, H., & Jain, A.K. (2015). Face spoof detection with image distortion analysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4), 746-761. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2015.2400395>
- Zhao, X., Lin, Y., & Heikkilä, J. (2018). Dynamic texture recognition using volume local binary count patterns with an application to 2D face spoofing detection. *IEEE Transactions on Multimedia*, 20, 552-566. <https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2750415>



## Bazı lale türlerine ait farklı popülasyonların doğal enfeksiyon koşullarında Botrytis yanıklığı hastalığına (*Botrytis tulipae*) karşı dayanıklılık durumlarının araştırılması

*Evaluation of different populations of some tulip species for resistance to Botrytis blight disease (Botrytis tulipae) under natural infection conditions*

İlyas DELİGÖZ\*<sup>1</sup> , Yasemin İZGİ<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 07.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

*Botrytis tulipae*'nin neden olduğu Botrytis yanıklığı hastalığı lalenin en önemli hastalıklarından bir tanesidir. Hastalığa karşı mücadelede dayanıklı çeşit kullanmak en etkili yollardan bir tanesidir. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı illerinden toplanmış olan 12 türe ait 68 lale popülasyonunun Samsun ilinde doğal enfeksiyon koşullarında Botrytis yanıklığına karşı dayanıklılık durumları araştırılmıştır. Çalışma, 2015-2016 yetiştirme sezonunda dört tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hastalık belirtileri 0-4 skalası kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda popülasyonlar arasında hastalığa dayanıklılık açısından önemli varyasyonlar belirlenmiştir. *Tulipa orphanidea* türüne ait dört, *T. sylvestris* türüne ait iki, *T. agenensis* türüne ait ise bir popülasyon hastalığa karşı yüksek derecede dayanıklı olarak belirlenirken, *T. foliosa* türüne ait üç, *T. orphanidea* türüne ait sekiz ve *T. julia* türüne ait bir popülasyon ise dayanıklı olarak belirlenmiştir. Çalışmada 25 lale popülasyonunun ise hastalığa karşı hassas olduğu ortaya konulmuştur. Dayanıklı olarak belirlenen popülasyonlar lale ıslah çalışmalarında Botrytis yanıklığına dayanıklılık açısından ebeveyn olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma Türkiye'de lale türlerinin *B. tulipae*'ye karşı dayanıklılık durumlarının incelendiği ilk çalışmadır.

**Anahtar kelimeler:** *Botrytis tulipae*, Dayanıklılık, Hastalık şiddeti, Lale türleri

### Abstract

*Botrytis tulipae*, causal agent of Botrytis blight disease, is one of the most important diseases of tulips. One of the most effective methods for disease control is to use resistant cultivars. The resistance status of 68 tulip populations belonging to 12 species was collected from different provinces of Türkiye and investigated against Botrytis blight under natural infection conditions in Samsun province. The study was carried out in 2015-2016 growing season with four replications. Disease symptoms were evaluated according to the 0-4 scale. According to the results of this study, significant variations were identified among the populations for resistance to Botrytis blight. Four populations of *T. orphanidea*, two populations of *T. sylvestris* and one population of *T. agenensis* were found to be highly resistant to Botrytis blight whereas three populations of *T. foliosa*, eight populations of *T. orphanidea* and one population of *T. julia* were found to be resistant to the disease. Also, the study revealed that 25 tulip populations were susceptible to the disease. Resistant populations have the potential to be used as parents in tulip breeding programs. According to our knowledge, this is the first study on the resistance levels of Turkish tulip species to *B. tulipae* in Türkiye.

**Keywords:** *Botrytis tulipae*, Resistance, Disease severity, Tulip species

\*İlyas DELİGÖZ; ilyasdeligoz@yahoo.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Dünyada en çok satılan çiçekler arasında üçüncü sırada yer alan lale, çiçek soğanları arasında en fazla üretim alanına sahip bir bitki türüdür (Podwysynska & Sochacki, 2010). Lale (*Tulipa* spp.) *Liliaceae* familyasına ait soğanlı bir süs bitkisi olup, yaklaşık 100 doğal türü bulunmaktadır (Hall, 1940). Lalenin gen merkezi; kuzeyde Sibirya, Moğolistan ve Çin, güneyde Kaşmir ve Hindistan, batıda Afganistan ve Orta Asya ile çevrilen bölgedir (Hoog, 1973). Lale türlerinin çeşitliliği ise türlerin Fas, Batı Avrupa ve Batı Çin'e yayılması sırasında olmuş, Avrupa kıtasına ise Türkiye üzerinden tanıtılmıştır (Killingback, 1991). Dünyada hali hazırda ticari lale çeşitleri, daha çok *Tulipa gesneriana* L. türü ve *T. gesneriana* x *T. fosteriana* L. melezlerinden (Darwin hibrit) oluşmaktadır (Benschop vd., 2010; Van Tuyl & Van Creijl, 2007). Lalenin en önemli yayılış alanlarından birisi olan Türkiye'de bugüne kadar 17 tür ve üç alt tür olmak üzere toplam 20 taksonun bulunduğu ve taksonların yedisinin endemik olduğu bildirilmiştir (Eker vd., 2016; Eker, 2018).

Lalede bazı fungal, viral ve bakteriyel etmenlerin enfeksiyonu sonucu meydana gelen hastalıklar önemli ürün kayıplarına neden olabilmektedir (McGovern & Elmer, 2017). Bunlar içerisinde Botrytis yanıklığı hastalığına neden olan *Botrytis tulipae* (Lib.) Lind lalede yaygın olarak görülen ve ekonomik olarak önemli zararlara neden olabilen etmenlerden bir tanesidir (Staats, 2007). Etmen, nekrotrof özellikte ve ölü dokularda yaşayabilen bir fungus olup, enfekteli soğan ve bitki artıklarında da yaşayabilmektedir. Lalenin soğan, yaprak ve çiçekleri hastalıktan etkilenen bitki, şiddetli enfeksiyonlarda ise hastalığa yakalanan bitkiler ölebilmektedir (Lorbeer vd., 2007). Ülkemizde yapılan çalışmalarda lalede Botrytis yanıklığı hastalığı ilk olarak Samsun ilinde tespit edilmiş (Deligöz & Saraç, 2013), hastalığa neden olan etmenin ise *B. tulipae* olduğu belirlenmiştir (Erper vd., 2019). Hastalığın mücadelesinde kültürel tedbirler önemli bir yer tutmakta olup, fungusit kullanımı ise kısmen başarılı olabilmektedir (Parvu vd., 2013). Botrytis yanıklığına karşı mücadelede en etkili yollardan bir tanesi dayanıklı tür ve çeşitlerin kullanılmasıdır. Bitkilerde hastalıklara dayanıklılık kaynakları, genellikle bitkilerin gen merkezlerinde ve doğal yayılış alanlarında bulunmaktadır (Baenziger vd., 1984). Lalede *B. tulipae*'ye karşı dayanıklılık ile ilgili az sayıda çalışma yapılmış olup, bu çalışmalarda *T. tarda* Stapf. türünde yüksek derecede dayanıklılık, *T. gesneriana* x *T. greigii* Regel. melezi, *T. gesneriana* ve *T. kaufmanniana* Regel. türüne ait bazı bitkilerde ise kısmi dayanıklılık belirlenmiştir (Straathof vd., 2002; Leon Reyes vd., 2005). Lalede *B. tulipae*'ye karşı dayanıklılığın kalıtımı ile ilgili yapılan çalışmalarda ise dayanıklılığın poligenik karakterde olduğu belirlenmiştir (Pang vd., 2006).

Lalenin en önemli doğal yayılış alanlarından birisi olan Türkiye'de bugüne kadar lale tür ve çeşitlerinin Botrytis yanıklığına dayanıklılık durumları ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma, daha önce Türkiye'nin farklı illerinden toplanmış olan 12 farklı türe ait 68 lale popülasyonunun, Samsun ilinde doğal enfeksiyon koşullarında Botrytis yanıklığı hastalığına karşı dayanıklılık durumlarının belirlenmesi amacı ile yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Lale türlerine ait popülasyonlar

##### 2.1. Populations of Tulip species

Bu çalışmada, daha önceki çalışmalarda Türkiye'nin farklı illerinden toplanmış olan *T. armena* var. *armena* Boiss. türüne ait 19, *T. foliosa* Stapf türüne ait 9, *T. orphanidea* Boiss.ex Heldr. türüne ait 14, *T. agenensis* DC. türüne ait 5, *T. aleppensis* Boiss.ex Regel türüne ait 2, *T. julia* C. Koch türüne ait 5, *T. sylvestris* L. türüne ait 4, *T. sintenesi* Baker türüne ait 3, *T. humilis* Herb.türüne ait 4, *T. saxatilis* Sieber ex Spreng, *T. undulatifolia* Boiss. ve *T. praecox* Ten. türüne ait birer olmak üzere toplam 68 popülasyon kullanılmıştır. Lale popülasyonlarına ait soğanlar Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden (Samsun, Türkiye) temin edilmiştir.

#### 2.2. Denemenin kurulması

##### 2.2. Experimental design

Çalışma, daha önce hastalığın yoğun olarak görüldüğü Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü deneme arazisinde (Deligöz & Saraç, 2013), 2015-2016 yetiştirme sezonunda (Ekim-Haziran ayları arasında)

yürütülmüştür. Denemenin yürütüldüğü Samsun iline ait bazı iklim verileri Tablo 1’de verilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre her saksıda 5 bitki olacak şekilde 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her popülasyona ait hastalıkla bulaşık olmayan temiz lale soğanları 30 cm çapındaki saksılara dikilmiştir. Daha sonra saksılar önceki yıllarda hastalığın görüldüğü lale gözlem bahçesine konulmuş ve hastalığın doğal olarak bulaşması sağlanmıştır. Deneme süresince hastalığın gözlenmesi için herhangi bir ilaçlama işlemi yapılmamıştır.

**Tablo 1.** Samsun ili bazı iklim verileri (Kaynak: Meteoroloji X. Bölge Müdürlüğü)

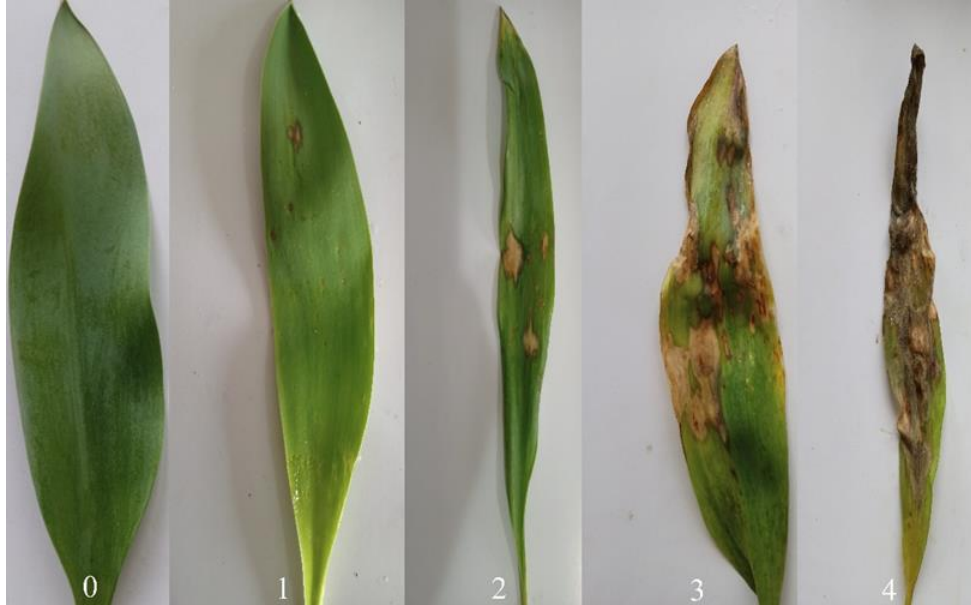
*Table 1. Some climate data of Samsun province*

Yıllar	Aylar	Aylık ortalama sıcaklık (°C)	Uzun yıllar sıcaklık ortalaması (°C)	Aylık toplam yağış (mm)	Uzun yıllar yağış ortalaması (mm)
2015	Ekim	16.8	16.2	172	79.3
2015	Kasım	13.2	12.5	45.5	84
2015	Aralık	6.9	9.2	140.1	81.9
2016	Ocak	6.6	7	174.7	70.5
2016	Şubat	10.9	7	30.5	59.1
2016	Mart	10.3	7.9	97.9	65.8
2016	Nisan	13.8	11.2	47.7	57.3
2016	Mayıs	16.9	15.6	198.8	48.3
2016	Haziran	22.2	20.3	62.8	45.3
Ortalama		13.1	12.2	-	-
Toplam		-	-	970	591.5

### 2.3. Hastalık değerlendirilmesi

#### 2.3. Disease evaluation

Doğal koşullar altında yetiştirilen lale türlerine ait popülasyonlarda yapraklarda ortaya çıkan hastalık belirtilerini değerlendirmek amacı için [Straathof vd. \(2000\)](#) tarafından kullanılan 1-5 skalası, 0 ile 4 arasındaki değerlere modifiye edilerek oluşturulan 0-4 skalası kullanılmıştır. Buna göre; 0: yaprakta lekeli alan=%0, 1: yaprakta lekeli alan=%1-5, 2: yaprakta lekeli alan=%5-15, 3: yaprakta lekeli alan=%15-50, 4: yaprakta lekeli alan=%50-100 olarak değerlendirilmiştir (Şekil 1). Bitkiler, hastalık belirtilerinin ilk olarak görüldüğü dönemden itibaren gözlemlenmiştir.



**Şekil 1.** Hastalık değerlendirilmesinde kullanılan 0-4 skalasının görsel hali.

*Figure 1. Visual version of the 0-4 scale used in disease assessment*

Hastalık değerlendirmeleri sonucunda elde edilen skala değerleri kullanılarak Townsend-Heuberger formülüne göre yüzde hastalık şiddeti hesaplanmıştır ([Townsend & Heuberger, 1943](#)). Buna göre;  
Hastalık Şiddeti (%) =  $\sum(n_x V / Z_x N) \times 100$

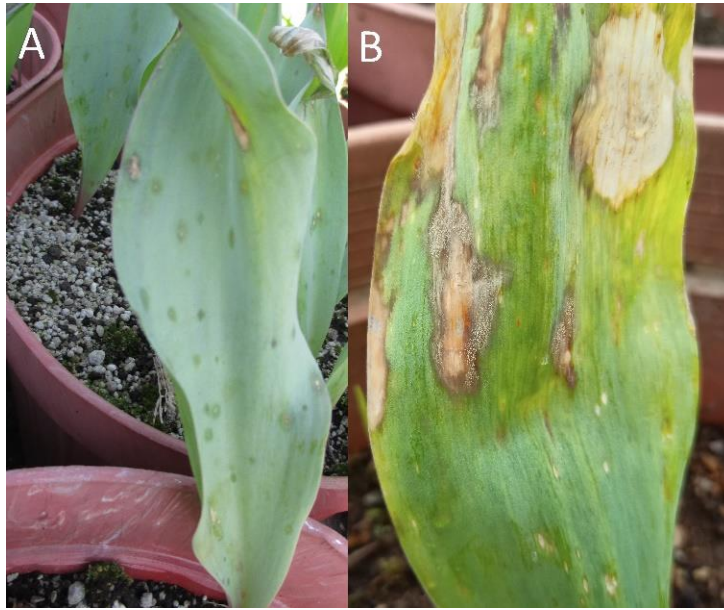
n: skalada farklı hastalık derecesine giren bitki sayısı,  
 V: skala değeri,  
 Z: en yüksek skala değeri,  
 N: gözlem yapılan toplam bitki sayısı

Çalışmada Başbağcı ve Dolar (2020)'nin hastalık değerlendirme yöntemi modifiye edilerek hastalık şiddeti değerleri %0-10 arasında olan popülasyonlar yüksek derecede dayanıklı, %10.1-25 arasında olanlar dayanıklı, %25.1-50 arasında olanlar orta derecede dayanıklı, %50.1-75 arasında olanlar hassas, %75.1-100 arasında olanlar ise yüksek derecede hassas olarak değerlendirilmiştir. Denemeden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde JMP 13.0 (SAS Institute, 2013) istatistik paket programı kullanılmıştır. Veriler ilk olarak normalite testine tabi tutulmuş daha sonra ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Önemli bulunan etkilere ilişkin ortalamalar arası farklılıkların belirlenmesinde Tukey çoklu karşılaştırma testinden yararlanılmıştır. Önem düzeyi 0.05 olarak kabul edilmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Çalışmada, Türkiye'nin farklı illerinden toplanmış olan 12 farklı türe ait 68 lale popülasyonunun doğal koşullarda Botrytis yanıklığına karşı dayanıklılık durumları değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Hastalık, bitkilerde ilk olarak yapraklarda ıslak görümlü küçük parlak lekeler şeklinde ortaya çıkmıştır. Hastalığın ilerleyen dönemlerinde ise lekeler genişleyerek nekrotik hale gelmiş ve bazı bitkilerde lekeler üzerinde etmenin sporları görülmüştür (Şekil 2).



**Şekil 2.** Botrytis yanıklığı hastalığının *T. agenensis* (A) ve *T. foliosa* (B) türüne ait lale bitkilerindeki belirtileri  
**Figure 2.** Symptoms of Botrytis blight disease on tulip plants of *T. agenensis* (A) and *T. foliosa* (B) species

Lale popülasyonları arasında hastalık şiddeti yüzde değerleri, istatistiksel açıdan önemli ( $p < 0,0001$ ) bulunmuştur. Lale popülasyonlarının hastalık şiddeti değerleri %2.50-%100 arasında değişim göstermiş, ortalama hastalık şiddeti ise %47.6 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel açıdan değerlendirildiğinde 4 popülasyon (402-60-01, 105-05-04, 104-05-03 ve 317-05-06) % 100 hastalık şiddeti ile en hassas, 6 popülasyon ise (231-17-01, 308-10-02, 241-35-04, 305-35-05, 310-10-04 ve 224-26-02) % 2.50 hastalık şiddeti ile en dayanıklı olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Yedi lale popülasyonunda hastalık şiddeti %2.50-%8.75 arasında değişim göstermiş ve sözü edilen 7 popülasyon yüksek derecede dayanıklı olarak değerlendirilmiştir. Hastalık şiddeti değerleri % 12.50-%23.75 arasında değişim gösteren 14 popülasyon dayanıklı olarak belirlenirken, hastalık şiddeti değerleri %27.50-%50 arasında değişim gösteren 22 popülasyon ise orta derecede dayanıklı olarak belirlenmiştir. Çalışmada hassas olarak bulunan 7 popülasyonun hastalık şiddeti %60-%75 arasında elde edilirken, yüksek derecede hassas olarak bulunan 18 popülasyonun hastalık şiddeti değerleri %80-%100 arasında elde edilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Lale popülasyonlarının doğal koşullar altında *Botrytis* yanıklığına karşı dayanıklılık durumları  
**Table 2.** Resistance status of tulip populations against *Botrytis blight*

Popülasyon no	Tür	Orijin	Hastalık şiddeti (%)	Değerlendirme
401-09-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Aydın	36.25jk	OD
250-21-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Diyarbakır	28.75klm	OD
223-44-05	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Malatya	50gh	OD
118-42-09	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Konya	87.50bc	YH
402-60-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Tokat	100a	YH
118-43-09	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Konya	87.50bc	YH
237-42-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Konya	66.25ef	H
121-01-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Adana	27.50klm	OD
245-26-03	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Eskişehir	27.50klm	OD
239-44-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Malatya	42.50hij	OD
126-38-03	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Kayseri	80cd	YH
123-66-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Yozgat	43.25hij	OD
315-04-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Ağrı	27.50klm	OD
316-04-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Ağrı	27.50klm	OD
109-42-04	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Konya	50gh	OD
119-70-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Karaman	40hij	OD
116-42-07	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Konya	92.50ab	YH
217-35-02	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	İzmir	96.25ab	YH
125-38-01	<i>T. armena</i> var. <i>armena</i>	Kayseri	66.25ef	H
128-38-05	<i>T. foliosa</i>	Kayseri	18.75mnop	D
103-05-02	<i>T. foliosa</i>	Amasya	18.75mnop	D
107-42-02	<i>T. foliosa</i>	Konya	18.75mnop	D
111-06-01	<i>T. foliosa</i>	Ankara	41.25hij	OD
201-07-01	<i>T. foliosa</i>	Antalya	48.75hi	OD
211-46-01	<i>T. foliosa</i>	Kahramanmaraş	28.75klm	OD
225-58-01	<i>T. foliosa</i>	Sivas	48.75hi	OD
127-38-04	<i>T. foliosa</i>	Kayseri	65ef	H
203-46-01	<i>T. foliosa</i>	Kahramanmaraş	80cd	YH
232-22-01	<i>T. orphanidea</i>	Edirne	18.75mnop	D
247-45-01	<i>T. orphanidea</i>	Manisa	22.50lmno	D
306-35-06	<i>T. orphanidea</i>	İzmir	22.50lmno	D
101-07-05	<i>T. orphanidea</i>	Antalya	22.50lmno	D
224-34-01	<i>T. orphanidea</i>	İstanbul	50gh	OD
242-45-02	<i>T. orphanidea</i>	Manisa	42.50hij	OD
231-17-01	<i>T. orphanidea</i>	Çanakkale	2.50q	YD
308-10-02	<i>T. orphanidea</i>	Balıkesir	2.50q	YD
129-59-02	<i>T. orphanidea</i>	Tekirdağ	15nop	D
307-10-01	<i>T. orphanidea</i>	Balıkesir	8.75pq	YD
102-48-01	<i>T. orphanidea</i>	Muğla	15nop	D
216-45-01	<i>T. orphanidea</i>	Manisa	15nop	D
233-43-01	<i>T. orphanidea</i>	Kütahya	18.75mnop	D
241-35-04	<i>T. orphanidea</i>	İzmir	2.50q	YD
252-27-01	<i>T. agenensis</i>	Gaziantep	87.50bc	YH
105-05-04	<i>T. agenensis</i>	Amasya	100a	YH
248-05-04	<i>T. agenensis</i>	Amasya	96.25ab	YH
104-05-03	<i>T. agenensis</i>	Amasya	100a	YH
305-35-05	<i>T. agenensis</i>	İzmir	2.50q	YD
251-21-03	<i>T. aleppensis</i>	Diyarbakır	80cd	YH
303-63-03	<i>T. aleppensis</i>	Şanlıurfa	75de	H
319-08-02	<i>T. julia</i>	Artvin	12.50opq	D
311-65-01	<i>T. julia</i>	Van	66.25ef	H
129-38-06	<i>T. julia</i>	Kayseri	96.25ab	YH
212-65-03	<i>T. julia</i>	Van	80cd	YH
301-63-01	<i>T. julia</i>	Şanlıurfa	33.25jkl	OD
230-10-02	<i>T. sylvestris</i>	Balıkesir	15nop	D
310-10-04	<i>T. sylvestris</i>	Balıkesir	2.50q	YD



**Tablo 2.** Devamı  
**Table 2.** Continue

Popülasyon no	Tür	Orijin	Hastalık şiddeti (%)	Değerlendirme
224-26-02	<i>T. sylvestris</i>	Eskişehir	2.50q	YD
235-11-01	<i>T. sylvestris</i>	Bilecik	18.75mnop	D
313-49-01	<i>T. sintenesi</i>	Muş	60fg	H
228-06-03	<i>T. sintenesi</i>	Ankara	32.25jkl	OD
304-27-01	<i>T. sintenesi</i>	Gaziantep	71.25de	H
115-42-06	<i>T. humilis</i>	Konya	42.50hij	OD
110-68-01	<i>T. humilis</i>	Aksaray	87.50bc	YH
205-70-03	<i>T. humilis</i>	Karaman	96.25ab	YH
117-42-08	<i>T. humilis</i>	Konya	32.25jkl	OD
218-48-04	<i>T. saxatilis</i>	Muğla	50gh	OD
240-59-01	<i>T. undilatifolia</i>	Tekirdağ	96.25ab	YH
317-05-06	<i>T. praecox</i>	Amasya	100a	YH
CV (%)			7.69	
Q (0.5)			12.41	

\*Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %1 düzeyinde farklılık vardır, YD: Yüksek derecede dayanıklı, OD: Orta derecede dayanıklı, D: Dayanıklı, YH: Yüksek derecede hassas, H: Hassas

Çalışmada toplam 12 lale türü incelenmiş ve 10 farklı türde (*T. armena* var. *armena*, *T. foliosa*, *T. orphanidea*, *T. agenensis*, *T. aleppensis*, *T. julia*, *T. sylvestris*, *T. sintensi*, *T. humilis*, *T. saxatilis*) Botrytis yanıklığına karşı değişen düzeylerde dayanıklılık belirlenmiştir. Denemede *T. undilatifolia* ve *T. praecox* türlerine ait birer popülasyon incelenmiş ve bu popülasyonlar hastalığa karşı yüksek derecede hassas olarak bulunmuştur. Straathof vd. (2002), Hollanda'da yaptıkları bir çalışmada 20 lale çeşidini sera koşullarında *B.tulipae*'ye karşı karşı test etmişler, *T. tarda* türünde yüksek derecede dayanıklılık, *T. gesneriana* x *T.greigii* melezi ve *T.kaufmanniana* türünde ise kısmi dayanıklılık belirlemişlerdir. Juodkaite vd. (2008), Litvanya'da 263 lale çeşidinin doğal enfeksiyon koşullarında Botrytis yanıklığına karşı dayanıklılık durumlarını incelemişler, özellikle Single Early, Double Early, Triumph, Darwin hybrid ve Double Late lale çeşitlerinde hastalığa karşı değişen düzeylerde dayanıklılık olduğunu belirlemişlerdir.

Çalışma sonucunda *T. orphanidea* türüne ait 4 (231-17-01, 241-35-04, 307-10-01, 308-10-02), *T. sylvestris* türüne ait 2 (310-10-04, 224-26-02), *T. agenensis* türüne ait ise bir popülasyon (305-35-05) Botrytis yanıklığına karşı yüksek derecede dayanıklı olarak belirlenirken, *T. foliosa* türüne ait 3 (128-38-05, 103-05-02, 107-42-02), *T. orphanidea* türüne ait 8 (232-22-01, 247-45-01, 306-35-06, 101-07-05, 129-59-02, 102-48-01, 216-45-01, 233-43-01) ve *T. julia* türüne ait ise bir popülasyon (319-08-02) dayanıklı olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Elde edilen sonuçlara göre özellikle *T. orphanidea* ve *T. sylvestris* türlerine ait popülasyonların Botrytis yanıklığına karşı dayanıklılıkta ön plana çıktığı görülmüştür. Çalışmada *T. orphanidea* türüne ait 14 popülasyonda gözlem alınmış ve bu popülasyonların dört tanesinin yüksek derecede dayanıklı, sekiz tanesinin dayanıklı, iki tanesinin ise orta derece dayanıklı olduğu görülmüştür. *T. sylvestris* türüne ait 4 lale popülasyonundan ise iki tanesi yüksek derecede dayanıklı, iki tanesi ise dayanıklı olarak bulunmuştur. Bununla birlikte *T. undilatifolia* ve *T. praecox* türlerinde ise test edilen birer popülasyonun yüksek derecede hassas olarak belirlenmesi dikkati çekmiştir (Tablo 2). Bitkilerde hastalıklara karşı dayanıklılığın oluşmasında genetik faktörler önemli rol oynamaktadır (Pink & Hand, 2002). Lalede *B. tulipae*'ye karşı dayanıklılığın poligenik karakterde olduğu bildirilmiştir (Pang vd., 2006). Lale türlerinin Botrytis yanıklığına karşı dayanıklılık düzeylerinin farklı olması, türlerin hastalığa dayanıklılık açısından genetik yapılarının farklı olması ile ilgili olabilir. Bunun yanında türlerin yaprak dokularındaki fiziki farklılıklar, bazen funguslara karşı fiziksel olarak dayanıklılık sağlamada rol oynayabilmektedir (Martin, 1964; Lazniewska vd., 2012). Nitekim, Leon Reyes vd. (2005), lale yapraklarındaki mumsu tabakayı kaldırarak yapılan *B. tulipae* inokulasyonlarında mumsu tabaka kaldırılmadan yapılan inokulasyonlara göre bazı çeşitlerde hastalığa dayanıklılık düzeyinde azalma gerçekleştiğini, lale yapraklarında bulunan mumsu tabakanın *B. tulipae*'ye karşı ekstra savunma stratejisi olarak rol oynayabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada kullanılan lale türlerinin, yapraklarındaki fiziksel farklılıklar ile ilgili bir veri bulunmamaktadır. Bu konu ile ilgili çalışmaların yapılması, lale yapraklarının fiziksel yapısı ve hastalığa dayanıklılık arasındaki ilişki hakkında fikirler verebilir.



## 4. Sonuçlar

### 4. Conclusions

Botrytis yanıklığı hastalığı lalenin ekonomik olarak en önemli hastalıklarından bir tanesidir. Hastalıkla mücadelede dayanıklı tür ve çeşitlerin kullanılması gerek ekonomik gerekse de çevre dostu olması nedeni ile en etkili yöntemlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı illerinden toplanmış olan lale popülasyonlarının doğal enfeksiyon şartlarında *B. tulipae*'ye karşı dayanıklılık durumları araştırılmış ve 10 lale türüne ait farklı popülasyonlarda değişen düzeylerde dayanıklılık bulunduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda dayanıklı olarak belirlenen popülasyonlar, lale ıslahında Botrytis yanıklığına dayanıklılık açısından ebeveyn olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu araştırma, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından desteklenmiştir. İstatistiksel analizlerdeki katkılarından dolayı Dr. Erkan ÖZATA'ya, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

İD ve Yİ deneysel çalışmayı tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. İD veri analizi, sonuçların değerlendirmesi ve makalenin yazımını yapmıştır.

### 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

- Baenziger, P. S., Elgin, J. H., Stavely, J. R., & Tomerlin, J. R. (1984). Breeding for disease resistance. In G. B. Collins, & J. G. Petolino (Eds.), *Applications of genetic engineering to crop improvement* (pp. 427-452). Springer, [https://doi.org/10.1007/978-94-009-6207-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6207-1_13)
- Başbağcı, G., & Dolar, F. S. (2020). Determination of the reactions of some chickpea cultivars against *Rhizoctonia* species and anastomosis groups threatening chickpea. *Bitki Koruma Bülteni*, 60(3), 57-64. <https://doi.org/10.16955/bitkorb.682217>
- Benschop, M., Kamenetsky, R., Nard, M.L., Okubo, H., & De Hertogh, A. (2010). The global flower bulb industry: production, utilization, research. *Horticultural Reviews*, 36(1), 1-115.
- Deligöz, İ., & Saraç, Y. (2013). Türkiye'den toplanmış lale (*Tulipa L.*) genotiplerinde çiçek ve yaprak lekelerine neden olan hastalık etmeninin araştırılması. 5. *Süs Bitkileri Kongresi* (s. 1257), Yalova.
- Eker, İ. (2018). *Tulipa L., Resimli Türkiye florası* (A. Güner, Ed.). ANG Vakfı Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları.
- Eker, İ., Yıldırım, H., & Altıoğlu, Y. (2016). *Tulipa cinnabarina* subsp. *toprakii* (Liliaceae), a new subspecies from southwestern Anatolia. *PhytoKeys*, 69, 65-70. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.69.9302>

- Erper, I., Deligoz, I., Ozer, G., Yildirim, E., & Turkkan, M. (2019). First report of botrytis blight of tulip caused by *Botrytis tulipae* in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 101, 427. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-00201-6>
- Hall, A.D. (1940). *The genus Tulipa*. The Royal Horticulture Society.
- Hoog, M.H. (1973). On the origin of Tulipa. In E. Napier, & J. N. O Platt (Eds.), *Lilies and other Liliaceae* (pp. 47-64). Royal Horticulture 50 Society.
- Juodkaite, R., Baliuniene, A., Naujalis, J. R., Navalinskiene, M., & Samuitiene, M. (2008). Selection and presentation of tulip (*Tulipa* L.) species and cultivars to the lithuanian plant genetic resources. *Biologija*, 54(2), 139-146. <https://doi.org/10.2478/V10054-008-0029-1>
- Killingback, S. (1991). *Tulips: an illustrated identifier and guide to cultivation*. Apple Press.
- Lazniewska, J., Macioszek, V. K., & Kononowicz, A. K. (2012). Plant-fungus interface: the role of surface structures in plant resistance and susceptibility to pathogenic fungi. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 78, 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2012.01.004>
- Leon Reyes, A., Prins, T. P., van Empel, J. P., & Van Tuyl, J. M. (2004). Differences in epicuticular wax layer in tulip can influence resistance to *Botrytis tulipae*. IX. *International Symposium on Flower Bulbs* (pp. 457-461). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.673.59>
- Lorbeer, J. W., Seyb, A. M., de Boer, M., & Van den Ende, J. E. (2007). *Botrytis* species on bulb crops. In Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski, & N. Delen (Eds.), *Botrytis: biology, pathology and control* (pp. 273-294). Springer.
- Martin, J. T. (1964). Role of cuticle in the defense against plant disease. *Annual Review of Phytopathology*, 2(1), 81-100. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.02.090164.000501>
- McGovern, R. J., & Elmer, W. H. (2017). Diseases of tulip. In R. J. McGovern, & W. H. Elmer (Eds.), *Handbook of florists' crops diseases* (pp. 1-26). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32374-9\\_49-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32374-9_49-1)
- Pang, C.M., Van Empel, P., & Van Tuyl, J.M. (2006). Inheritance and resistance to *Botrytis* disease in F1 generation of tulips. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 34, 105-108.
- Parvu, M., Vlase, L., Fodorpataki, L., Parvu, O., Rosca-Casian, O., Bartha, C., Barbu Tudoran, L., & Parvu, A. E. (2013). Chemical composition of celandine (*Chelidonium majus* L.) extract and its effects on *Botrytis tulipae* (Lib.) Lind fungus and the tulip. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(2), 414-426. <https://doi.org/10.15835/nbha4129077>
- Pink, D.A.C., & Hand, P. (2003). Plant resistance and strategies for breeding resistant varieties. *Plant Protection Science*, 38(1), 9-14. <https://doi.org/10.17221/10310-PPS>
- Podwyszyńska, M., & Sochacki, D. (2010). Micropropagation of tulip: production of virus-free stock plants. In S. M. Jain, & S. J. Ochatt (Eds.), *Protocols for in vitro propagation of ornamental plants* (pp. 243-256). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-60327-114-1\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-114-1_23).
- Staats, M. (2007). *Botrytis species on flower bulb crops: phylogeny, genetic variation and host specificity* [Ph.D. Thesis, Wageningen University, The Netherlands]
- Straathof, T. P., Mes, J. J., Eikelboom, W., & Van Tuyl, J. M. (2000). A greenhouse screening assay for *Botrytis tulipae* resistance in tulips. VIII. *International Symposium on Flowerbulbs* (pp. 415-421). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.570.59>
- Townsend, G.R., & Heuberger, J.W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *The Plant Disease Reporter*, 27, 340-343.
- Van Tuyl, J.M., & Van Creij, M.G.M. (2007). *Tulipa gesneriana* and *T.hybrids*. In N. O. Anderson (Ed.), *Flower breeding and genetics* (pp. 623-641). Springer.

## Birleşik Krallık'ta satışı gerçekleştirilen Brezilya fıındığı ve Türk fıındıklarındaki aktivite konsantrasyonlarının ( $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ ) deneysel olarak belirlenmesi

*An Experimental determination of activity concentrations ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{137}\text{Cs}$ ) in Brazil nut and Turkish hazelnut sold in the United Kingdom*

Kıvanç PEKER\*<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN), 06980, Kahramankazan, Ankara

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 07.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

Bu çalışmanın amacı, gıdalarda bulunan Doğal Olarak Oluşan Radyoaktif Materyaller (NORM) ürünleri ve yapay radyoizotoplara ait aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesidir ve incelenmek üzere gıda ürünlerinden Brezilya fıındığı ile Türk fıındığı seçilmiştir. Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren 4 farklı markadan satın alınan Brezilya fıındığı ve Türk fıındığı ürünlerindeki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları, gama-ışınlarının sayımını gerçekleştiren yüksek saflıktaki germanyum dedektörü (HPGe) ile belirlendi. Etik olarak, tüm markalar A, B, C ve D olarak kodlandı. Brezilya fıındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralıklarında iken, Türk fıındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları tespit edilebilen en düşük aktivitenin (MDA) altında kalmıştır. Tüm numuneler içinde, en baskın radyoaktivite kaynağı ise  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aktivite aralığındaki  $^{40}\text{K}$  olup, sadece D ve A markalarından satın alınan Türk fıındığı numunelerinde sırasıyla  $1.1 \pm 0.2$  ve  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg aktivitelere sahip  $^{137}\text{Cs}$  tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Brezilya fıındığı, HPGe, NORM, Radyoaktivite, Türk fıındığı

### Abstract

The aim of this study was to determine activity concentrations of Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) products and artificial radioisotopes in foods, and Brazil nut and Turkish hazelnut were selected from food products to be examined. The activity concentrations of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  radioisotopes in Brazil nut and Turkish hazelnut products purchased from 4 different brands operating in the UK were determined by a high purity germanium detector (HPGe) that performs gamma-ray counting. Ethically; all brands were encoded as A, B, C, and D. Activity concentrations of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in Brazil nut samples were found to lie in the range of  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg and  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg, respectively, whereas the activity concentrations of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in Turkish hazelnut samples were below minimum detectable activity (MDA) values. In all samples, the most dominant sources of radioactivity were  $^{40}\text{K}$  in range of  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg, and very low activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  were detected only in Turkish hazelnut samples purchased from D and A brands as  $1.1 \pm 0.2$  and  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg, respectively.

**Keywords:** Brazil nut, HPGe, NORM, Radioactivity, Turkish hazelnut

\*Kıvanç PEKER; kivanc.peker@tenmak.gov.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller (naturally occurring radioactive materials (NORM)); kozmolojik ve çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Kozmolojik radyonüklitler atmosferdeki oksijen ve nitrojen moleküllerinin yüksek enerjili kozmik ışınlarla bombardıman edilmesi sonucu oluşurken, çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler neredeyse evrenin ve dünyanın yaratılışından bu yana var olmaktadır. Çok uzun yarı ömürlü radyonüklitler toprak, su, gıda ve hava gibi çok geniş çevrelerde bulunmaktadır ve bu radyonüklitlere  $^{238}\text{U}$  (yarı ömür:  $4.47 \times 10^9$  yıl),  $^{232}\text{Th}$  (yarı ömür:  $1.41 \times 10^{10}$  yıl) ve  $^{40}\text{K}$  (yarı ömür:  $1.28 \times 10^9$  yıl) gibi radyonüklitler örnek olarak verilebilir (Malain vd., 2012; Kathren, 1998; Kurnaz vd., 2011a, 2011b; Kurnaz vd., 2007). Günlük hayatta maruz kalınan radyasyonun %85'i doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerden kaynaklanmaktadır ve bunun da çoğu doğal ortamda bulunan  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklitlerine ait bozunma zincirlerinden ve bozunma zincirine sahip olmayan  $^{40}\text{K}$  radyoizotopundan meydana gelmektedir (Alazemi vd., 2016; O'Brien & Cooper, 1998). Doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerin dışında  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{239}\text{Pu}$  gibi radyonüklitler de nükleer deneyler ve yaşanan kazalar sonucu oluşmaktadır ve bu sebepten ötürü yapay radyonüklitler olarak tanımlanmaktadır (Grdovic vd., 2010). Doğadaki radyonüklitlerin insani faaliyetler sonucu derişimlerinin artması durumunda bu radyonüklitler teknolojik olarak artırılmış radyoaktif materyaller (technologically enhanced radioactive materials (TENORM)) olarak adlandırılmaktadırlar. Bu insani faaliyetlere petrol ve doğal gaz arama çalışmaları örnek verilebilir (MacIntosh vd., 2021).

Çevre ve insan sağlığının güvenliği açısından NORM ve TENORM ürünlerinin düzenli olarak incelenmesi gerekmektedir. Özellikle NORM ürünlerinin gıdalarda bulunması sebebiyle gıda güvenliğinin sağlanabilmesi adına gıda örneklerine dair radyasyon ölçümlerinin yapılması önem arz etmektedir ve çerezler günlük beslenme alışkanlıklarının önemli bir bileşenidir. Bu nedenle, Birleşik Krallık'ta satışı gerçekleştirilen Brezilya fındığı ile Türk fındığı numunelerinin analiz edilmesi fikri ortaya çıkmıştır. Brezilya fındığı, Brezilya, Peru ve Bolivya ülkeleri sınırları arasında kalan Güney Batı Amazon bölgesinde yetişmekte olup bölge halkı için önemli bir geçim kaynağıdır (Kluczkowski vd., 2015) ve bu ülkeler sırasıyla 42, 49 ve 163 milyon dolarlık Brezilya fındığı ihraç etmektedirler (OEC, 2022). Türk fındığı ise Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Karadeniz Bölgesi'nde yetişmektedir. Senelik hasat edilen fındık miktarı yaklaşık 500 bin ton olup bu miktarın çoğu ihraç edilmektedir (Cevik vd., 2009). 2020-2021 fındık sezonunda Türkiye'de 665 bin ton fındık hasat edilirken 624 bin ton fındık ihraç edilmiştir (TEPGE, 2022).

Bu çalışmanın amacı, Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren farklı markalardan satın alınan Brezilya fındığı ile Türk fındığı örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite miktarlarının tespit edilmesidir.

## 2. Analitik yöntem

### 2. Analytical method

Toprakta, suda, gıdada, atmosferde ve evrenin herhangi bir yerinde sıklıkla rastlanılan ve doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller (en bilinenleri  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ile yapay radyoaktif izotoplar arasında gösterilen  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopuna ait aktivite konsantrasyonlarını belirleme çalışmaları gama ışınlarının sayımını gerçekleştiren yüksek saflıktaki germanyum dedektörü (High Purity Germanium Detector, HPGe) ile kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen bu çalışmada da HPGe dedektörü ve dedektörün geometrisi ile uyumlu olan Marinelli kapları kullanıldı. Analiz edilmek üzere gıda ürünlerinden Brezilya fındığı ile Türk fındığı numuneleri seçildi. Brezilya fındığı ve Türk fındığı numuneleri öğütülerek 550 mL hacimli Marinelli kaplarına konuldu ve numunelerdeki radyoizotopların aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi adına HPGe dedektörüne yerleştirildi. Ölçümler, 48 saat boyunca devam etti ve numunelere ait spektrumlar aktivite konsantrasyonlarının hesaplanabilmesi adına kullanıldı.

### 2.1. Örneklerin seçilmesi ve hazırlanması

#### 2.1. Selection and preparation of samples

Brezilya fındığı ve Türk fındığı numuneleri Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren 4 farklı markadan satın alındı. Ticari anlamda etik olması adına tüm markalar A, B, C ve D olarak kodlandı. Brezilya fındığı numuneleri A, B ve C markalarından, Türk fındığı numuneleri ise D, A ve B markalarından birer tane olacak şekilde satın alındı. Numunelerin, HPGe dedektöründe 550 mL hacimli Marinelli kapları kullanılarak analiz edilebilmesi

adına numuneler öncelikle Surrey Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan örnek hazırlama laboratuvarında blender kullanılarak öğütüldü ve ardından her bir Marinelli kabı  $243.0 \pm 0.1$  gram numune içerecek şekilde dolduruldu. Kapların ağızları kapatıldıktan sonra hava giriş çıkışının önlenmesi adına tüm kapların kapakları bantlanmak suretiyle mühürlendi. Örneklerin hangi markalardan satın alındıklarına, menşelerine, mühürlenme tarihlerine ve ağırlıklarına dair bilgiler Tablo 1’de verildi.

**Tablo 1.** Numunelere ait bilgiler

**Table 1.** Information about samples

Örnek no	Örnek türü - marka	Menşei	Mühürlenme tarihi (gg.aa.yyyy)	Kütle (g)
1	Brezilya fıındığı – A	Bolivya	28.06.2022	$243.0 \pm 0.1$
2	Brezilya fıındığı - B	Bolivya	30.06.2022	$243.0 \pm 0.1$
3	Brezilya fıındığı – C	Brezilya	11.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
4	Türk fıındığı – D	Türkiye	13.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
5	Türk fıındığı – A	Türkiye	20.07.2022	$243.0 \pm 0.1$
6	Türk fıındığı – B	Türkiye	22.07.2022	$243.0 \pm 0.1$

## 2.2. HPGe dedektörünün kalibrasyonu

### 2.2.. HPGe detector calibration

Analizlerde Birleşik Krallık’taki Surrey Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan ve Ortec MAESTRO Multichannel Anlyser Emulation Software programı ile çalışan HPGe dedektörü kullanıldı. Dedektöre ait özellikler şu şekildedir: Dedektör Modeli: GCW2021; Detektör Tipi: Coaxial; Çap ve Uzunluk: 62 mm, 48 mm; Aktif Alan:  $11.6 \text{ cm}^2$ ; ve Pencereden Uzaklık: 10 mm. Dedektörün kalibrasyonu ise dedektörün geometrisi ile uyumlu 550 mL Marinelli kaplarının içinde yer alan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{152}\text{Eu}$  radyoaktif standart kaynakları temin edilerek gerçekleştirildi. Her bir standart radyoaktif kaynak 24 saat süreyle dedektörde analiz edilerek dedektörün kalibrasyonu tamamlandı. Ra-226, Th-232 ve Eu-152 radyoaktif standart kaynaklarının başlangıç aktiviteleri sırasıyla 3100 Bq/kg (24.02.2009), 1080 Bq/kg (01.02.2009) ve 3020 Bq/kg (24.02.2009) olup, deneylerin gerçekleştirildiği tarihlerdeki aktiviteleri ise yine sırasıyla 3082 Bq/kg (18.06.2023), 1080 Bq/kg (21.06.2023) ve 1520 Bq/kg (16.06.2023) şeklindedir. Radyoaktif standart kaynaklarının güncel aktiviteleri ise 1 numaralı denklem kullanılarak belirlenmiş ve görselleri Şekil 1’de paylaşılmıştır.

$$A = \frac{A_0}{2^{t/t_{1/2}}} \quad (1)$$

$A_0$ = Radyoaktif standart kaynağın başlangıç tarihindeki aktivitesi,

$A$ =Radyoaktif standart kaynağın kalibrasyon amacıyla kullanıldığı tarihteki güncel aktivitesi

$t$ = Radyoaktif standart kaynağın bilinen aktivite tarihi ile kalibrasyon için kullanıldığı tarih arasındaki geçen süre (yıl)

$t_{1/2}$ =Radyoizotopun yarılanma süresi



**Şekil 1.** HPGe dedektörünün kalibrasyonu için kullanılan radyoaktif standart kaynakları ((A) Ra-226, (B) Th-232 ve (C) Eu-152 radyoaktif standart kaynakları)

**Figure 1.** Radioactive standard sources used for calibration of the HPGe detector ((A) Ra-226, (B) Th-232 and (C) Eu-152 radioactive standard sources)



### 2.3. Aktivite konsantrasyonlarının hesaplanması

#### 2.3. Calculation of activity concentrations

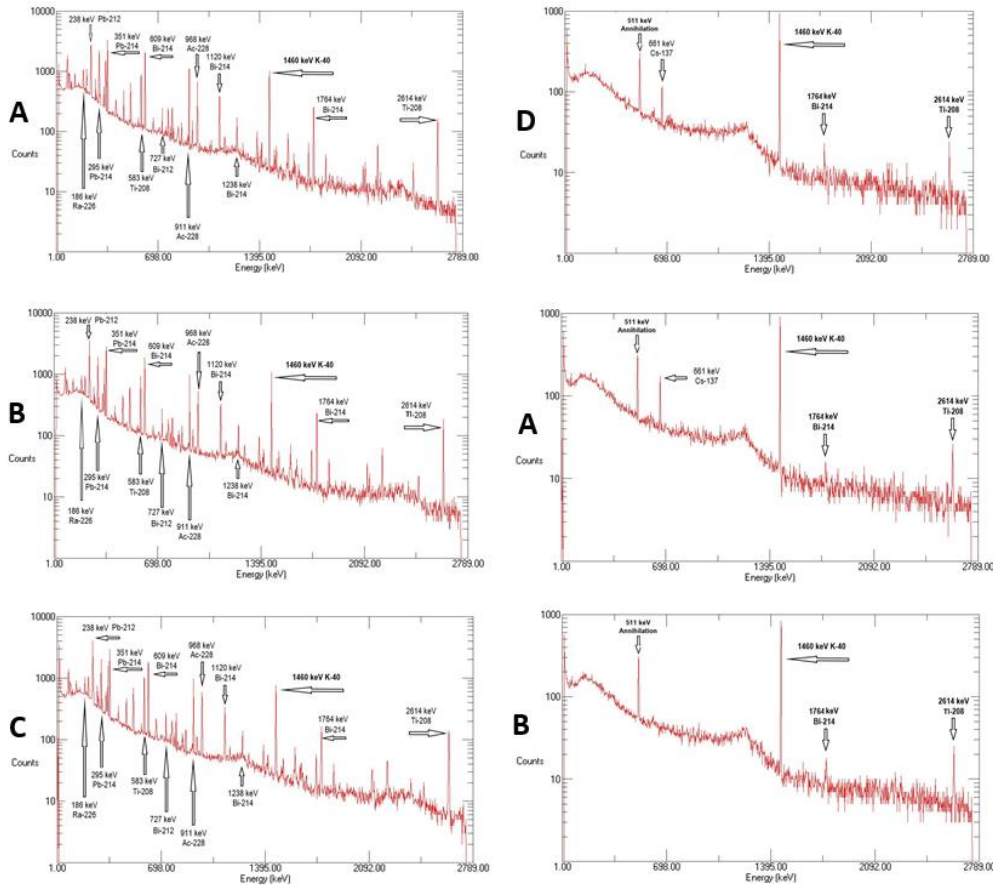
Numunelerin analizlerine geçilmeden önce 48 saat (172800 saniye) süresince ortam ölçümleri gerçekleştirildi. Ortam ölçümlerinde  $^{40}\text{K}$  (1460 keV),  $^{238}\text{U}$  serisinden kaynaklanan  $^{214}\text{Bi}$  (1764 keV) ve  $^{232}\text{Th}$  serisinden kaynaklanan  $^{208}\text{Tl}$  (2614 keV) tespit edilmiştir. Ortam ölçümlerinde saptanan radyoizotoplara ait piklerdeki sayım değerleri, aynı radyoizotopların numunelerdeki ölçümlerinde sahip oldukları sayım değerlerinden çıkarılmıştır. Böylece, ortamın ölçümler üzerine etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Dedektörün tespit edebileceği en düşük aktivite (Minimum Detectable Activity) 2 numaralı denklem kullanılarak belirlenmiştir (Malain vd, 2010).  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopları için MDA değerleri sırasıyla 0.56 Bq/kg, 0.59 Bq/kg ve 1.04 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{4.653 \sigma_{NB} + 2.706}{\varepsilon P_{\gamma} T} \quad (2)$$

$\sigma_{NB}$ ; standart sapma,  $\varepsilon$ ; verim,  $P_{\gamma}$ ; bolluk,  $T$ ; analiz süresi (saniye).

Ortam ölçümlerinin ardından Brezilya fıındığı ile Türk fıındığı numuneleri 48 saat süresince HPGe dedektöründe analiz edildi. Örneklerin  $^{238}\text{U}$  aktivitelerini belirlemek için  $^{226}\text{Ra}$  (186.11 keV),  $^{214}\text{Pb}$  (241.99, 295.99 ve 351.93 keV) ve  $^{214}\text{Bi}$  (609.32, 768.36, 934.06, 1120.29, 1238.11 ve 1764.49 keV) radyoizotoplarına ait net sayım değerleri kullanıldı. Benzer şekilde,  $^{232}\text{Th}$  aktivitelerinin belirlenebilmesi için  $^{212}\text{Pb}$  (238.62 ve 300.08 keV),  $^{228}\text{Ac}$  (338.32, 911.20 ve 968.97 keV),  $^{208}\text{Tl}$  (583.19 ve 2614.53 keV) ve  $^{212}\text{Bi}$  (727.33 keV) radyoizotoplarına ait net sayım değerleri kullanıldı. 661 ve 1460 keV'deki net sayım değerleri ise sırasıyla  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının aktivitelerini hesaplamak için kullanıldı (Malain vd., 2010; Santawamaitre vd., 2014).



**Şekil 2.** Brezilya fıındığı (sol sütun: üstten aşağı A, B ve C markalarına ait spektrumlar) ve Türk fıındığındaki (sağ sütun: üstten aşağı D, A ve B markalarına ait spektrumlar) radyoizotoplara ait pikler

**Figure 2.** Peaks of radioisotopes in Brazil nut (left column: spectra of brands A, B, and C from top to bottom) and Turkish hazelnut (right column: spectra of brands D, A and B from top to bottom)



Numunelere ait spektrumlar Şekil 2’de verildi. Radyoizotoplara ait aktivite konsantrasyonlarının hesaplanmalarında öncelikle radyoizotoplara ait olan pikler incelendi ve alanları (ROI) belirlendi. Bu pik alanlarındaki toplam sayım değerleri kullanılarak 3 numaralı denklem vasıtasıyla aktivite sonuçları Bq/kg olarak hesaplandı (Cevik vd., 2009; Çelik vd., 2009; Malain vd., 2010; Alazemi vd., 2016; Gurgun vd., 2019).

$$A = \frac{C_n}{\varepsilon_f P_\gamma t_s m} \quad (3)$$

$C_n$ ; net sayım (ortamdan gelen sayımlar çıkarıldı),  $\varepsilon_f$ ; verim,  $P_\gamma$ ; bolluk,  $t_s$ ; analiz süresi (saniye),  $m$ ; numune kütlesi (kg).

### 3. Analiz sonuçları ve tartışmalar

#### 3. Analysis results and discussions

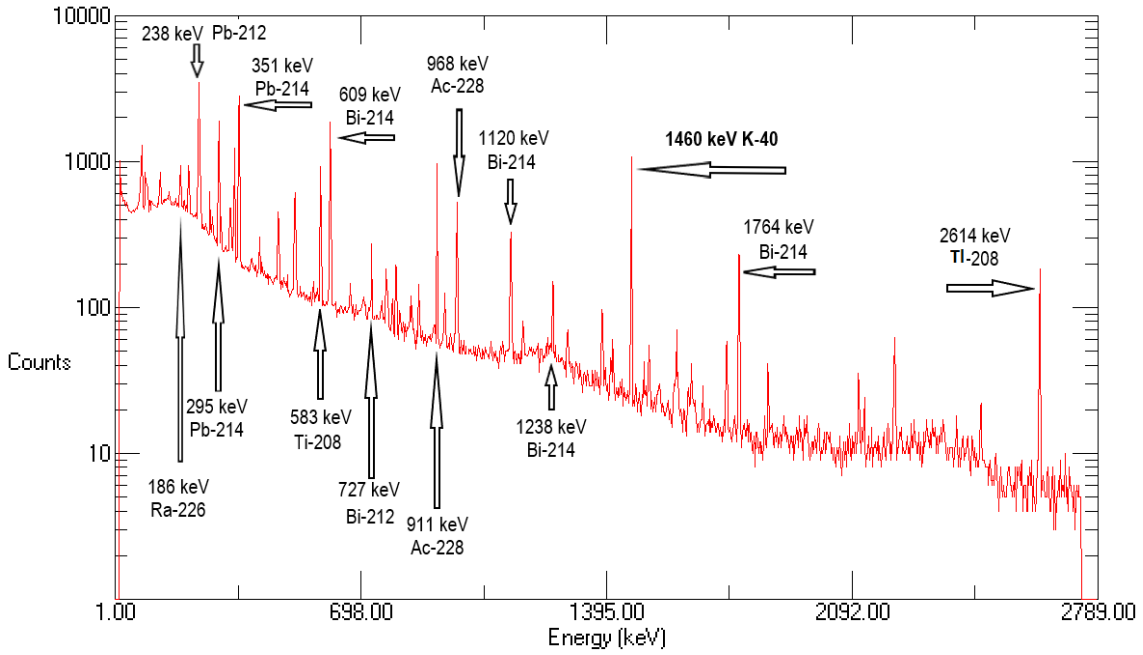
Brezilya findığı ve Türk findığı ürünlerinden farklı markalardan satın alınan numuneler analiz edildi (Brezilya findığı 3 adet (A, B, C markaları), Türk findığı 3 adet (A, B, D markaları)). Brezilya findığı numunelerine ait  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralığında bulunurken Türk findığı numunelerinin  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları dedektör için saptanabilen en düşük aktivite (minimum detectable activity, MDA) değerlerinin altında kaldığı belirlendi. Numunelerin  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları değerlendirildiğinde en yüksek  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine C markasından satın alınan Brezilya findığında rastlandı. Brezilya findığı ve Türk findığı numunelerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının ise  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında değiştiği, en düşük  $^{40}\text{K}$  aktivitesine ( $220.0 \pm 3.4$  Bq/kg) A markasından satın alınan Brezilya findığı numunesi sahipken en yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivitesine ( $242.0 \pm 3.4$  Bq/kg) ise D markasından temin edilen Türk findığı numunesinin sahip olduğu tespit edildi. Tüm numuneler arasında ise sadece D ve A markalarından satın alınan Türk findığı numunelerinde 1986 senesinde yaşanan Çernobil faciasıyla ilişkilendirilebilen  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun varlığı tespit edilirken, numunelere ait  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $1.1 \pm 0.2$  ve  $1.8 \pm 0.1$  Bq/kg olarak ölçüldü. Numunelere ait aktivite konsantrasyonu bilgileri Tablo 2’de paylaşıldı. Analiz sonuçlarından anlaşıldığı üzere incelenen Brezilya findığı numunelerine ait doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) kaynaklı radyasyon Türk findığı numunelerine ait doğal olarak oluşan radyoaktif materyaller kaynaklı radyasyondan daha yüksektir.

**Tablo 2.** Numunelerin aktivite konsantrasyonları sonuçları (Bq/kg)

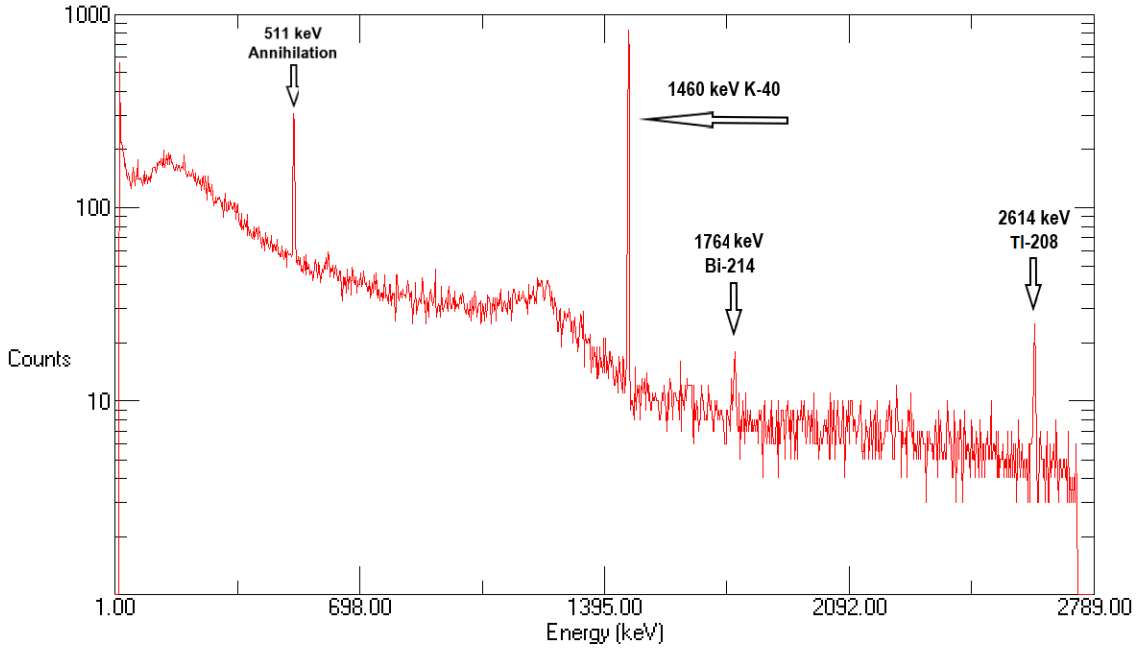
**Table 2.** Activity concentrations results (Bq/kg) of samples

Örnek no	Çerez türü - markası	Aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)			$^{137}\text{Cs}$
		$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	
1	Brezilya findığı - A	$34.2 \pm 0.4$	$19.0 \pm 0.3$	$220.0 \pm 3.4$	-
2	Brezilya findığı - B	$33.9 \pm 0.4$	$22.4 \pm 0.3$	$237.0 \pm 3.4$	-
3	Brezilya findığı - C	$35.5 \pm 0.4$	$31.3 \pm 0.4$	$239.0 \pm 3.7$	-
4	Türk findığı - D	<MDA	<MDA	$242.0 \pm 3.4$	$1.1 \pm 0.2$
5	Türk findığı - A	<MDA	<MDA	$227.0 \pm 3.2$	$1.8 \pm 0.1$
6	Türk findığı - B	<MDA	<MDA	$234.0 \pm 3.3$	-

B markasından satın alınan Brezilya findığı ve Türk findığı numunelerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verildi: Türk findığı numunelerinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif bozunma zincirlerine ait pikler bulunmaması sebebiyle Türk findığı numunelerine ait spektrumların Brezilya findığı numunelerine ait olan spektrumlara göre oldukça sade olduğu gözlemlendi.

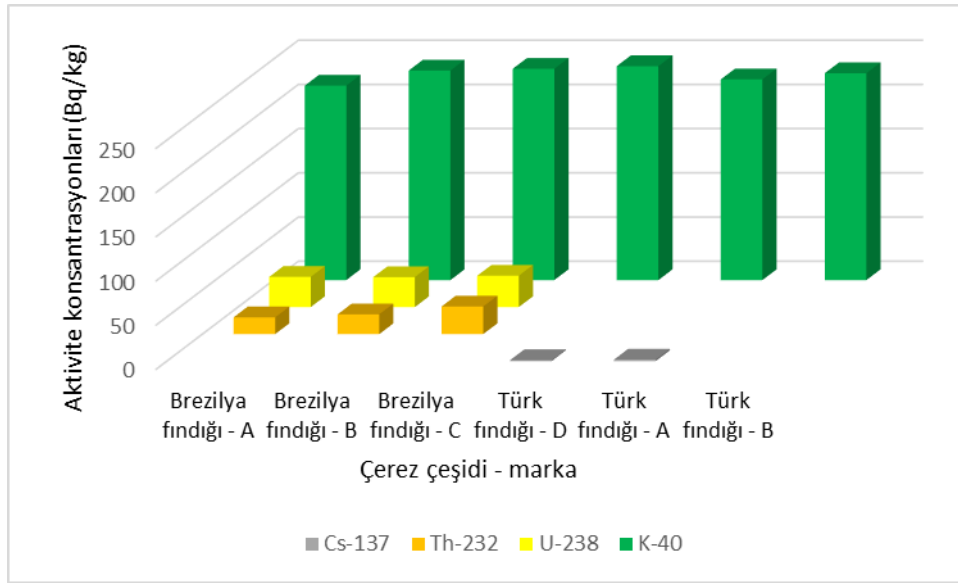


**Şekil 3.** Brezilya fıındığı numunesine ait olan spektrum (B Marka)  
**Figure 3.** Spectrum belonging to the Brazil nut sample (Brand B)



**Şekil 4.** Türk fıındığı numunesine ait olan spektrum (B Marka)  
**Figure 4.** Spectrum belonging to the Turkish hazelnut sample (Brand B)

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarına ait aktivite sonuçları değerlendirildiğinde en baskın radyoaktivite kaynağının  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında aktivite gösteren  $^{40}\text{K}$  olduğu anlaşıldı ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopunun baskınlığının daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmesi adına aktivite konsantrasyonları üç boyutlu sütun grafiği kullanılarak Şekil 5'te verildi.



**Şekil 5:**  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivite sonuçlarının çubuk grafiğinde karşılaştırılması  
**Figure 5.** Comparison of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity results in bar graph

### 3.1. Gerçekleştirilen çalışma ile literatürdeki diğer çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi

#### 3.1. Assessment of current study and literature results

Gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile literatürdeki diğer çalışmalara ait sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, mevcut çalışmada analiz edilen Türk fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoizotoplarına ait aktivite konsantrasyonlarının kullanılan dedektör için tespit edilebilen en düşük aktivite konsantrasyonlarının altında olduğu ve Türk fındığı ile gerçekleştirilen diğer çalışma sonuçlarında ise  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla  $5 \leftrightarrow 7$  (ortalama) ile  $8 \leftrightarrow 12$  (ortalama) Bq/kg (Çevik vd., 2009) aralıklarında olduğu tespit edilmiştir. Türk fındığına ait  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışmalarda  $83 \leftrightarrow 137$  (ortalama) Bq/kg ve mevcut çalışmada  $227 \leftrightarrow 242$  Bq/kg olması sebebiyle, mevcut çalışmada tespit edilen  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının diğer çalışma sonuçlarından bir miktar yüksek olduğu belirlendi. Türk fındığı numunelerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının hem mevcut çalışmada hem de literatürdeki diğer çalışmalardaki sonuçlarla hemen hemen aynı olduğu gözlemlendi (ortalama  $1 \leftrightarrow 2$  Bq/kg aralığında).

Literatürdeki diğer çalışmalarda Brezilya fındığı numunelerinde  $1 \leftrightarrow 13$  Bq/kg aralığında  $^{137}\text{Cs}$  varlığı bildirilirken (Armelin, 2016), mevcut çalışmada Brezilya fındığı numunelerinde  $^{137}\text{Cs}$  tespit edilemedi.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları sonuçlarının ise genel itibari ile literatürdeki aktivite konsantrasyonlarının sahip olduğu aralık içerisinde yer aldığı tespit edildi. Mevcut çalışmaya ait özet sonuçlar ile literatürdeki diğer çalışmalara ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Doğal olarak oluşan radyoaktif materyallerin sebep olduğu radyoaktivitenin ölçülmesinin önemli olduğu kadar nükleer deneyler, kazalar sonucu yeryüzüne ve atmosfere karışan yapay radyonüklitlerin de incelenmesi oldukça önemlidir. Hele ki Türkiye'nin nükleer programını yeniden açtığını ilan etmesinin ardından (Peker, 2019; Kaygusuz & Avcı, 2021) nükleer enerji santrallerinin inşaa edilme süreçlerinin başlatılmasıyla Türkiye için yapay radyonüklitlerin sürekli olarak incelenmesi çok daha fazla önem arz etmeye başlamıştır.

## 4. Sonuç

### 4. Conclusion

Tüm numuneler içinde, en baskın radyoaktivite kaynağı  $^{40}\text{K}$ 'tır ve aktivite konsantrasyonları  $220.0 \pm 3.4 \leftrightarrow 242.0 \pm 3.4$  Bq/kg aralığında değişmektedir. Brezilya fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $33.9 \pm 0.4 \leftrightarrow 35.5 \pm 0.4$  Bq/kg ve  $19.0 \pm 0.3 \leftrightarrow 31.3 \pm 0.4$  Bq/kg aralıklarında iken, Türk fındığı numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları tespit edilebilen en düşük aktivitenin (MDA) altında kalmıştır. Türk fındığı numunelerinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif bozunma serilerine ait pikler bulunmaması sebebiyle spektrumlarının Brezilya fındığı numunelerine ait spektrumlardan çok daha sade olduğu belirlendi.

**Tablo 3.** Mevcut çalışma ile literatürdeki diğer çalışmalara ait Brezilya fındığı ve Türk fındığı numunelerinin aktivite konsantrasyonları (Bq/kg)

**Table 3.** Activity concentrations (Bq/kg) of Brazil nut and Turkish hazelnut samples from the Current Study and other studies in the literature

Çerez türü	Menşei	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	Referanslar
Türk fındığı	Türkiye	<MDA	<MDA	227.0 ± 3.2 ↔ 242.0 ± 3.4	1.1 ± 0.2 ↔ 1.8 ± 0.1	mevcut çalışma
Türk fındığı	Türkiye	5↔7 (ortalama)	8↔12 (ortalama)	83↔137 (ortalama)	1↔2 (ortalama)	Cevik (2009)
Brezilya fındığı	Brezilya ve Bolivya	33.9 ± 0.4 ↔ 35.5 ± 0.4	19.0 ± 0.3 ↔ 31.3 ± 0.4	220.0 ± 3.4 ↔ 239.0 ± 3.7	<MDA	mevcut çalışma
Brezilya fındığı	Brezilya	24	26	195		Garcez (2019)
Brezilya fındığı	Brezilya - 2010-2013 dönemi ürünleri	26↔65	57↔235	189↔275	1↔13	Armelin (2016)

Yapay radyoaktivitenin bir göstergesi olan <sup>137</sup>Cs ise sadece D ve A markalarından satın alınan Türk fındığı numunelerinde tespit edilmiştir ve aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1.1 ± 0.2 ve 1.8 ± 0.1 Bq/kg'dır. Hem doğal ve hem de yapay radyoaktivite kaynaklarının gözlem altında tutulmasının önemli olması ve özellikle de Türkiye'nin nükleer enerji santrali inşaa etmesi sebebiyle bu dönemlerde çevresel radyoaktivitenin sürekli olarak izlenmesi oldukça önemlidir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Yazar, YLSY programı kapsamında sağlamış olduğu burs sebebiyle Milli Eğitim Bakanlığına ve çalışanlarına, Birleşik Krallık'taki Surrey Üniversitesi Fizik Bölümü Çevresel Radyoaktivite Laboratuvarı imkanlarının kullanılmasına olanak sağlayan Surrey Üniversitesi yöneticilerine, deneyler sırasında radyoaktivite konularında sağlamış olduğu akademik danışmanlık sebebiyle Surrey Üniversitesi akademik personellerinden Prof. Patrick H. REGAN'a, enerji alanındaki uzmanlık bilgilerini sonuna dek paylaşan ve akademik anlamda yardımlarını eksik etmeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Kamil KAYGUSUZ'a, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında katkıda bulunan editörlere ve hakemlere teşekkür eder.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Kıvanç PEKER: Literatür taraması, deney materyallerinin temin edilmesi ve deneylere hazırlanması, HPGc dedektörünün kullanılması, analiz sonuçlarının yorumlanması

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

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

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

- Alazemi, N., Bajoga, A., Bradley, D., Regan, P., & Shams, H. (2016). Soil radioactivity levels, radiological maps and risk assessment for the State of Kuwait. *Chemosphere*, 154, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.057>
- Armelin, M. J. (2016). Activity levels of gamma-emitters in Brazil nuts. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 4(1). <https://doi.org/10.15392/bjrs.v4i1.200>
- Bajoga, A., Alazemi, N., Regan, P., & Bradley, D. (2015). Radioactive investigation of NORM samples from southern Kuwait soil using high-resolution gamma-ray spectroscopy. *Radiation Physics and Chemistry*, 116, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.01.041>
- Celik, N., Cevik, U., Celik, A., & Koz, B. (2009). Natural and artificial radioactivity measurements in eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.017>
- Cevik, U., Celik, N., Celik, A., Damla, N., & Coskuncelebi, K. (2009). Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the eastern Black Sea region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47(9), 2351-2355. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.06.029>
- Garcez, R. W., Lopes, J. M., Figueiras, R. A., & Silva, A. X. (2019). Study of K-40, Ra-226, Ra-228 and Ra-224 activity concentrations in some seasoning and nuts obtained in Rio de Janeiro city, Brazil. *Food Science and Technology*, 39(1), 120-126. <https://doi.org/10.1590/fst.27717>
- Grdovic, S., Vitorovic, G., Mitrovic, B., Andric, V., Petrujkic, B., & Obradovic, M. (2010). Natural and anthropogenic radioactivity of feedstuffs, mosses and soil in the Belgrade environment, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 62(2), 301-307. <https://doi.org/10.2298/abs1002301g>
- Gurgen, A., Yıldız, S., Cevik, U. & Celik, A. (2019). Radionuclide activity concentrations of agaricus bisporus and pleurotus ostreatus mushrooms cultivated in different commercial companies. *Journal of International Environmental Application and Science*, 14(1), 13-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/691869>
- Kathren, R. L. (1998). NORM sources and their origins. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(3), 149-168. [https://doi.org/10.1016/s0969-8043\(97\)00237-6](https://doi.org/10.1016/s0969-8043(97)00237-6)
- Kaya, S., Karabidak, S., & Cevik, U. (2015). Gümüşhane ili çevresinde toplanan toprak ve karayosunu örneklerinde doğal (226Ra, 232th ve 40k) ve yapay (137Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 24. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2015.05.002>
- Kaygusuz, K., & Avci, A. C. (2021). Nuclear power in Turkey for low carbon economy and energy security: a socioeconomic analysis. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1881-1889. <http://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/view/266/233>
- Kluczkovski, A. M., Martins, M., Mundim, S. M., Simoes, R. H., Nascimento, K. S., Marinho, H. A. & Kluczkovski Junior, A., (2015). Properties of brazil nuts: A review. *African Journal of Biotechnology*. 14(8), 642- 648. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14184>
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G. & Cevik, U. (2007). Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*. 65, 1281-1289. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.06.001>
- Kurnaz, A., Kucukomeroglu, B., Damla, N., & Cevik, U. (2011a). Radiological maps for Trabzon, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(4), 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.02.009>
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Çevik, U., & Çelebi, N. (2011b). Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(10), 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.06.016>

- MacIntosh, A., Dafforn, K., Penrose, B., Chariton, A., & Cresswell, T. (2021). Ecotoxicological effects of decommissioning offshore petroleum infrastructure: A systematic review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(18), 3283-3321. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1917949>
- Malain, D., Regan, P., Bradley, D., Matthews, M., Santawamaitre, T., & Al-Sulaiti, H. (2010). Measurements of NORM in beach sand samples along the Andaman coast of Thailand after the 2004 tsunami. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 619(1-3), 441-445. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.11.047>
- Malain, D., Regan, P., Bradley, D., Matthews, M., Al-Sulaiti, H., & Santawamaitre, T. (2012). An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(8), 1467-1474. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.04.017>
- O'Brien, R., & Cooper, M. (1998). Technologically enhanced naturally occurring radioactive material (NORM): pathway analysis and radiological impact. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(3), 227-239. [https://doi.org/10.1016/s0969-8043\(97\)00244-3](https://doi.org/10.1016/s0969-8043(97)00244-3)
- Peker, K. (2019). Energy utilization and policies in Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science*. 8(1), 1033-1040. Erişim adresi: <http://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/view/150>
- Santawamaitre, T., Malain, D., Al-Sulaiti, H., Bradley, D., Matthews, M., & Regan, P. (2014). Determination of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K activity concentrations in riverbank soil along the Chao Phraya river basin in Thailand. *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.07.017>
- Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü (2022). *Ürün Raporu FINDIK*. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20C3%9Cr%20Raporlar%20C4%B1/2022%20C3%9Cr%20Raporlar%20C4%B1/F%20C4%B1nd%20C4%B1k%20C3%9Cr%20Raporu%202022-365%20TEPGE.pdf>
- The Observatory of Economic Complexity (2022, April 15). *Brazil nuts, fresh or dried* [https://oec.world/en/profile/hs/brazil-nuts-fresh-or-dried#:~:text=Brazil%20nuts%20fresh%20or%20dried%20are%20the%20world's%203217th%20most,and%20Netherlands%20\(%2420.3M\)](https://oec.world/en/profile/hs/brazil-nuts-fresh-or-dried#:~:text=Brazil%20nuts%20fresh%20or%20dried%20are%20the%20world's%203217th%20most,and%20Netherlands%20(%2420.3M))
- United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2000). *Sources and effects of ionizing radiation 2000 report*, Volume I. <https://doi.org/10.18356/49c437f9-en>



## Bazaltlarda olivin serpantinleşmesinin tek eksenli basınç dayanımına ve görünür gözenekliliğe etkisi

*The effect of olivine serpentinization on uniaxial compressive strength and apparent porosity in basalts*

Kadir KARAMAN\*<sup>1</sup> , Hasan KOLAYLI<sup>2</sup> , Yaşar ÇAKIR<sup>3</sup> , Erdoğan TİMURKAYNAK<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>3</sup>Trabzon Valiliği Planlama ve Koordinasyon Daire Başkanlığı, 61130, Trabzon

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 03.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

Bu çalışmada, artan serpantinleşme oranı ile kayanın tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve görünür gözenekliliği arasında bir ilişki gözlemlenmiş ve serpantinleşmenin sebepleri araştırılmıştır. Stratigrafik olarak farklı kot seviyelerinde bulunan çalışma alanı, alterasyon zonlarına göre üç sınıfa (A1, M2 ve M3) ayrılmıştır. Ayrıca, petrografik ince kesit çalışmaları ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizleri yapılmıştır. İnce kesit analizine göre olivinin serpantinleşmesi A1 bazaltları için %8.25 iken, bu değer M3 bazaltları için %75.5'tir. SEM analizleri, numunelerin özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlaklar gibi bazı mikro-yapısal kusurlara sahip olduklarını göstermiştir. Serpantinleşme oranı ile UCS ve n (%) arasındaki korelasyon derecesi hem kuru hem de doymun numuneler için 0.96-0.97 arasında değişmiştir. Ancak A1, M2 ve M3'ün ortalama değerleri (serpantinleşme oranı, UCS, n (%)) daha yüksek korelasyon katsayıları ( $r \approx 1$ ) sergilemiştir. M3'ün volkan konisi ve fay hattına yakınlığı ile stratigrafik olarak daha yüksek kotlardaki konumu serpantinleşmeye neden olan önemli faktörler olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Görünür gözeneklilik, Serpantinleşme oranı, Tek eksenli basınç dayanımı

### Abstract

In this study, a relationship was observed between increasing rate of serpentinization with rock's uniaxial compressive strength (UCS) and apparent porosity, and the reasons for serpentinization were investigated. The study area, which is stratigraphically at different elevation levels, is divided into three classes (A1, M2 and M3) according to the alteration zones. Petrographic thin section studies and Scanning Electron Microscopy (SEM) analyses were also carried out. According to the thin section analysis, serpentinization of olivine was obtained 8.25% for A1 basalts, while this value was 75.5% for M3. SEM analyses indicated that the samples have some microstructural defects such as micro-cracks especially in M2 and M3 basalts. The correlation degree between serpentinization rate with UCS and n (%) of basalts varied between 0.96-0.97 both for dry and saturated samples. However, the average values (serpentinization rate, UCS, n (%)) of A1, M2 and M3 exhibited the higher correlation coefficients ( $r \approx 1$ ). The proximity of the volcanic cone and the fault line of M3, as well as its higher stratigraphical elevations, were considered to be the important factors causing serpentinization.

**Keywords:** Apparent porosity, Serpentinization rate, Uniaxial compressive strength

\*Kadir KARAMAN; kadirkaraman@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Magmatik kayaların petrografik olarak adlandırılmasında doku, mineral tür ve oranları dikkate alınırken, mikro-çatlak, gözenek ve anizotropi gibi özellikleri de mühendislik açısından önem taşır (Franklin, 1970). Ulusay vd. (1994) ve Tuğrul & Zarif (1999) kayaların mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesinde dokusal özelliklerinin etkisinin mineral içeriğinden daha önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, görünür gözeneklilik, doku ve yapısal anizotropi bakımından farklılık arz eden kayaların, dayanım ve deformasyon özelliklerinde de değişikliklere sahip olması beklenebilir (Karaman & Bakhytzhay, 2020). Kayaların yoğunluk ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri, hacim ve kütlelerinin yanı sıra gözenek ve boşluk özellikleri ile ilişkilidir. Kayaç yoğunluğunun azalması ve görünür gözenekliliğin artması, kayacı oluşturan mineral daneleri ve dokusuna ilave olarak kayaç bünyesindeki boşluk oranındaki artışla da orantılıdır. Dolayısıyla dayanım gibi kayaların bazı önemli mekanik özelliklerinde azalma meydana gelecektir. Kayaların tek eksenli basınç dayanım (UCS) parametresi inşaat, maden ve jeoloji mühendisleri için oldukça önemli olup, geoteknik uygulamalarda (tünel gibi yeraltı açıklık tasarımı ve şev stabilitesi vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekanikliği Birliği (ISRM) kayaç dayanımının tayin edilmesinde tavsiyede bulunmuşlardır. Fakat UCS'nin belirlenmesi geoteknik uygulamaların ön aşamasında nispeten pahalı, zaman alıcı ve zahmetli olabilmektedir (Kaya & Karaman, 2016). Sharo & Al-Tahawa (2019) kayaların UCS ve mühendislik özellikleri arasındaki ilişki yeterince araştırılmış olsa da bazaltlarda hala söz konusu parametreler arasında az sayıda çalışmanın olduğunu vurgulamışlardır.

Bazalt, yerkabuğunun en yaygın volkanik kayası olup, beton yapımında kullanılan agregalar, havaalanı kaplama inşaatı, barajlar ve dalgakıranlar için kaya dolgusu, demiryolu balastı için malzeme dahil olmak üzere çeşitli kaya mühendisliği ve jeomekanik amaçlar için kullanılmıştır (Goodman, 1993; Alemdağ vd. 2008). Bazalt kayaları kullanılarak farklı amaçlar doğrultusunda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Gürocak & Kılıç (2005) ayrışmanın Miyosen bazaltlarının jeomekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve bazaltların ayrışma derecesi ile jeomekanik özellikleri arasında iyi derecede doğrusal ilişkiler bulmuşlardır. Juneja & Endait (2017) ultrasonik dalga hızları ile bazaltın fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve ultrasonik dalga hızının bazaltın yoğunluk ve gözenekliliğinden bağımsız olduğunu iddia etmişlerdir. Murthy vd. (2021) gözenekliliğin vesiküler ve amigdaloidal bazaltların mühendislik özelliklerine etkisini incelemiş ve UPV hariç görünür gözeneklilik  $> 8-10$  olduğunda bazaltlarda UCS, elastisite modülü ve Poisson oranı için iyi düzeyde bir korelasyon elde edildiği gözlemlenmiştir. Youssouf Mahamat Tahir & Karaman (2021) bazaltlar için UCS/PLI oranının (k) değişimini bölgesel ve küresel bir perspektiften incelemiş ve bazaltlar için optimum k oranının  $17 \leq k \leq 20$  aralığında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Liu vd. (2022) heterojenliğin ve numune boyutunun bazaltın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

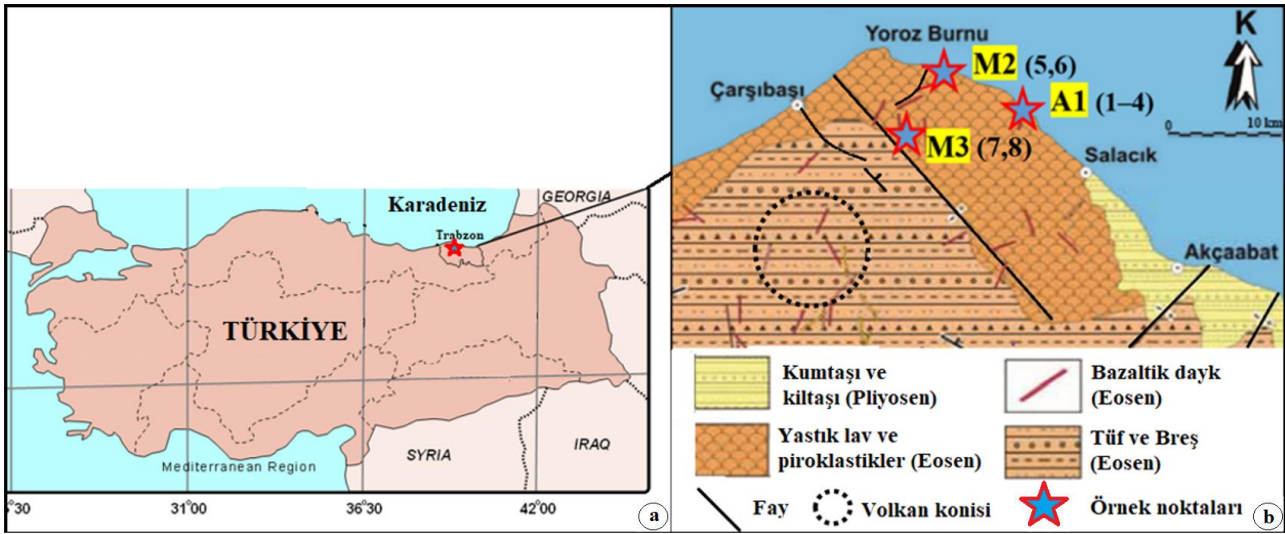
Serpantinleşme, okyanus tabanındaki ultramafik kayaların veya dalma-batma bölgelerinin en yaygın alterasyon sürecidir. Serpantinleşme ile ağırlıkça %10–12 su ilavesi olduğunda kaya yoğunluğu azalır ve hacmi artar. Böylece kaya daha zayıf bir hale gelir (Escartin vd. 2001; Deschamps vd. 2013). Literatürde bir heyelan sahasındaki dünitlerde gözlenen serpantinleşmenin derinlikle, eklem ve faylarla ilişkisi araştırılmıştır (Breuninger vd., 2021).

## 2. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi

### 2. The geology of the study area and its vicinity

Çalışmanın konusu bazaltlar, Akçaabat (Trabzon), Akçakale-Mersin mahalle sınırları içinde 3 ayrı alanda yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde yastık yapılu bazaltlar, bazaltik dayklar ve siller ile bazaltik piroklastik ürünler bulunmaktadır. Bazaltlar Eosen yaşlı olup, yine aynı yaşlı piroklastitler içinde prizmatik dayk şeklinde bulunmaktadır. Daykların kalınlığı 12-15 metre arasında olup her birinin yayılım alanı 1 hektardan fazladır. Çalışılan numunelere ait 3 farklı lokasyon; Akçakale 1 (A-1), Mersin 2 (M-2), Mersin 3 (M-3) şeklindedir (Şekil 1). Fay, volkan konisi ve dayk gibi tektonik unsurların çalışma sahası ve çevresinde yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada aynı sahanın farklı bölgelerinden alınan ve eş/çok yakın mineralojik içeriğe sahip bazalt örneklerinin görünür gözeneklilik ve dayanım değerlerinde önemli farklılık gözlenmiştir. Literatüre katkı sağlamak amacıyla örnek noktalarının jeolojik ve tektonik özellikleri ile bazalt örneklerinin petrografik ince kesit ve SEM analizleri yapılarak farklılığın nedenleri çok yönlü olarak ele alınmıştır. Literatür

incelendiğinde bazaltlar üzerinde çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen olivinlerdeki serpantinleşme oranının mühendislik özelliklerine etkisi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır.

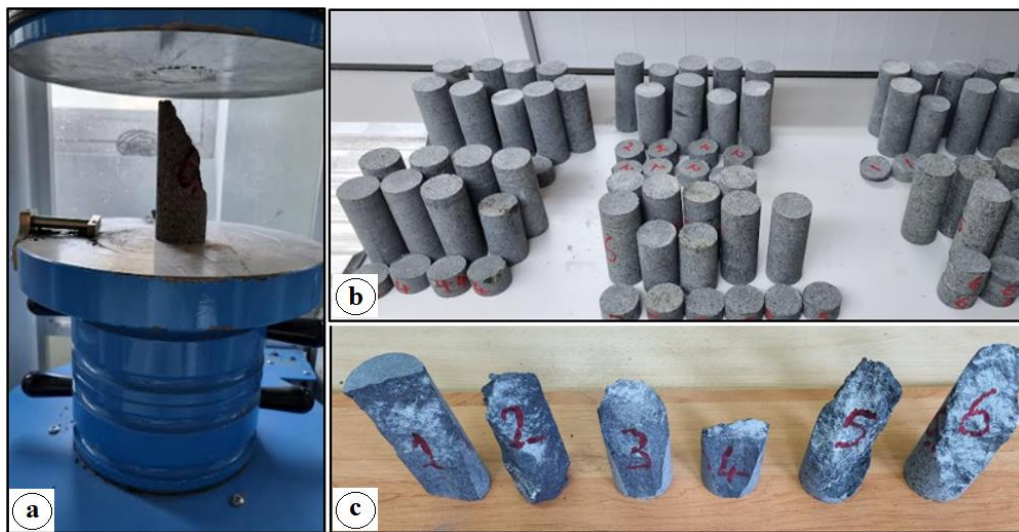


**Şekil 1.** Çalışma sahasının yer bulduru (a) ve jeolojik haritası (b) (Yücel vd., 2014'ten değiştirilmiştir)  
**Figure 1.** Location (a) and geological map of the study area (b) (modified from Yücel et al., 2014)

### 3. Deneysel çalışmalar ve yöntem

#### 3. Experimental studies and method

Deneysel çalışmalarda kullanılan karot numuneleri (NX: 54,7 mm), karot alma makinesi kullanılarak sahanın 3 farklı noktasından getirilen 8 farklı kaya bloklarından alınmıştır. Karot numunelerinin uçları düz, taşlanmış ve birbirine paralel hale getirilmiştir. Ayrıca, karot numunelerin kesilen uç yüzleri,  $\pm 0,02$  mm hassasiyetinde olacak şekilde düzeltilmiş ve komparatör ile düzgünlüğü test edilmiştir. Makroskopik bir incelemenin ardından, deneysel test için yalnızca düzgün ve görünür eklem içermeyen numuneler kullanılmıştır. Deneyler kuru ve doymun koşullar altında gerçekleştirilmiştir. NX çaplı (5.47 cm) ve boy/çap (L/D) oranı 2.5 olan karot örnekler laboratuvarında tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneylerinde kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü hidrolik pres makinasıyla yapılan deneylerde örnek yenilene kadar yükleme hızı 0.75 MPa/s olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde her bazalt bloğu için kuru ve doymun durumda 10'ar adet karot olmak üzere toplam 80 adet örnek kullanılmış ve her bir kaya bloğu için 5'er adet karottan elde edilen UCS değerlerinin ortalaması alınarak kaya dayanımı belirlenmiştir (ISRM, 2007).



**Şekil 2.** UCS deney aleti (a), deneyler için hazırlanan karot örnekleri (b), deneye tabi tutulan bazı örnekler (c)  
**Figure 2.** UCS test instrument (a) core samples prepared for experiments (b), some specimens subjected to test (c)

UCS deneyi için kullanılan karot numuneleri aynı zamanda görünür gözeneklilik (% n) tayini için de kullanılmıştır. Görünür gözeneklilik ölçümlerinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\text{Görünür boşluk hacmi (V}_b\text{), cm}^3 = (M_D - M_K) \quad (1)$$

$$\text{Görünür gözeneklilik (\%n)} = V_b / V_T \times 100 \quad (2)$$

Burada;  $M_D$  = doymun kütle (gr),  $M_K$  = kuru kütle (gr) ve  $V_T$  = toplam hacimdir.

### 3.1. İstatistiksel değerlendirmeler

#### 3.1. Statistical evaluations

Korelasyon analizi, bir değişkenin iki veya daha fazla değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel yöntemdir (Alemdağ & Gürocak, 2011; Dağ, 2018; Gültekin & Dağ, 2023). Bu çalışmada, serpantinleşme oranının bazaltların tek eksenli basınç dayanımı ve görünür gözeneklilik değerleri ile ilişkisi korelasyon analizi ile test edilmiştir. Ayrıca verilere hem t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson'un kritik r değerleri ile karşılaştırılmıştır. t testi ile korelasyon katsayısının anlamlılığı 0.95 anlamlılık düzeyinde ve n-2 serbestlik derecesinde (3) nolu eşitlik kullanılarak test edilmiştir.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (3)$$

Burada; r = korelasyon katsayısı ve n = örnek sayısıdır.

## 4. Bulgular

### 4. Results

Tablo 1 incelendiğinde görünür gözeneklilik ve UCS değerlerinin A1, M2 ve M3 bölgeleri için oldukça farklı olduğu ancak kendi içerisinde ise genel olarak değerlerin özellikle A1 bazaltlarında birbirine yakın olduğu görülmüştür. Doymun ve kuru dayanım değerleri arasındaki farkın M2 ve M3 bazaltlarında daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca görünür gözeneklilik değerlerinin artmasıyla dayanımın düştüğü gözlenmiş ve bunun nedeni araştırılmıştır.

**Tablo 1.** Bazaltların dayanım ve görünür gözeneklilik değerleri  
*Table 1. Strength and apparent porosity values of basalts*

Kaya kodu	Lokasyon	UCS <sub>Kuru</sub> (MPa)	UCS <sub>Doymun</sub> (MPa)	n (%)
1	A1	167	145	0.65
2	A1	184	130	0.66
3	A1	185	132	0.84
4	A1	180	150	0.75
5	M2	139	69	2.48
6	M2	100	56	3.11
7	M3	60	33	4.22
8	M3	51	25	5.29

### 4.1. Petrografik ince kesit analizleri

#### 4.1. Petrographic thin section analyses

Örnekler 3 farklı bölgeden alınmıştır. 1' den 4' e kadar olanlar birinci bölgeye (A1), 5 ve 6 ikinci bölgeye (M2), 7 ve 8 nolu örnekler üçüncü bölgeye (M3) aittir. Deney yapılan tüm kayaçlar olivin ojit bazalt karakterli olup, mikrogrenü-mikrolitik porfirik dokuya sahiptirler. Primer olarak labradorit, ojit, biyotit, olivin ve opak (magnetit) minerallerden oluşmaktadır. Birinci bölge bazaltlarında hacimsel olarak labradorit %47-50, ojit %25-28, olivin %18-20, biyotit %2-3, gözeneklilik %1-2 aralığındadır. Olivinlerde serpantinleşme oranı %5-15 aralığındadır. İkinci bölge bazaltlarında labradorit %46-48, ojit %26-27, olivin %19-20, biyotit %3, gözeneklilik %2 aralığındadır. Olivinlerin serpantinleşme oranları %15-35 aralığındadır. Üçüncü bölge

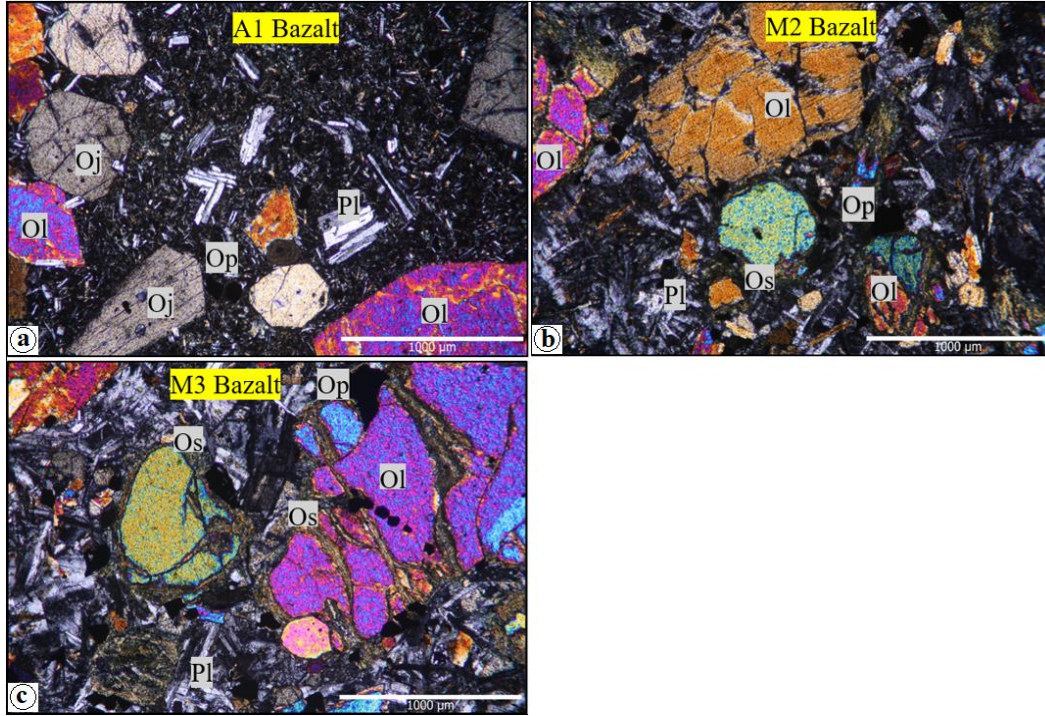


bazaltlarında labradorit %46-47, ojit %27-28, olivin %19-20, biyotit %2-3, gözeneklilik %2 ve olivinlerin serpantinleşme oranı en yüksek olup %70-80 düzeyindedir. Her üç ayrı bölgedeki bazaltların mikrogrenü-mikrolitik hamuru içerisinde mevcut olivinlerin serpantinleşme oranı toplam kayadaki serpantinleşme oranına yaklaşık eşittir. A1, M2 ve M3 bazaltlarına ait ortalama mineral yüzdeleri ve serpantinleşme oranları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde mineral içeriği olarak üç sahanın bazaltlarında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Ancak, olivin mineralinin serpantinleşme oranlarının üç saha için birbirinden oldukça farklı olduğu yapılan ince kesit analizlerinde ortaya çıkmıştır. Söz konusu dayanım ve görünür gözeneklilik değerlerindeki değişime neden olan en önemli faktörün artan serpantinleşme oranı olduğu kanaatine varılmıştır.

**Tablo 2.** Bazaltların ince kesit analiz sonuçları  
*Table 2. Thin section analysis results of basalts*

Mineraller	Ortalama mineral içeriği (%)		
	A1	M2	M3
Labradorit	48.5	47	46.5
Ojit	26.25	25.5	27.5
Opak	2.5	3	2
Olivin	19	19.5	19.5
Biyotit	2.25	3	2.5
Boşluk	1.5	2	2
Os	8.25	24	75.5

Os: Olivinin serpantinleşme oranı

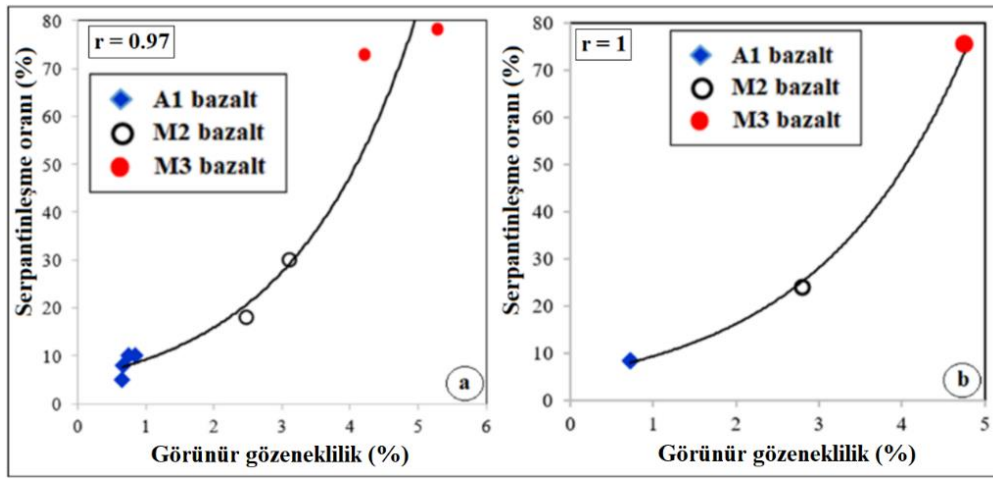


**Şekil 3.** Bazaltların mikroskop görüntüleri, A1 (a), M2 (b) ve M3 (c), Pl: Plajiyoklaz, Ol: Olivin, Oj: Ojit, Op: Opak mineral, Os: Olivinin serpantinleşmesi, çift nikol  
*Figure 3. Microscopic images of basalts, A1 (a), M2 (b) ve M3 (c), Pl: Plagioclase, Ol: Olivine, Oj: Augite, Op: Opaque mineral, Os: Serpentinization of olivine, cross-polarized light*

#### 4.2. Parametreler arasındaki korelasyon analizleri

##### 4.2. Correlation analyses between parameters

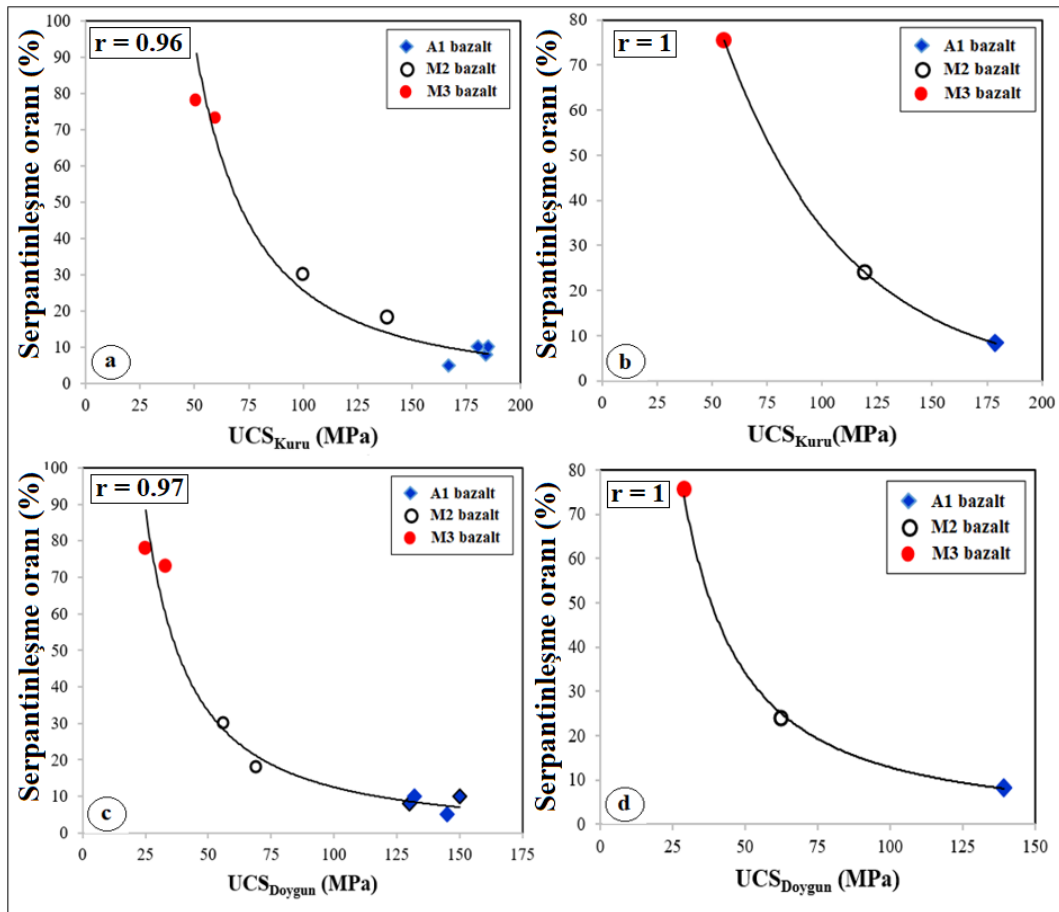
Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik değerleri arasındaki ilişki bütün kayalar için (Şekil 4a) ve üç saha için ortalama değerlere göre (Şekil 4b) araştırılmıştır. Grafiklere göre serpantinleşme oranı arttıkça görünür gözeneklilik değerleri de artmıştır.



Şekil 4. Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik arasındaki ilişki, bütün örnekler (a), ortalama değerler (b)

Figure 4. The relationship between the rate of serpentinization and the apparent porosity, all samples (a), average values (b)

Serpantinleşme oranı ve dayanım değerleri arasındaki ilişki grafikleri kuru ve doymun durumdaki bütün kayalar için (Şekil 5a ve 5c) ve üç saha için ortalama değerlere göre (Şekil 5b ve 5d) oluşturulmuştur.



Şekil 5. Serpantinleşme oranı ve dayanım değerleri arasındaki ilişki; serpantinleşme oranı ve  $UCS_{Kuru}$  grafiği; bütün kayalar için (a), ortalama değerler için (b), serpantinleşme oranı ve  $UCS_{Doymun}$  grafiği; bütün kayalar için (c), ortalama değerler için (d)

Figure 5. The relationship between the rate of serpentinization and strength values; serpentinization rate and  $UCS_{dry}$  graph; for all rocks (a), mean values (b), rate of serpentinization and  $UCS_{Saturated}$  graph; for all rocks (c), for mean values (d)



Serpantinleşme oranı arttıkça bazaltlarda hem kuru hem de doymun durumda dayanım değerlerinde önemli miktarda düşüş görülmüştür. Bütün kayaçların dikkate alındığı 5a ve 5c'deki grafiklerde elde edilen korelasyon katsayısı değerleri kuru örneklerde 0.96 iken doymun örneklerde 0.97 olarak elde edilmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında ise r değerleri yaklaşık 1'e yükselmektedir. Serpantinleşme oranı ile bazaltlardaki dayanım değerleri arasında çok yüksek bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. Grafiklerdeki bazalt grupları (A1, M2 ve M3) ayrı ayrı incelendiğinde, A1 bazaltlarında serpantinleşme oranı ve UCS değerleri arasında ilişki gözlenmemiştir. Bu durumun A1 bazaltlarının taze olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, aynı sahaya ait aynı tür kayaçların mühendislik özellikleri genellikle birbirine yakın çıktığından yüksek korelasyon elde etmek zor olmaktadır. Ayrıca, Tablo 1 dikkate alındığında A1 bazaltlarına ait görünür gözeneklilik değerlerinin %1'in altında olduğu anlaşılmaktadır.

Korelasyon katsayısının anlamlı olabilmesi için 3 nolu eşitlikten hesaplanan t değerinin tablodan belirlenen t değerinden büyük olması gerekmektedir. Diğer yöntemde ise, değişkenlere ilişkin korelasyon katsayısı değerinin (r), Pearson korelasyon katsayısına ait kritik r değerinden büyük olması gerekmektedir (Tüysüz & Yaylalı, 2005; Alemdağ & Gürocak, 2011; Alkan & Dağ, 2018). Bu çalışmada bütün kayaçlar (8 adet) için yapılan korelasyon analizlerinin istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadıkları araştırılmıştır. Tablo 3 incelendiğinde hesaplanan t değerlerinin tabloda belirlenen t değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, değişkenlere ait korelasyon katsayısı Pearson korelasyon katsayısına ait kritik r değerinden büyüktür. Dolayısıyla, Serpantinleşme oranı ile görünür gözeneklilik, UCS<sub>kuru</sub> ve UCS<sub>doymun</sub> parametreleri arasında yapılan korelasyon analizleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

**Tablo 3.** Korelasyon analizinde kullanılan veriler  
*Table 3. Data used in the correlation analysis*

Korelasyon ilişkisi	Örnek sayısı	Korelasyon katsayısı, r	Pearson kritik r	t <sub>hesap</sub>	t <sub>tablo</sub>
Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik	8	0.97	0.707	9.69	2.36
Serpantinleşme oranı ve UCS <sub>kuru</sub>	8	0.96	0.707	8.31	2.36
Serpantinleşme oranı ve UCS <sub>doymun</sub>	8	0.97	0.707	10.68	2.36

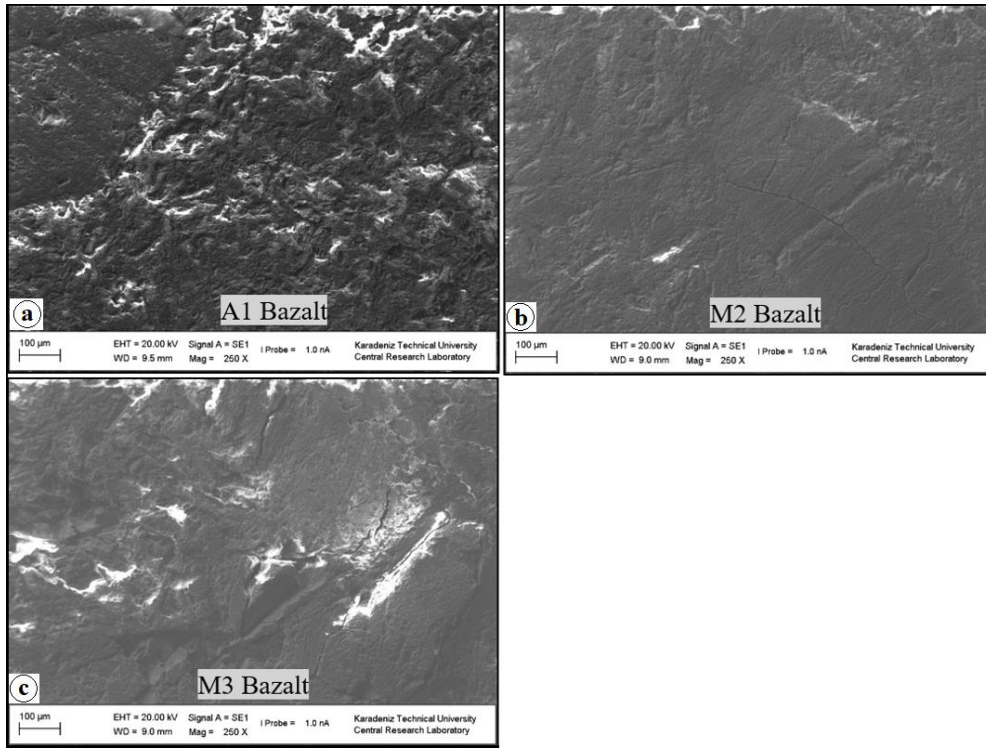
Bazaltlara ait SEM görüntüleri A1, M2 ve M3 için Şekil 6'da verilmiştir. Mikro çatlakların özellikle M2 ve M3 bazaltlarında yaygın olduğu görülmektedir. SEM analizleri, A1 bazaltlarından elde edilen yüksek dayanım ve düşük görünür gözeneklilik özelliklerini mikro çatlakların görünmemesinden dolayı desteklemiştir. Benzer şekilde M3 bazaltlarının yüksek görünür gözeneklilik ve düşük dayanım özelliklerini mikro çatlak yapılarının fazla olması anlamında doğrulamıştır. Ancak, mikro çatlak oranı arttıkça serpantinleşme oranında artış gözlenmiştir.

## 5. Tartışma

### 5. Discussion

Karaman & Kesimal (2015) kaya türünün aynı litolojiye sahip olması durumunda mühendislik özellikleri ile kayaçların  $n < \%1$  değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilebilmesinin zor olduğunu bildirmiştir. Kahraman vd. (2005)  $n > \%1$  ve  $n < \%1$  için farklı türden kayalarda dayanım nokta yükü indeksi arasındaki ilişkiyi irdelemiş ve  $n > \%1$  olan örneklerde daha yüksek korelasyon katsayısı elde etmişlerdir. Kılıç & Teymen (2008) parametreler arasındaki ilişkilerin yüksek bir korelasyon değerlerine sahip olmasına karşın, düşük görünür gözenekliliğe ( $< \%2$ ) sahip kayalar için uygun olmayabileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada,  $n < \%1$  olan bazaltlarda (A1) UCS değerleriyle serpantinleşme oranı arasında ilişki gözlenmemiş olup literatürle uyumlu çıkmıştır.  $n > \%2$  olan aynı sahadan alınan bazaltlara (M2 ve M3) ait veriler analizlerdeki korelasyon katsayı değerlerini yükseltmiştir.

Diamantis vd. (2016) ultramafik kayaçlarda üç eksenli sıkışma dayanım parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı, yanal basınç vb.) ile fiziksel, dinamik ve mekanik özellikler arasında korelasyon analizleri yapmışlardır. Bu kapsamda serpantinleşme oranı % 3 ila % 92 arasında değişen kayaçlar kullanmışlardır.



**Şekil 6.** Bazaltların SEM görüntüleri; A1 bazalt (a), M2 bazalt (b), M3 bazalt (c)  
**Figure 6.** SEM images of basalts; A1 basalt (a), M2 basalt (b), M3 basalt (c)

Yazarlar, serpantinleşme oranı ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasında korelasyon analizleri yapmışlar ve yüksek derecede korelasyon katsayıları ( $R^2=0.86-0.93$ ) elde etmişlerdir. [Giannakopoulou vd. \(2018\)](#) ofiyolit kompleksine ait, lertzolit, harzburjit ve dunit içeren peridotitlerde düşük ila orta oranda serpantinleşme ve deformasyon gözlemlenmiştir. Yazarlar serpantin yüzdesi ile kaya dayanımı arasında orta derecede bir ilişki ( $R^2=0.62$ ) bulmuşlardır.

Bu çalışmada, bazaltların dayanımına ve görünür gözenekliliğine etki eden en önemli faktörün olivinlerin serpantinleşmesi olduğu görülmüştür. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine neden olduğundan, meydana gelen basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği düşünülmektedir. Şekil 1b'de çalışma sahasının jeolojik haritası incelendiğinde çalışma sahası yakın civarında bir volkan konisi ve 2 adet fay bulunmaktadır. Bunlar alterasyondan sorumlu başlıca jeolojik unsurlar olarak görülmüştür. Volkan konisine en yakın (< 1 km) M3 grubu bazaltlar, en uzak (10 km) A1 grubu bazaltlardır. Ayrıca M3 bazaltlarının güney ve güney batı yönlerinde farklı büyüklüklerde (~ 4–20 km) faylar mevcuttur. M2 grubu bazaltlar, fay konağına yakın olmakla birlikte, M3 grubuna oranla volkan konisinden daha uzaktadır. A1 grubu bazaltlar hem volkan konisinden ve hem de faylardan daha uzak alanda yer almaktadır. Dolayısıyla volkan konisi ve faylardan etkileşim oranları çokluk sırasına göre M3, M2 ve A1 şeklindedir. Ayrıca stratigrafik olarak M3 örneklerinin alındığı bazalt sahası en üstte, M2 örneklerinin alındığı bazalt sahası daha altta ve A1 örneklerinin alındığı bazalt sahası en alt seviyede yer almaktadır. Bu durumun yüzeysel alterasyon da etkili olabileceği kanaatine varılmıştır.

## 6. Sonuçlar

### 6. Conclusions

Bu çalışmada, Akçaabat (Trabzon), Akçakale-Mersin mahalle sınırları içinde 3 ayrı alanda yer alan serpantinleşme oranı değişken bazaltlar, dayanım ve görünür gözeneklilik değerlerindeki değişimi değerlendirmek için seçilmiştir. İnce kesit analizleri, olivinin serpantinleşmesinin A1, M2 ve M3 bazaltları için sırasıyla ortalama % 8.25, % 24 ve % 75.5 olduğunu göstermiştir. Test sonuçları, olivinin yüksek serpantinleşmesi ve buna bağlı gelişen mikro çatlak ve görünür gözenekliliğin M3 bazaltlarının dayanımını hem doymuş hem de kuru durum için büyük ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine neden olacağından oluşan basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği düşünülmektedir. Serpantinleşme oranı ile UCS ve görünür gözeneklilik arasındaki korelasyon

derecesi kuru ve doymun numuneler için 0.96-0.97 arasında değişmiştir. Ancak A1, M2 ve M3'ün ortalama değerleri (serpantinleşme oranı, UCS, n (%)) daha yüksek korelasyon katsayıları ( $r \approx 1$ ) sergilemiştir. Bu çalışmada kullanılan bazaltlarda birbirinden oldukça farklı serpantinleşme oranı görülmüştür. Özellikle M3 bazaltlarındaki serpantinleşmeye volkan konisi ile fay hattına yakınlık ve M3'ün stratigrafik olarak daha yüksek kotlarda bulunmasının neden olabileceği düşünülmüştür.

### **Teşekkür**

#### *Acknowledgement*

Yazarlar, SEM analizlerindeki yardımları için Öğr. Gör. Ümit ÖZSANDIK'a teşekkür ederler.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Kadir KARAMAN: Makale yazımı, grafik çizimi ve sonuçların yorumlanması, Hasan KOLAYLI: Mineralojik ve petrografik analiz, örneklerin temini ve sahanın jeolojik yorumu, Yaşar ÇAKIR: Örnek yerlerinin tespiti ve genel jeoloji, Erdoğan TİMURKAYNAK: Laboratuvar çalışmaları (UCS ve görünür gözeneklilik deneyleri).

### **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 ederler.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Alemdag, S., Gurocak, Z., Solanki, P., & Zaman, M. (2008). Estimation of bearing capacity of basalts at the Atasu dam site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 79–85. <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0112-3>.
- Alemdağ, S., & Gürocak, Z. (2011). Üst Kretase yaşlı bazaltlarda (Trabzon/Türkiye) birleşik ayrışma indeksi (UAI) ile fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkiler. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 1-10.
- Alkan, F., & Dağ, S. (2018). Gümüşhane yöresinde yüzeylenen magmatik kökenli bazı kayaların jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2), 203–216. <https://doi.org/10.17482/uumfd.409184>.
- Breuninger, T., Menschik, B., Demharter, A., Gamperl, M., & Thuro, K. (2021). Investigation of critical geotechnical, petrological and mineralogical parameters for landslides in deeply weathered dunite rock (Medellin, Colombia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11141. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111141>.
- Dağ, S. (2018). Determining the degree of saturation of rocks as a function of time a case study from mountainous area of Turkey. *Journal of Mountain Science*, 15(10), 2307–2319. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5055-6>.
- Deschamps, F., Godard, M., Guillot, S., & Hattori, K. (2013). Geochemistry of subduction zone serpentinites: A review. *Lithos*, 178, 96–127. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.019>.

- Diamantis, K., Exarhakos, G., Migiros, G., & Gartzos, E. (2016). Evaluating the triaxial characteristics of ultramafic rocks from central Greece using the physical, dynamic and mechanical properties. *Open Access Library Journal*, 3(12), 1-20. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103214>.
- Escartin, J., Hirth, G., & Evans, B. (2001). Strength of slightly serpentinized peridotites: Implications for the tectonics of oceanic lithosphere. *Geology*, 29, 1023–1026. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<1023:SOSSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<1023:SOSSPI>2.0.CO;2)
- Franklin, J.A. (1970). *Classification of rock according to its mechanical properties* [Ph.D. Dissertation, University of London Imperial College, London, U.K.]
- Giannakopoulou, P.P., Petronias, P., Rogkala, A., Tsikouras, B., Stamatis, P.M., Pomonis, P., & Hatzipanagiotou, K. (2018). The influence of the mineralogical composition of ultramafic rocks on their engineering performance: a case study from the Veria-Naousa and Gerania Ophiolite Complexes (Greece). *Geosciences*, 8, 251. <https://doi.org/10.3390/geosciences8070251>.
- Goodman, R.E. 1993. *Engineering geology: rock in engineering construction*. Wiley, New York. 412 pp.
- Gurocak, Z., & Kılıç, R. (2005). Effect of weathering on the geomechanical properties of the Miocene basalts in Malatya, Eastern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 373–381. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0005-2>.
- Gültekin, Z., & Dağ, S. (2023). Investigation of changes in geomechanical properties of sandstones under different saturation and anisotropy conditions example from Gümüşhane NE Türkiye. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 616–631. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1274987>.
- ISRM. (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods. International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, (pp. 628). Ankara, Turkey.
- Juneja, A., & Endait, M. (2017). Laboratory measurement of elastic waves in basalt rock. *Measurement*, 103, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.040>.
- Kahraman, S., Gunaydin, O., & Fener, M. (2005). The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42(4), 584–589. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.02.004>.
- Karaman K. & Kesimal A. (2015). Evaluation of the influence of porosity on the engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 557–564. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1217-6>.
- Karaman, K., & Bakhytzhana, A. (2020). Prediction of concrete strength from rock properties at the preliminary design stage. *Geomechanics and Engineering*, 23, 115-125. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.23.2.115>.
- Kaya, A., & Karaman, K. (2015). Utilizing the strength conversion factor in estimation of the uniaxial compressive strength from the point load index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1), 341–357. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0721-1>.
- Kılıç, A., & Teymen, A. (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 237–244. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0128-3>.
- Liu, Z., Zhang, C., Zhang, C., Wang, H., Zhou, H., & Zhou, B. (2022). Effects of amygdale heterogeneity and sample size on the mechanical properties of basalt. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(1), 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.10.001>.
- Murthy, P.S.K., Gupta, S., Kumar, D., & Dixit, M. (2021). The effect of porosity on engineering properties of vesicular amygdaloidal basalts. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(11), 134-137. <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2021.v05i11.019>.
- Sharo, A.A. & Al-Tawaha, M.S. (2019). Prediction of engineering properties of basaltic rocks in Jordan. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(1), 1731-1739. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0551-6>.

- Tarawneh, K., Amaireh, M., Abdelhadi, N., Titi, A., & Dweirj, M. (2022). Characterization of the physical and mechanical properties of the Harrat Ash Shaam Basalt (HASB)/Northeast Jordan. *Open Journal of Civil Engineering*, 12, 463-475. <https://doi.org/10.4236/ojce.2022.124026>.
- Tuğrul, A., & Zarif I.H. (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from turkey. *Engineering Geology*, 51, 303-317. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4).
- Tüysüz, N., & Yaylalı, G. (2005). *Jeostatistik kavramlar ve bilgisayarlı uygulamalar*, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.
- Ulusay, R., Tureli, K., & Ider, M.H. (1994). Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*, 38, 135-157.
- Youssof Mahamat Tahir, O., & Karaman, K. (2021). Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1242-1249. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.937826>.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., & Abdioğlu, E. (2014). Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineralogy and Petrology*, 108, 439-467. <https://doi.org/10.1007/s00710-013-0306-2>.



## Ardahan ilinin meteorolojik verilerindeki değişimin istatistiksel olarak incelenmesi

*Statistical investigation of change in meteorological data of Ardahan province*

Galip KALTAKKIRAN\* 

Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 75002, Ardahan

• Geliş tarihi / Received: 26.01.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

İnsan merkezli etkiler, sera gazları, fosil yakıt tüketimi, kentleşme ve tarım alanlarının yok edilmesi gibi etmenlerin çevre ve iklim değişikliği üzerindeki zararlı etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Tüm bu değişimler insan sağlığı, canlı türleri ve çevre üzerinde istenmeyen ve kalıcı etkiler oluşturabilmektedir. İklim değişiminin etkilerinin anlaşılması ve zararlı etkilerini azaltmaya yönelik gerekli öngörülebilir adımlar atılması noktasında bölgesel bazda iklim parametrelerinin analizi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Ardahan ilinin sıcaklık, yağış miktarı, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi gibi çeşitli iklim parametrelerindeki değişimleri analiz edilmiştir. Bu amaçla Ardahan Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçümü gerçekleştirilen iklim parametrelerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri incelenmiştir. Ayrıca iklim parametrelerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Şen eğimi yöntemleri uygulanarak her bir parametrenin aylık, mevsimsel ve yıllık değerleri %5 istatistiksel anlamlılık düzeyine göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bölgenin sıcaklık değerlerinde artan yönde, ortalama yağış, bağıl nem ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinde ise azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Böylece, bu çalışmada hem iklim değişiminin etkilerinin anlaşılması ve risklerin yönetilmesi hem de bölgede yapılması düşünülen ısı enerjisi projeleri için gerekli iklim verilerinin sağlanması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ardahan, İklim değişimi, Mann Kendall (MK), Şen eğimi, Trend analizi

### Abstract

The harmful effects of factors such as human-induced effects, greenhouse gases, fossil fuel consumption, urbanization and destruction of agricultural lands on the environment and climate change are increasing day by day. All these changes can create undesirable and permanent effects on human health, living species and the environment. The analysis of climate parameters on a regional basis is very important in understanding the effects of climate change and taking the necessary predictable steps to reduce its harmful effects. This study analyzes changes in various climate parameters of Ardahan province, such as temperature, precipitation amount, wind speed and sunshine duration. For this purpose, the changes in the three-year averages of the climate parameters measured by Ardahan Meteorological Station between 2001-2021 are analyzed. In addition, non-parametric Mann Kendall and Sen slope methods are applied to climate parameters, and monthly, seasonal and annual values of each parameter are evaluated according to the statistical significance level of 5%. As a result, increasing trends in the temperature values of the region and decreasing trends in the average precipitation, relative humidity and average wind speed values are determined. Thus, this study aims to understand the impacts of climate change and manage risks, as well as to provide the necessary climate data for thermal energy projects planned to be carried out in the region.

**Keywords:** Ardahan, Climate change, Mann Kendall (MK), Sen's slope, Trend analysis

\*Galip KALTAKKIRAN; galipkaltakkiran@ardahan.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Artan nüfus, sanayileşme ve değişen dünya düzeni gibi faktörler iklim değişiminin ve küresel ısınmanın önemli etkenleri arasında yer almaktadır. Değişen iklim koşullarının ülkemiz ve dünya üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve öngörülebilir sonuçları için gerekli tedbirlerin alınması oldukça önemlidir. Bu çerçevede iklim değişimine bağlı olarak; artan sıcaklık, ani yağışlar ve seller, azalan su kaynakları, tarımsal üretimin azalması ve yakın gelecekte şiddetlenerek artacağı düşünülen kuraklık sıkıntısı gibi muhtemel sonuçlar karşımıza çıkmaktadır (Turan, 2018). İklim değişikliğinin insan, ekosistem, sosyal ve ekonomik sektörler üzerindeki olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi noktasında öncelikli olarak insan kaynaklı olan sera gazı salınımlarının azaltılması gerekmektedir (Türkeş, 2008).

İklim değişikliğinin etkilerinin yakından takip edilmesi ve değişimlerin analiz edilmesi amacıyla yürütülen çok sayıda çalışma arasında sıcaklık ve yağış parametrelerinin incelendiği ve genel eğilimlerin ne yönde olduğunun belirlenmesine yönelik araştırmalar oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Keskin vd., 2018; Oğuz & Oğuz, 2020; Ülke & Özkoca, 2018). Bu çalışmalar yıllık veya uzun yıllar arası periyotlarda ilgilenilen bölgenin sıcaklık ve yağış parametrelerinin zamanla değişimi hakkında bilgiler sunmaktadır. Bu amaçla literatürde Türkiye'nin çeşitli bölgelerine yönelik olarak çeşitli çalışmalar yer almaktadır (Acar vd., 2018; Gönencgil & İçel, 2010; Şen, 2014). Bu kapsamda Türkiye'nin Antalya bölgesinde iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılması üzerine ormanla ilişkili bir çok iklim parametresine trend analizleri uygulanmış ve bölgede yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerinde anlamlı seviyede artış yönünde eğilimler tespit edilmiştir (Fosso & Karahaliil, 2020). İklim değişikliğinin etkilerinin yeterli derecede anlaşılması hususunda çok uzun yıllar ölçümü yapılan yağış verilerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Sen's eğimi trend analizleri uygulanarak uzun vadede tarımsal ve su kaynaklarının planlanması noktasında fayda sağlanması amaçlanmıştır (Kamal & Pachauri, 2019).

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılması amacıyla bölgesel olarak çeşitli iklim parametrelerinin değişimleri analiz edilmektedir. Bunların başında genellikle sıcaklık ve yağış değerlerindeki eğilimlerin belirlenmesi gelmektedir. Şanlıurfa bölgesi özelinde sıcaklık ve yağış parametrelerinin parametrik olmayan test metotlarıyla eğilimleri incelendiğinde bölgedeki bazı istasyonlarda yağış değerleri azalan eğilime sahip olduğu gözlenirken, tüm istasyonlarda ise sıcaklık eğilimlerinin artış yönünde eğilime sahip olduğu görülmüştür (Duman & İrcan, 2021). Benzer şekilde Çankırı ve Kastamonu illerindeki toplam 8 adet ölçüm istasyonunun 38 yıllık sıcaklık verilerine eğilim analizleri uygulanmış ve sıcaklık eğilimlerinin artış yönünde olduğu tespit edilmiştir (İlker & Terzi, 2021).

Meteoroloji istasyonları tarafından sürekli ölçümü gerçekleştirilen iklim parametrelerinin değişimleri incelenerek iklim değişiminin etkilerinin boyutları anlaşılabilir. Özellikle en belirgin göstergelerden birisi sıcaklık parametresidir. Akdeniz bölgesi Antalya ilindeki sıcaklık ve yağış değerlerindeki değişimler incelendiğinde, maksimum sıcaklık ortalaması genel olarak 2.4 °C artarken yağış indisleri azalma eğilime sahiptir (Durmuş vd., 2021). Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık durum analizine göre bölgedeki bazı iller için ciddi kuraklık beklentileri bulunmaktadır (Çelik vd., 2018). Bu illerden birisi olan Tunceli'de yıllık ortalama sıcaklık değerleri artarken, bağıl nem, rüzgâr hızı ve toplam yağış değerleri azalan eğilime sahiptir. Bu belirtilerin bölgenin gelecekte susuzluk ve kuraklıkla karşı karşıya kalacağı birer göstergesi olduğu söylenebilir (Esen, 2022). İç Anadolu Bölgesi dahilinde önemli bir bölge olan Sivas'da farklı istasyonlar tarafından ölçümü yapılan sıcaklık ve yağış parametrelerinin eğilimleri incelendiğinde neredeyse tüm istasyonların sıcaklık değerlerinde anlamlı düzeyde artan, bazı istasyonların yağış değerlerinde ise azalan yönde eğilimler görülmüştür. Öyle ki, Sivas Merkez istasyonun sıcaklık ölçüm değerlerinde ortalama 2 °C artış, yağış değerlerinde ise 10 mm kadar azalış tespit edilmiştir (Karakuş & Güler, 2022). Türkiye'nin önemli yüksek bölgelerinden birisi olan Ardahan ili kapsamında merkez meteoroloji istasyonunun 1961-2015 yılları arasında ölçümünü gerçekleştirdiği sıcaklık, yağış, bulutluluk, nem ve rüzgâr hızı parametrelerinin aylık ve yıllık değerlerinin eğilimleri istatistiksel olarak araştırılmıştır. Sıcaklık ve yağış verilerinde anlamlı düzeyde artış eğilimleri tespit edilirken, bulutluluk, nem ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinde azalan eğilimler tespit edilmiştir (Öztürk & Kılıç, 2018).

Karadeniz Bölgesi'nin iklim parametrelerinin değişimleri araştırıldığında sıcaklık değerlerinde artan yönde bir eğilim görülürken, diğer yandan son yıllardaki yağışlar bölgenin yağış trendini değiştirmektedir (Tokgöz & Partal, 2020). İklim değişiminin Van Gölü Havzası üzerindeki etkilerine bakıldığında ise, genel olarak bölgede

maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde artışlar yaşanmaktadır (İrcan & Duman, 2022). Yeşilirmak Havzası'nda ise farklı gözlem istasyonları için akım kuraklık indeksleri trend analizi ile incelenmiştir. Çalışmada aylık ve yıllık olarak hidrolojik kuraklık değerlerinde artan yönde eğilimlerin olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı da kuraklık riskinin yönetilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır (Katipoğlu vd., 2022). Türkiye'de önemli havzalar arasında yer alan Sakarya Havzası'nda parametrik olmayan trend testleri ile 25 gözlem istasyonuna ait 1960-2000 yılları arasındaki toplam yağış verileri incelendiğinde istasyonların yarısında azalan eğilimler görülmektedir (Büyükyıldız & Berktaş, 2004). Diğer yandan, iklim parametrelerinin doğal ve beşerî coğrafya ile etkileşimlerinin anlaşılmasına çalışılması doğrultusunda iklim modellerinden faydalanılmıştır (Kılıç, 2022).

Değişen iklimin etkilerinin anlaşılması yanı sıra güncel meteorolojik veriler kullanılarak farklı bölgelere yönelik yapılması düşünülen çeşitli ısı enerjisi çalışmalarını desteklemek adına iklim parametrelerine ait verilerin analizi gerçekleştirilmektedir (Bakırcı vd., 2006; Kaya, 2011). Çeşitli iklim parametreleri kullanılarak enerji çalışmalarında önemli bir yere sahip olan güneş ışınım şiddeti tahmini, Yapay Sınır Ağı (YSA) uygulamasına dayalı tahmin metodolojisi ile elde edilen tahmin değerleri ve gerçek ölçüm verileriyle olan kıyaslamaları istatistiksel olarak yapılmaktadır (Şeker, 2021). YSA metodu sayesinde güneşlenme değerlerine ait oluşturulan modellerin korelasyon katsayılarının tatmin edici düzeyde olması, benzer çalışmalar için bu metodu uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkarmaktadır (Kılıç & Kumaş, 2019). Bu doğrultuda, YSA modellerinin yanı sıra farklı iklim parametrelerinin tahmininde Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) metodları da kendilerine yer bulmaktadır (Gümüş vd., 2021).

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli bir bölgesi olan Ardahan'da Merkez Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçülen 19 farklı iklim parametresine ait verilerin aylık ve yıllık değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri ve parametrik olmayan trend analizi yöntemleri kullanılarak uzun yıllar aylık, mevsimlik ve yıllık genel eğilimleri detaylıca incelenmiştir. Böylece bu çalışma sayesinde hem çok sayıda iklim parametresine ait güncel meteorolojik verilerin değişimleri analiz edilerek eğilimleri tespit edilmiş hem de Ardahan ilinde yapılacak olan çeşitli ısı enerjisi uygulamalarına ve yenilenebilir enerji üretim çalışmalarına veri desteği sunarak katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Ardahan ilinin meteorolojik verileri

##### 2.1. Meteorological data of Ardahan province

Ardahan 1800 m yükseklikte Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Kuzeydoğuda Gürcistan ve Ermenistan'ın bir kısmı, kuzeyde Acaristan Özerk Cumhuriyeti, güneybatıda Erzurum ili, güneyde ve güneydoğusunda Kars ili ve batısında ise Artvin ili yer almaktadır. Tam ortasından Kura Irmağı geçmekte olan Ardahan, Kuzeyde Yalnızçam dağları, kuzeydoğusunda Keldağ, güneyinde Kısır Dağ, güneybatısında Allahuekber dağlarının uzantıları ve doğusunda Akbaba Dağı ile çevrilidir (Ardahan Belediyesi, 2022; Ardahan Valiliği, 2022).

Bu çalışmada, Ardahan Merkez Meteoroloji istasyonu tarafından 2001 ve 2021 yılları arasındaki ölçümü gerçekleştirilen 19 farklı iklim parametresinin yıllık bazda ortalama değerleri hesaplanmıştır. 2001-2021 yılları arası ölçüm periyodu 3'er yıllık dönemlere ayrılarak her bir iklim parametresi için aylık veya yıllık ortalamaların hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve birbirleriyle kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu incelemelerin yanı sıra tüm parametrelerin eğilimlerinin belirlenmesi noktasında parametrik olmayan trend testlerinden yaygın olarak kullanılan Mann Kendall ve Şen eğimi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Zaman serilerini analiz etmek için kullanılan bu yöntemler sayesinde iklim parametrelerinin değişimlerinde anlamlı eğilimlerin varlığı araştırılmıştır. Anlamlı eğilimlerin görüldüğü iklim parametrelerindeki lineer eğimler Şen eğimi yöntemiyle belirlenmiştir. Analizler Minitab programında her bir parametrenin aylık, mevsimlik ve yıllık değerleri için uygulanmış ve istatistiksel olarak anlamlı artış veya azalış yönünde eğilimlerin olup olmadığı incelenmiştir. Trend testi sonuçlarında istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı eğilimler değerlendirilmiştir. Mann Kendall Z değerinin 1.96'ya eşit veya daha büyük şartını sağlaması durumunda artan yönde anlamlı trendin olduğu ve -1.96'ya eşit veya daha küçük şartını sağlaması durumunda azalan yönde anlamlı trendin olduğu kabul edilmektedir. Z değerinin bu iki değer arasında olması istatistiksel olarak anlamlı

bir trendin olmadığını gösterir. Ölçümü yapılan meteoroloji istasyonuna ait bilgiler ve ölçülen tüm iklim parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** İstasyon bilgileri ve iklim parametreleri  
*Table 1. Station information and climatic parameters*

İstasyon	İstasyon no	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Dönem	Toplam yıl
Ardahan	17046	41°10'	42°70'	1827	2001-2021	21
İklim parametreleri						
Yıllık ortalama maksimum sıcaklık (°C)				Ortalama bağıl nem (%)		
Yıllık ortalama minimum sıcaklık (°C)				Yağmurlu gün sayısı		
Yıllık ortalama sıcaklık (°C)				Maksimum yağış miktarı (kg/m <sup>2</sup> )		
Günlük toplam güneşlenme süresi (saat/gün)				Toplam yağış miktarı (kg/m <sup>2</sup> )		
Aylık toplam güneşlenme süresi (saat/ay)				Ortalama toprak sıcaklığı- 5 cm, (°C)		
Açık gün sayısı				Ortalama toprak sıcaklığı- 100 cm, (°C)		
Bulutlu gün sayısı				Ortalama rüzgâr hızı (m/s)		
Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı				Maksimum rüzgâr hızı (m/s)		
Ortalama basınç (hPa)				Aylık hâkim rüzgâr yönü ve ortalama hızı (m/s)		

### 3. Bulgular

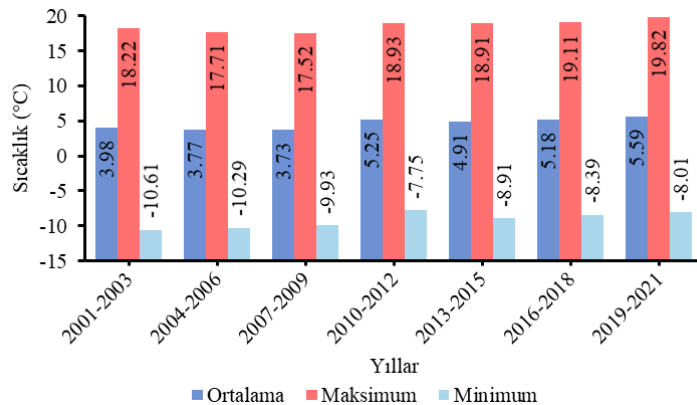
#### 3. Results

#### 3.1. Sıcaklık

##### 3.1. Temperature

Temel ışık ve ısı kaynağı olan güneşten yayılan ışınlar sayesinde yeryüzü aydınlanır ve ısınır. Buldukları koordinatlara ve diğer bazı faktörlere bağlı olarak her bir bölgenin sıcaklığı değişkenlik göstermektedir. Bu sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi noktasında termometre adı verilen cihazlar kullanılır (MGM, 2022).

Ardahan ilinin maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin 21 yıllık bir ölçüm periyodu için (2001-2021) üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 1’de verilmiştir. Sıcaklık değişimleri incelendiğinde, dönemsel olarak sıcaklık farklarının olduğu görülmektedir. 2001-2003 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değeri 3.98 °C olup, 2007-2009 dönemine kadar azalma eğilimi göstermiştir. 2007-2009 yıllarında en düşük ortalama değere sahip olurken, daha sonrasında 2021 yılına kadar ortalama sıcaklık değişimlerinde artan yönde bir eğilimin olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle 2019-2021 döneminde ortalama sıcaklık değeri son 21 yılın ortalamasına göre en yüksek değerine ulaşmıştır. 2007-2009 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde ortalama sıcaklık yaklaşık %49.9 artarak 5.59 °C değerine çıkmıştır.



**Şekil 1.** Yıllık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri

*Figure 1. Annual maximum, minimum and average temperature values*

Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerin değişimi incelendiğinde genel olarak sürekli bir artış eğilimi görülmektedir. 2001-2003 döneminde her üç sıcaklık parametresine ait değerler sırasıyla 18.22 °C, -

10.61 °C ve 3.98 °C iken, 2019-2021 döneminde bu değerler sırasıyla %8.78, %24.50 ve %40.45 artarak sırasıyla 19.82 °C, -8.01 °C ve 5.59 °C olarak hesaplanmıştır. Böylece iklim değişiminin ve küresel ısınmanın sıcaklık parametresi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Bölgede sıcaklık değişiminin takibinin yapılması; binalarda enerji verimliliği, farklı amaçlara yönelik kapalı alan projeleri için yalıtım kalınlığının belirlenmesi, seracılık gibi çeşitli zirai uygulamalar, kuraklık ve su kaynaklarının geleceğinin korunmasına yönelik çeşitli ısı enerjisi projeleri için önemli katkılar sağlayabilir.

Ardahan ili merkez meteoroloji istasyonundan 21 yıllık bir ölçüm periyodu için (2001-2021) alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda her bir sıcaklık parametresinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin trend analiz sonuçları ve %5 önem düzeyinde gerçekleşen eğilimlerin yönleri detaylıca gösterilmiştir. Anlamlı eğilimlerin elde edildiği veriler koyu renklendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, maksimum sıcaklık verilerinde Haziran ayı, yaz mevsimi ve yıllık değerlerin 1.96’den büyük olmasından dolayı 0.05 düzeyinde anlamlı artan yönde eğilimlerin olduğu görülmektedir. Minimum sıcaklık verilerinde Ekim ve Aralık ayları, ilkbahar ve yaz mevsimi ile yıllık değerlerde artan yönde anlamlı eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışındaki değerlerde anlamlı bir eğilimin olmadığı tespit edilmiştir. Ortalama sıcaklık değerlerinin eğilim analizi sonuçlarında ise maksimum ve minimum sıcaklık verilerine kıyasla daha fazla sayıda anlamlı eğilimlerin olduğu görülmüştür. Öyle ki, Ocak, Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları, kış, ilkbahar ve yaz ayları ile yıllık değerlerde artan yönde eğilimler elde edilmiştir. Tüm sıcaklık parametrelerinde 0.05 düzeyinde anlamlı artış eğilimlerin gerçekleşmesi yanı sıra en kuvvetli artışların ortalama sıcaklık değerlerinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca eğilim yönü tayininde başvurulan Şen eğim değerleri MK-Z değerleri ile örtüşmektedir. Öyle ki, maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin 0.05 düzeyinde anlamlı artan yönde eğilim değerleri arasında en büyük artış miktarı sırasıyla 0.219 °C/yıl ile Haziran, 0.40 °C/yıl ile Aralık ve 0.252 °C/yıl ile Ocak ayında gerçekleşmiştir.

**Tablo 2.** Sıcaklık parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
*Table 2. Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of temperature parameters*

İklim parametresi	Maksimum sıcaklık		Minimum sıcaklık		Ortalama sıcaklık	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	0.97	0.104	1.75	0.149	<b>2.32*</b>	0.252 ↑
Şubat	1.39	0.118	0.27	0.013	0.97	0.137
Mart	0.09	0.033	0.79	0.146	0.79	0.056
Nisan	1.75	0.155	1.87	0.209	1.39	0.100
Mayıs	1.90	0.135	1.72	0.156	<b>2.96*</b>	0.145 ↑
Haziran	<b>3.29*</b>	0.219 ↑	2.6	0.150	<b>2.87*</b>	0.131 ↑
Temmuz	1.91	0.150	1.24	0.078	<b>2.36*</b>	0.090 ↑
Ağustos	1.18	0.113	1.03	0.080	1.42	0.063
Eylül	0.54	0.044	-0.51	-0.045	0.81	0.041
Ekim	-0.63	-0.050	<b>1.99*</b>	0.200 ↑	0.24	0.017
Kasım	0.12	0.010	1.54	0.244	1.03	0.072
Aralık	0.63	0.093	<b>2.06*</b>	0.400 ↑	1.09	0.200
İlkbahar	1.75	0.132	<b>2.24*</b>	0.160 ↑	<b>2.33*</b>	0.111 ↑
Yaz	<b>2.81*</b>	0.166 ↑	<b>1.97*</b>	0.115 ↑	<b>2.78*</b>	0.100 ↑
Sonbahar	-0.12	-0.007	1.78	0.137	1.27	0.039
Kış	1.63	0.103	1.84	0.237	<b>2.20*</b>	0.175 ↑
Yıllık	<b>3.42*</b>	0.111 ↑	<b>3.17*</b>	0.165 ↑	<b>3.11*</b>	0.104 ↑

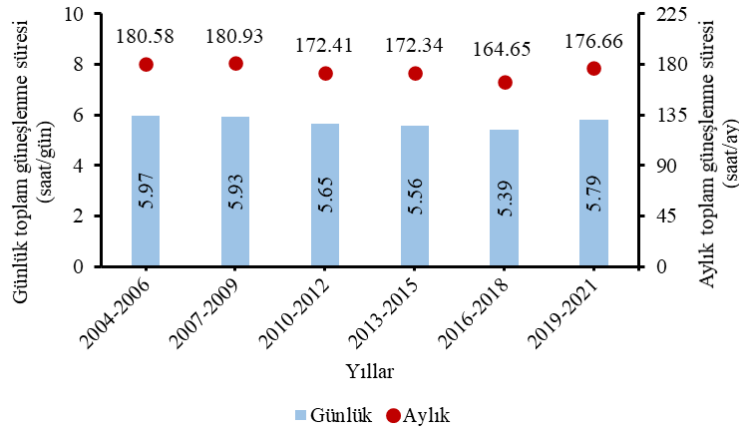
\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

### 3.2. Güneşlenme süresi

#### 3.2. Sunshine duration

Önemli bir güneş enerjisi parametresi olan güneşlenme süresi enleme bağlı bir parametredir. Güneş ışınlarının süresi veya günün güneşli olan kısmının belirlenmesinde Helyograf denilen cihazlar kullanılır. Bu cihazlar ile güneşten gelen ışınlar bir diyagram üzerinde kaydedilir. Güneşlenme süresi, günlük toplam güneşlenme süresi

ve aylık toplam güneşlenme süresi olmak üzere ikiye ayrılır (MGM, 2022). Ardahan iline ait günlük ve aylık toplam güneşlenme sürelerinin 2004-2021 yılları arasındaki üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 2’de verilmiştir. Günlük toplam güneşlenme süresi 5.39-5.97 saat/gün ve aylık toplam güneşlenme süresi 164.65-180.93 saat/ay arasında değişmiştir. Güneşlenme sürelerinin değişimleri incelendiğinde 2004-2006 ve 2007-2009 dönemleri arasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Genel olarak 2004-2006 döneminden başlayarak 2019-2021 dönemine kadar sürekli bir azalma eğilimi gösteren güneşlenme süreleri 2019-2021 döneminde tekrar yükselmeye başlamıştır. Öyle ki, günlük ve aylık toplam güneşlenme süreleri 2016-2018 döneminde sırasıyla 5.39 saat/gün ve 164.6 saat/ay değerinde iken, 2019-2021 döneminde bu değerler sırasıyla %7.42 ve %7.36 artarak 5.79 saat/gün ve 176.66 saat/ay değerlerine yükselmiştir. Güneşlenme süresi değerlerinin belirlenmesi neticesinde ilde çeşitli ısı projelere güncel veri desteği sağlanarak araştırmacı veya yatırımcılar için ön fizibilite çalışmalarına katkı sağlanabilir. Öyle ki, günlük güneşlenme süresinin 5 saatin üzerinde olması neticesinde il bazında güneş enerjisine yönelik projeler uygulanabilir. Bu kapsamda güneş enerjisi destekli ısıtma ve soğutma uygulamalarının yanı sıra elektrik üretimine yönelik sistem veya tesisler kurulabilir.



**Şekil 2.** Ortalama günlük ve aylık toplam güneşlenme süreleri  
**Figure 2.** Average daily and monthly total sunshine durations

Ardahan’da 2001-2021 yılları arasında ölçülen aylık toplam güneşlenme süresi parametresinin trend analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Toplam güneşlenme süresi verilerinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin trend analiz sonuçları incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı eğilimlerin olduğu değerler koyu renkle belirtilmiştir. Analiz neticesinde aylık toplam güneşlenme süresi MK-Z değerlerine göre Haziran ve Temmuz ayları ile yaz mevsiminde azalan yönde eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Burada tüm anlamlı eğilime sahip Z değerlerinin -1.96’dan küçük olması eğilimin azalan yönde gerçekleştiğini göstermektedir. Bunun dışındaki değerlerde anlamlı bir eğilim olmadığı görülmüştür. Eğilim yönünü gösteren Şen eğim değerleri bu sonuçları desteklemiştir. Şekil 2’de gösterilen ortalama günlük toplam güneşlenme süresi değerlerinin aylık bazda toplamı aylık toplam güneşlenme süresine eşit olduğundan dolayı Tablo 3’te sadece aylık toplam güneşlenme süresine ait eğilim sonuçlarına yer verilmiştir.

**Tablo 3.** Toplam güneşlenme süresinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
**Table 3.** Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of total sunshine duration

İklim parametresi	Toplam güneşlenme süresi	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	-0.11	-0.067
Şubat	0.42	0.800
Mart	0.27	0.540
Nisan	0.23	0.438
Mayıs	-1.29	-1.983
Haziran	<b>-2.12*</b>	-3.220 ↓
Temmuz	<b>-2.16*</b>	-3.100 ↓
Ağustos	0.3	0.500
Eylül	-0.83	-1.257



**Tablo 3. Devamı**  
**Table 3. Continuing**

İklim parametresi	Toplam güneşlenme süresi		
	Trend test	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ekim		0.08	0.187
Kasım		0.61	0.700
Aralık		-0.76	-0.844
İlkbahar		0.0	0.189
Yaz		<b>-2.73*</b>	-1.600 ↓
Sonbahar		-0.27	-0.180
Kış		-0.29	-0.308
Yıllık		-1.06	-0.567

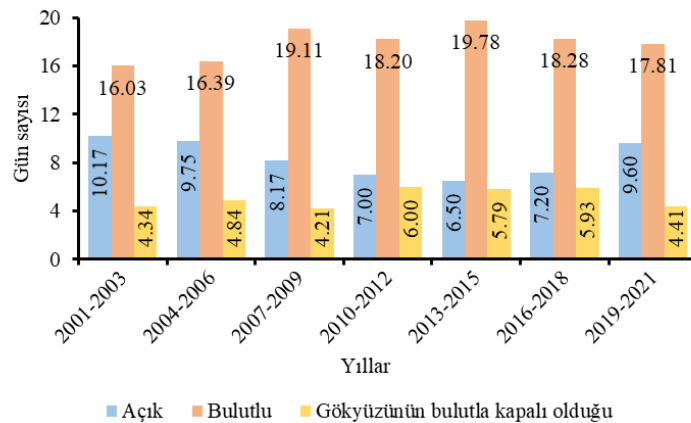
\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

### 3.3. Açık ve bulutlu günler sayısı

#### 3.3. Clear and cloudy days

Bulutluluğun güneşlenme süresi ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Öyle ki, bulutluluk durumuna göre günlük sıcaklık gidışatında farklılıklar oluşabilir. Bulut yoğunluğunun yüksek olduğu zamanlarda yere gelen güneş ışınlarının azalmasından dolayı günlük maksimum sıcaklık değeri düşer. Aynı zamanda yerden atmosfere verilen ısı enerjisinin bulutlar tarafından tutularak atmosfer dışına çıkması engellendiği için günlük minimum sıcaklık değeri yükselir. Bir bölgedeki bulutluluk durumu o bölgenin enlem derecesiyle de ilişkilidir. Enlem derecesinde artan yönde bir değişim olması durumunda ilgili bölgenin bulutluluk oranı da artmaktadır. Bu bölgelerde özellikle yaz ayları biraz daha fazla olmakla beraber her mevsim bulutlu geçer. 0-10 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %53, 20-30 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %41, 40-50 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %56, 60-70 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %63'dür. Buradan anlaşıldığı üzere yeryüzüne ait ortalama bulutluluk değeri %50 ile %60 aralığındadır (Okuroğlu vd., 2015).

Ardahan ili için aylık ortalama açık, bulutlu ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayılarının 2001-2021 yılları arasındaki üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Aylık ortalama açık gün sayısı 2001-2003 döneminde 10.17 gün iken, 2013-2015 döneminde %36.1 azalarak 6.5 güne kadar düşmüştür. Bu iki dönem arasında aylık ortalama açık gün sayısı ortalama değerleri sürekli azalma eğiliminde olmuş, ancak 2013-2015 döneminden sonra artan yönde değişim olmuştur. Yıllık bazda aylık ortalama bulutlu gün sayısının maksimum değeri 19.78 gün ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiş ve bu dönemden itibaren 2019-2021 dönemine kadar azalan yönde değişim göstermiştir. Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günlerin sayısı 2010-2012 dönemine kadar artan bir değişim sergilemiş ancak 2019-2021 döneminde 4.41 gün seviyesine kadar gerilemiştir. Açık gün sayısının son yıllardaki artışına bağlı olarak gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günlerin sayısında azalma yaşanmıştır.



**Şekil 3. Aylık ortalama açık ve bulutlu günlerin sayıları**  
**Figure 3. Monthly average number of clear and cloudy days**

Uzun yıllar ölçüm periyodunda (2001-2021) aylık ortalama açık ve bulutlu gün sayılarının Mann Kendall testi ve Şen eğimi sonuçları Tablo 4 ile verilmiştir. Açık gün sayısına ait sonuçlar incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı olarak MK-Z değerinin -3.06 olduğu Haziran ayında azalan yönde bir eğilim görülmüştür. Bu aydaki kuvvetli eğilimin bir neticesi olarak yıllık bazda azalan yönde bir eğilim gerçekleşmiştir. Bununla birlikte açık gün sayısı ile aksi eğilim sergilemesi beklenen bulutlu gün sayısına ait istatistiksel test sonuçlarına bakıldığında Haziran ayında artan yönde kuvvetli bir eğilimin olduğu tespit edilmiştir. Açık ve bulutlu gün sayısına ait test sonuçları içerisinde sadece yaz mevsiminde artan yönde bir eğilimin olduğu görülmekle birlikte Şen eğimi sonuçlarının da tespit edilen eğilimlerle örtüştüğü görülmüştür.

**Tablo 4.** Açık ve bulutlu gün sayılarının Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
*Table 4. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of clear and cloudy days*

İklim parametresi	Açık gün sayısı		Bulutlu gün sayısı	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	0.89	0.08	-0.89	-0.155
Şubat	0.03	0.00	0.43	0.069
Mart	0.55	0.00	0.00	0.00
Nisan	-0.15	0.00	-0.15	0.00
Mayıs	-1.58	-0.185	1.22	0.191
Haziran	<b>-3.06*</b>	-0.539 ↓	<b>3.63*</b>	0.793 ↑
Temmuz	-1.51	-0.27	1.49	0.267
Ağustos	-1.22	-0.183	1.43	0.297
Eylül	-1.46	-0.323	1.36	0.279
Ekim	1.06	0.183	-0.82	-0.216
Kasım	0.15	0.00	0.06	0.00
Aralık	0.00	0.00	-0.06	0.00
İlkbahar	-1.21	-0.111	-0.67	0.095
Yaz	-1.93	-0.333	<b>2.40*</b>	0.436 ↑
Sonbahar	-0.06	-0.012	-0.09	0.00
Kış	-0.06	0.00	-0.06	0.00
Yıllık	<b>-1.96*</b>	-0.149 ↓	1.88	0.134

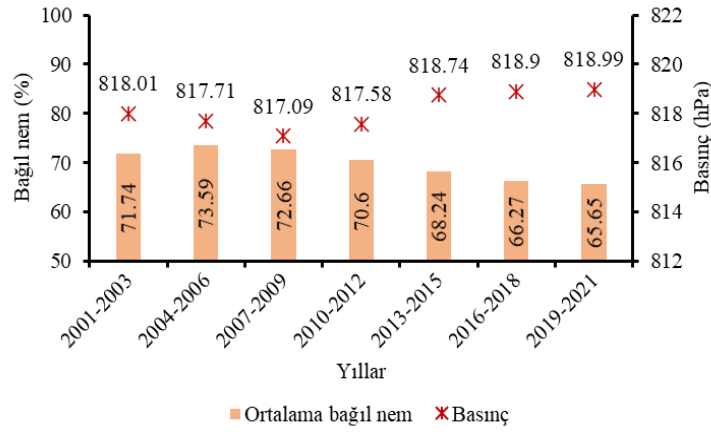
\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

### 3.4. Ortalama bağıl nem ve basınç

#### 3.4. Average relative humidity and pressure

Havadaki su buharı miktarı nem olarak tanımlanır ve higrometre denilen bir cihaz yardımıyla ölçülmektedir. 1 m<sup>3</sup> hava içerisindeki su buharının gram cinsinden ağırlığı mutlak nem olarak adlandırılır (MGM, 2022). Basınç ölçümü Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır ve birimi hPa (hektopascal) biriminde verilmektedir.

Ardahan iline ait 2001-2021 yılları arasındaki ortalama bağıl nem ve basınç değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. İlin yıllık ortalama basınç değerlerine bakıldığında en düşük değer 2007-2009 yıllarını kapsayan dönemde elde edilmiştir. Dalgalı bir değişim izleyen basınç, 2001-2003 ve 2007-2009 dönemleri arasında azalmış ve daha sonrasında artan yönde bir eğilim göstererek en yüksek değerine 2019-2021 döneminde ulaşmıştır. Sonuç olarak, 21 yıllık zaman periyodunda, ilin yıllık ortalama basınç değeri genel olarak 818 hPa seviyelerinde kalmıştır. Yıllık ortalama bağıl nem değerlerinin değişimleri incelendiğinde, bağıl nem değerleri basınca kıyasla ters yönde bir eğilim göstermiştir. Ortalama bağıl nemin en yüksek değeri %73.59 ile 2004-2006 döneminde, en düşük değeri ise %65.65 ile 2019-2021 döneminde gerçekleşmiştir. 2004-2006 döneminden itibaren 2019-2021 dönemine kadar sürekli azalmıştır. Böylece 2004-2006 döneminden 2019-2021 dönemine kadar geçen zaman aralığında bağıl nem yaklaşık olarak %10.79 azalmıştır. Önemli birer iklim parametresi olan bağıl nem ve basınç verilerinin güncel değişimlerinin takip edilmesi çeşitli iklimlendirme sistemlerinin etkinliklerinin iyileştirilmesi noktasında katkı sağlayabilir.



**Şekil 4.** Aylık ortalama bağıl nem ve basınç değerleri

**Figure 4.** Monthly average relative humidity and pressure values

2001-2021 yılları arasında ölçülen Ardahan merkez istasyonuna ait bağıl nem parametrelerinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerine trend test analizleri uygulandığında tüm değerlerde azalan bir eğilimin olduğu gözlenirken Ocak, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Diğer aylarda anlamlı eğilim bulunmazken, mevsimsel olarak kış hariç diğer mevsimlerde ve yıllık değerlerde azalan yönde eğilimler görülmüştür. Bağıl nem parametresinde en kuvvetli azalan eğilim değerleri aylık olarak Nisan ayı ve mevsimsel olarak ise ilkbahardır. Basınç parametresi değerlerinde ise Nisan, Mayıs ve Kasım aylarında artan yönde eğilimler %95 güven aralığında belirlenirken diğer aylarda anlamlı bir eğilim tespit edilmemiştir. Bununla birlikte ilkbahar, sonbahar ve yıllık değerlerde artan yönde eğilimler elde edilmiştir. Basınç değerlerinde en kuvvetli artış eğilimi ilkbahar ayında gerçekleşmiştir. Şen eğimi değerleri MK-Z değerlerini destekler nitelikte sonuçlar göstermiştir.

**Tablo 5.** Bağıl nem ve basınç parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları

**Table 5.** Mann Kendall and Sen's slope analysis results of relative humidity and pressure parameters

İklim parametresi	Bağıl nem		Basınç	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	<b>-2.11*</b>	-0.323 ↓	0.18	0.013
Şubat	-1.42	-0.227	1.66	0.193
Mart	<b>-2.75*</b>	-0.361 ↓	0.60	0.041
Nisan	<b>-3.32*</b>	-0.686 ↓	<b>2.30*</b>	0.159 ↑
Mayıs	<b>-2.57*</b>	-0.585 ↓	<b>2.46*</b>	0.109 ↑
Haziran	<b>-2.60*</b>	-0.527 ↓	1.63	0.054
Temmuz	<b>-2.93*</b>	-0.403 ↓	1.15	0.044
Ağustos	<b>-2.69*</b>	-0.650 ↓	1.61	0.076
Eylül	-1.69	-0.386	0.36	0.023
Ekim	<b>-2.90*</b>	-0.578 ↓	1.81	0.10
Kasım	-1.75	-0.265	<b>2.06*</b>	0.120 ↑
Aralık	0.00	0.000	1.42	0.109
İlkbahar	<b>-4.08*</b>	-0.631 ↓	<b>3.18*</b>	0.089 ↑
Yaz	<b>-3.47*</b>	-0.576 ↓	1.79	0.05
Sonbahar	<b>-2.84*</b>	-0.595 ↓	<b>2.23*</b>	0.092 ↑
Kış	-1.45	-0.184	1.91	0.109
Yıllık	<b>-3.84*</b>	-0.479 ↓	<b>2.61*</b>	0.083 ↑

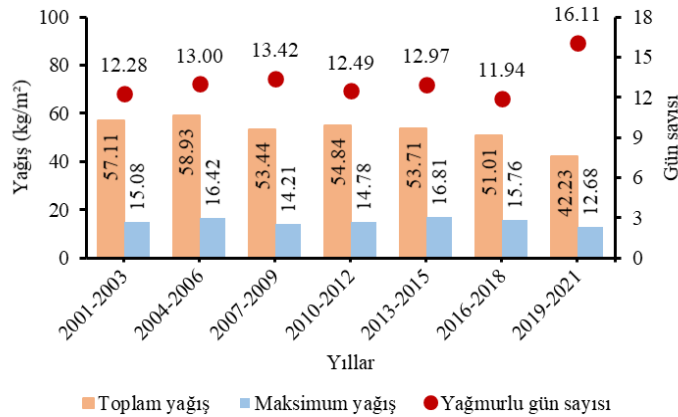
\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

### 3.5. Yağış

#### 3.5. Precipitation

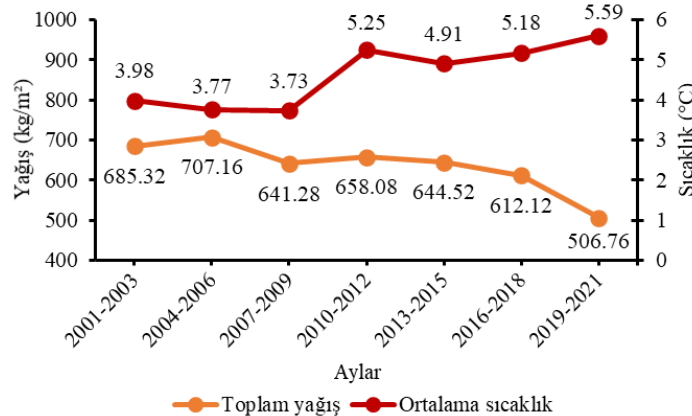
Ardahan ilinin 2001-2021 yılları arasında yıllık bazda aylık ortalama toplam yağış miktarı, maksimum yağış miktarı ve aylık ortalama yağmurlu gün sayılarının üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. En fazla toplam yağış miktarı 2004-2006 döneminde  $58.93 \text{ kg/m}^2$  ve en fazla maksimum yağış miktarı  $16.81 \text{ kg/m}^2$  ile 2016-2018 döneminde gerçekleşmiştir. Bu değerler 2019-2021 dönemine gelindiğinde sırasıyla %28.34 ve %24.56 azalarak  $42.23 \text{ kg/m}^2$  ve  $12.68 \text{ kg/m}^2$  seviyelerine gerilemiştir. Aylık ortalama yağmurlu gün sayısı genelde 11.94-13.42 gün aralığında olurken, 2019-2022 döneminde 16.11 güne kadar yükselmiştir. Bu dönemde yağmurlu gün sayısındaki artışa rağmen toplam ve maksimum yağış miktarları düşmüştür.

Ardahan'ın üçer yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış parametrelerinin değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Sıcaklık ve yağış değerlerinin birlikte incelendiği grafiklere iklim diyagramları denir. İklim diyagramı, ilgili bölgenin iklimi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Karaoğlu, 2011). Bu diyagram ile sıcaklık ve yağış değerlerinin değişimi incelenerek ilgili bölgeye dair iklimsel bilgiler elde edilebilir. Diyagram incelendiğinde, ilin yıllık toplam yağış değerlerinde genel olarak azalan bir eğilim yaşanırken, yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde artan yönde değişimler gözlenmektedir. Özellikle son 10 yıllık süreçte her iki parametrede önemli değişimler izlenmiş ve her üçer yıllık değişimlerde aradaki makas daha fazla açılmaya başlamıştır. 2016-2018 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde yıllık ortalama sıcaklık %7.91 artarken, yıllık ortalama toplam yağış miktarı %17.21 azalmıştır. Sonuç olarak, ilin ortalama yağış miktarlarında azalma kaydedilirken, ortalama sıcaklık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Potansiyel kuraklık tehlikesinin habercisi olması bakımından önem arz eden bu durum, iklimsel değişimin ne denli etkin sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir. Ayrıca yağış miktarının değişiminin belirlenmesi yer altı ve yer üstü su kaynaklarının yanı sıra tarım alanlarının devamlılığı için tedbir alınması noktasında oldukça önemli bir bilgi verir. Ayrıca, bölgede yağış rejiminin eğiliminin güncel ölçüm verileriyle belirlenmesi, tarımsal faaliyetler için sulama projelerinde önemli bir rol alabilir.



Şekil 5. Aylık ortalama yağmurlu gün sayısı ve yağış değerleri

Figure 5. Monthly average number of rainy days and precipitation values



Şekil 6. Aylık ortalama toplam yağış ve sıcaklık değerleri

Figure 6. Monthly average total precipitation and temperature values

2001-2021 yılları arasındaki dönemde toplam yağış, maksimum yağış ve yağışlı gün sayısı değerlerinde meydana gelen değişimlerin üçer yıllık aralıklarla incelenmesinin yanında genel eğilimlerin tespit edilmesi için uzun dönem ölçüm verilerine uygulanan Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Toplam ve maksimum yağış verilerinin test analizi sonuçlarında sadece tek bir değerde 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde eğilim olduğu görülmüştür. Azalan yönde gerçekleşen bu eğilimler, toplam yağış değerlerinde ilkbahar ve maksimum yağış değerlerinde ise yaz mevsiminde elde edilmiştir. Toplam yağışlı gün sayısı değerlerinin test sonuçlarına bakıldığında azalan yönde eğilimlerin Şubat ayında ve dolayısıyla kış mevsiminde gerçekleştiği görülmüştür. Diğer aylarda ve mevsimsel değerlerde istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde herhangi bir eğilim tespit edilmemiştir. Toplam yağış parametresinin Şen eğimi değerleri incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı tek eğilim olan ilkbahar mevsiminde 3.233 mm/yıl kadar bir azalma gerçekleşmiştir. Benzer şekilde toplam yağışlı gün sayısı parametresi için kış mevsiminde 0.5 gün/yıl ve maksimum yağış parametresi için yaz mevsiminde 0.357 mm/yıl azalma belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Yağmurlu gün sayısı ve yağış değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
*Table 6. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of rainy days and precipitation values*

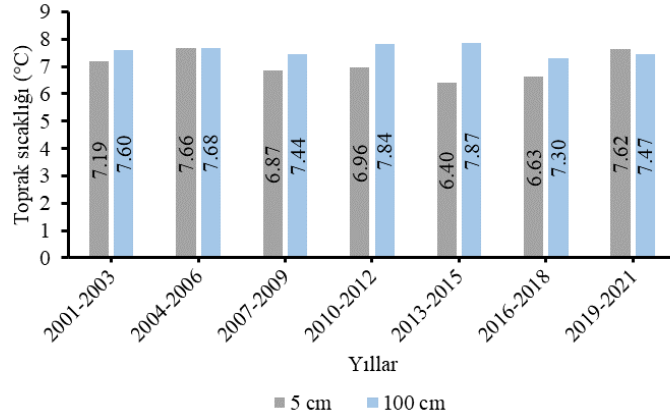
İklim parametresi	Toplam yağış		Toplam yağışlı gün sayısı		Maksimum yağış	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	0.94	0.731	0.46	0.028	0.91	0.205
Şubat	-1.0	-0.668	<b>-2.62*</b>	-0.286 ↓	-0.54	-0.096
Mart	-0.85	-0.729	-0.12	0	-1.09	-0.189
Nisan	-1.36	-1.306	-1.89	-0.25	-0.27	-0.1
Mayıs	-0.03	-0.242	0	0	0.06	0.023
Haziran	-0.88	-1.232	1.15	0.27	-1.48	-0.451
Temmuz	-1.0	-1.342	-0.58	-0.122	-1.18	-0.456
Ağustos	0.39	0.686	-0.24	0	0.51	0.214
Eylül	0.15	0.059	1.04	0.138	-0.73	-0.337
Ekim	-1.06	-0.866	-1.52	-0.216	-0.63	-0.193
Kasım	-0.45	-0.496	-1.46	-0.293	-0.15	-0.052
Aralık	-0.54	-0.35	-0.82	-0.125	0.42	0.061
İlkbahar	<b>-2.20*</b>	-3.233 ↓	-1.33	-0.275	-0.57	-0.18
Yaz	-0.94	-2.377	0.21	0.045	<b>-2.08*</b>	-0.357 ↓
Sonbahar	-1.12	-2.205	-1.39	-0.361	-0.57	-0.143
Kış	-1.6	-1.361	<b>-2.70*</b>	-0.50 ↓	0.39	0.030
Yıllık	-1.48	-7.308	-1.45	-0.938	-0.57	-0.083

\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

### 3.6. Toprak sıcaklığı

#### 3.6. Soil temperature

Zirai ve ısıl enerji çalışmaları için oldukça önemli olan toprak sıcaklığı parametresinin ölçümü meteoroloji istasyonları tarafından yapılmaktadır. Ölçülen toprak sıcaklığı, ilgili bölgede yapılması düşünülen çeşitli yer altı ısıl enerji çalışmaları ile bitki veya ürün yetiştirilmesi gibi konularda önemli bir yönlendirme sağlar. Ardahan'da 2001-2021 yılları arasındaki ölçümü yapılan 5 ve 100 cm derinlikteki yıllık ortalama toprak sıcaklık değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. 5 cm derinlikte toprak sıcaklığı 2019-2021 döneminde artmaya başlamış ve ortalama 7.62 °C değerine ulaşmıştır. En düşük toprak sıcaklığı 6.40 °C ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiştir. 100 cm derinlikte en düşük toprak sıcaklığı 7.3 °C ile 2016-2018 döneminde, en yüksek toprak sıcaklığı 7.87 °C ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiştir. 5 cm derinlikten 100 cm derinliğe inildiğinde yıllık ortalama toprak sıcaklığı değeri artmaktadır. Genel olarak bakıldığında toprak sıcaklık değerlerinde dalgalı bir değişim gözlenmiştir. Bu ölçümler ile ilgili bölgede toprak sıcaklıkları belirlenerek toprak kaynaklı ısı pompası gibi ısıl projelerin verimlilikleri incelenebilir ve pratik uygulamaları yapılabilir. Bunu yanı sıra toprak sıcaklığındaki değişiminin incelenmesi çeşitli zirai uygulama projelerinde verimliliğin artırılması için önemli bir katkı sağlayabilir.



**Şekil 7.** Ortalama toprak sıcaklığı  
**Figure 7.** Average soil temperature

Üçer yıllık değişimlerin incelenmesine ek olarak uzun yıllar ölçüm sonuçlarının tamamı ele alınarak genel eğilimi tespit edebilmek için ortalama toprak sıcaklıklarına uygulanan istatistiksel eğilim analizi sonuçları Tablo 7’de sunulmuştur. 5 ve 100 cm derinlikte ölçümü yapılan toprak sıcaklık değerlerinin aylık, mevsimlik ve yıllık analiz sonuçları anlamlı eğilimlerin yönleri ile birlikte verilmiştir. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde yılın üç ayında (Aralık, Ocak ve Şubat) ve kış mevsimi değerlerinde 0.05 düzeyinde anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiş olup, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında azalan yönde eğilimler belirlenmiştir. Mevsimsel analiz sonuçlarına bakıldığında ilkbahar ve yaz mevsim değerlerinde yine azalan yönde bir eğilimin olduğu görülmüştür. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde en kuvvetli azalan eğilimler Haziran ve Temmuz aylarındayken, geriye kalan diğer aylarda anlamlı seviyede eğilimlerin olmadığı gözlenmiştir. 100 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde yılın iki ayında (Şubat ve Mart) ve kış mevsiminde artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Yılın beş ayında (Haziran ve Ekim arasında) ve yaz mevsimi değerinde azalan yönde eğilimler bulunurken, en kuvvetli eğilimler Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Yılın geriye kalan diğer beş ayında istatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin bulunmadığı tespit edilmiştir. Şen eğimi ve eğilimlerin yönü Mann Kendall test sonuçlarıyla uyumludur. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinin Şen eğimi sonuçları incelendiğinde, anlamlı eğilimler arasında en büyük artış miktarının 0.27 °C/yıl ile Ocak ayında ve en büyük azalış miktarının 0.354 °C/yıl ile Temmuz ayında olduğu belirlenmiştir. 100 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinin Şen eğimi sonuçlarına göre anlamlı eğilimler arasında en büyük artış miktarı 0.107 °C/yıl ile Şubat ayında ve en büyük azalış miktarı 0.11 °C/yıl ile Ağustos ayında olmuştur.

**Tablo 7.** Ortalama toprak sıcaklığı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
**Table 7.** Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of average soil temperatures values

İklim parametresi	Toprak sıcaklığı (5 cm)		Toprak sıcaklığı (100 cm)	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	<b>3.11*</b>	0.270 ↑	1.90	0.065
Şubat	<b>2.57*</b>	0.185 ↑	<b>2.66*</b>	0.107 ↑
Mart	-1	-0.043	<b>2.63*</b>	0.094 ↑
Nisan	-1.51	-0.1	1.27	0.067
Mayıs	<b>-2.78*</b>	-0.160 ↓	-0.52	-0.014
Haziran	<b>-3.50*</b>	-0.300 ↓	<b>-2.09*</b>	-0.06 ↓
Temmuz	<b>-3.84*</b>	-0.354 ↓	<b>-2.92*</b>	-0.10 ↓
Ağustos	-1.75	-0.206	<b>-3.24*</b>	-0.11 ↓
Eylül	-1.33	-0.128	<b>-2.12*</b>	-0.06 ↓
Ekim	-1.42	-0.083	<b>-2.09*</b>	-0.06 ↓
Kasım	0.27	0.009	-0.61	-0.015
Aralık	<b>2.51*</b>	0.185 ↑	1.36	0.033
İlkbahar	<b>-2.36*</b>	-0.110 ↓	1.36	0.050
Yaz	<b>-2.87*</b>	-0.290 ↓	<b>-2.96*</b>	-0.092 ↓
Sonbahar	-1.03	-0.047	-1.78	-0.047
Kış	<b>3.17*</b>	0.236 ↑	<b>2.51*</b>	0.094 ↑
Yıllık	-1.08	-0.031	-0.36	-0.006

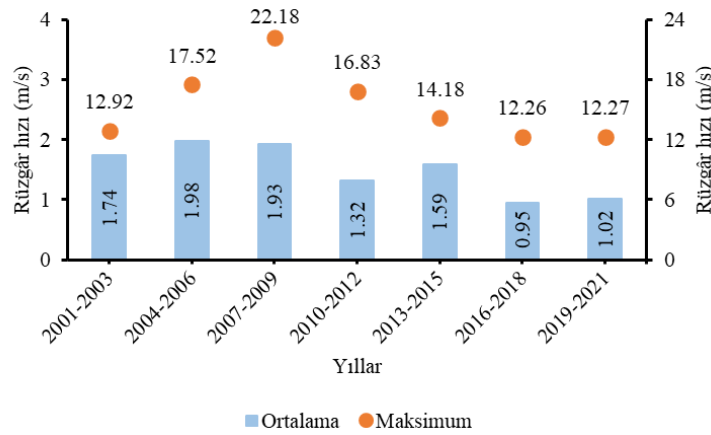
\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend



### 3.7. Rüzgâr hızı

#### 3.7. Wind speed

Ardahan'da 2001-2021 yılları arasında maksimum ve ortalama rüzgâr hızlarının üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 8'de detaylıca gösterilmiştir. 2001-2003 döneminden itibaren belirgin bir şekilde yükselmeye başlayan yıllık ortalama maksimum rüzgâr hızı 2007-2009 döneminde 22.18 m/s ile en yüksek seviyesine geldikten sonra bu dönemden itibaren sürekli azalan bir seyir izlemiştir. Diğer yandan, en yüksek değerine 1.98 m/s ile 2004-2006 döneminde ulaşan yıllık ortalama rüzgâr hızı bu dönemden itibaren azalmaya başlamıştır. Yıllık bazda, hesaplanan ortalama rüzgâr hızı ve ortalama maksimum rüzgâr hızı değerleri 2007-2009 döneminde sırasıyla 1.93 m/s ve 22.18 m/s seviyelerinde iken, 2019-2021 döneminde sırasıyla %47.15 ve %44.68 oranında azalarak 1.02 m/s ve 12.27 m/s değerine kadar gerilemiştir. Rüzgâr hızı ve esme yönü değerlerinin belirlenmesi ve dönemsel değişimlerinin incelenerek takibinin yapılması, il genelinde muhtemel rüzgâr enerji santrali kurulumlarında katkı sağlaması bakımından önemli görülmektedir.



**Şekil 8.** Ortalama ve maksimum rüzgâr hızları  
**Figure 8.** Average and maximum wind speeds

2001-2021 periyodu aralığında ölçülen ortalama ve maksimum rüzgâr hızı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları Tablo 8'de detaylıca verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızı parametresine uygulanan eğilim analiz sonuçlarına göre aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin tamamında 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde kuvvetli eğilimler tespit edilmiştir. Ortalama rüzgâr değerlerinde en kuvvetli eğilimlerin Nisan, Ekim ve Aralık ayları ile sonbahar mevsiminde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte Şen eğimi değerleri de tüm değerlerde azalan eğilimlerin olduğunu desteklemektedir. Maksimum rüzgâr hızı değerlerinin test sonuçları incelendiğinde sadece yaz aylarında (Temmuz ve Ağustos) 0.05 düzeyinde anlamlı azalan eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ortalama rüzgâr hızı değerlerinin uzun yıllar değişimleri incelendiğinde yılın tüm aylarında azalan bir eğilimin olduğu açıkça söylenebilir. Aynı değerlendirme maksimum rüzgâr hızı için sadece yaz aylarına yönelik olarak yapılabilir. Şen eğimi sonuçlarının değerlendirilmesi yapıldığında, ortalama rüzgâr hızı parametresinin anlamlı eğilime sahip değerleri arasında en büyük azalma miktarının  $0.068 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$  ile Mayıs ayında, en küçük azalma miktarının  $0.033 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$  ile Ocak ayında olduğu tespit edilmiştir. Yıllık değerlerde  $0.05 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$  azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca maksimum rüzgâr hızı parametresinin anlamlı eğilime sahip değerleri arasında en büyük azalma miktarının  $0.034 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$  ile Ağustos ayında olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 8.** Ortalama ve maksimum rüzgâr hızı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları  
**Table 8.** Mann Kendall and Sen's slope analysis results of average and maximum wind speed values

İklim parametresi	Ortalama rüzgâr hızı		Maksimum rüzgâr hızı	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	-2.74*	-0.033 ↓	-0.54	-0.10
Şubat	-3.91*	-0.067 ↓	-0.76	-0.177
Mart	-3.77*	-0.058 ↓	-0.30	-0.106
Nisan	-4.12*	-0.064 ↓	-1.21	-0.15
Mayıs	-3.75*	-0.068 ↓	-0.91	-0.172

**Tablo 8.** Devamı  
**Table 8.** Continuing

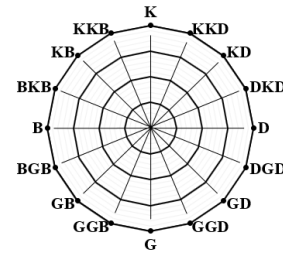
İklim parametresi Trend test	Ortalama rüzgâr hızı		Maksimum rüzgâr hızı	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Haziran	-3.15*	-0.063 ↓	-1.69	-0.266
Temmuz	-3.05*	-0.046 ↓	-2.12*	-0.30 ↓
Ağustos	-3.25*	-0.042 ↓	-2.21*	-0.34 ↓
Eylül	-3.52*	-0.057 ↓	-1.73	-0.15
Ekim	-4.04*	-0.067 ↓	-1.66	-0.34
Kasım	-3.58*	-0.061 ↓	-1.33	-0.331
Aralık	-4.15*	-0.040 ↓	-1.03	-0.207
İlkbahar	-3.96*	-0.059 ↓	-0.78	-0.160
Yaz	-2.60*	-0.052 ↓	-2.20*	-0.295 ↓
Sonbahar	-4.14*	-0.062 ↓	-1.78	-0.297
Kış	-3.97*	-0.045 ↓	-1.69	-0.292
Yıllık	-3.29*	-0.050 ↓	-1.90	-0.219

\* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

Buraya kadar olan bölümde 2001-2021 yılları arasında ölçümü yapılan iklim parametrelerinin hem üçer yıllık ortalamalarının değişimleri incelendi hem de uzun yıllar aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin istatistiksel analizler ile değişimleri incelenmiştir. Bu bölümde ise aylık ortalama hâkim rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 2000-2020 yılları arasında ölçülen beşer yıl aralıklı değerleri incelenmiştir. Tablo 9'dan görüldüğü üzere, 2000 yılında aylık hâkim rüzgâr yönü kış ve ilkbahar aylarında BKB, yaz aylarında ise KKB yönünde gerçekleşmiştir. 2005 yılının yaz ve sonbahar aylarında aylık hâkim rüzgâr yönü BKB olurken, 2010 yılının yaz ve sonbahar aylarında GD yönü olarak belirlenmişti. Diğer yandan, 2015 yılında yıl boyunca genellikle K ve BKB hâkim rüzgâr yön olarak gözlenirken, 2020 yılının kış ve ilkbahar aylarında BKB, yaz ve sonbahar aylarında ise K yönü hâkim yön olarak tespit edilmiştir. Ayrıca hâkim rüzgâr yönlerine karşılık gelen ortalama rüzgâr hızı değerleri incelendiğinde, yıllık ortalama rüzgâr hızı 2000 ve 2005 yıllarında 1.9 m/s, 2010 yılında 1.3 m/s, 2015 yılında 2.3 m/s ve 2020 yılında ise 1.1 m/s olarak elde edilmiştir.

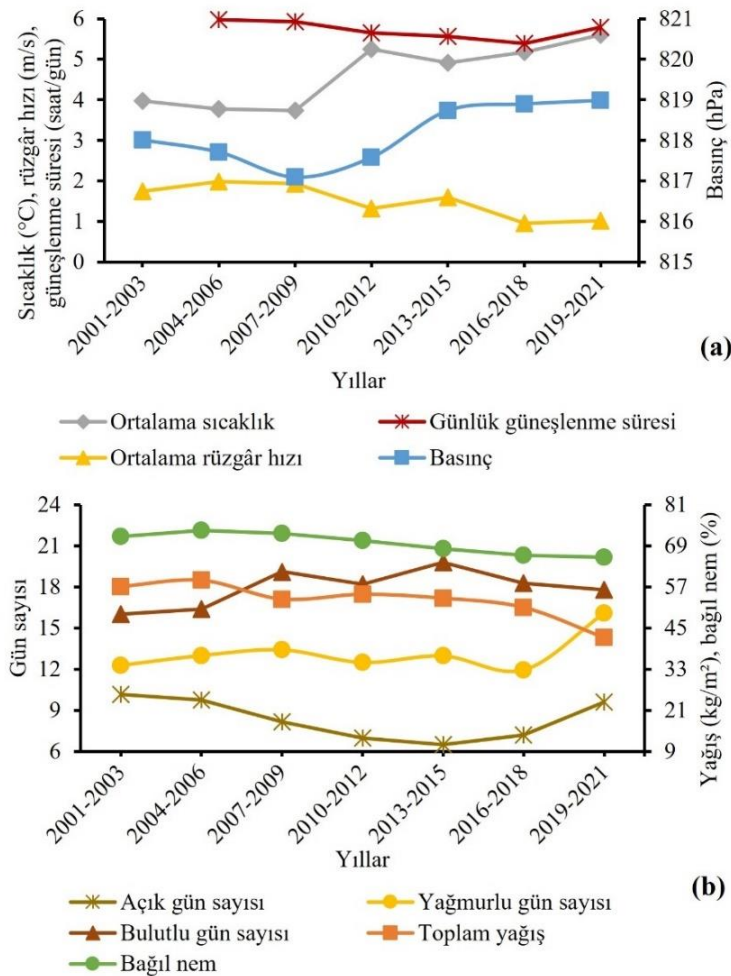
**Tablo 9.** Aylık hâkim rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr hızı (2000-2020)  
**Table 9.** Monthly dominant wind direction and average wind speed

Aylar	2000	2005	2010	2015	2020
1	BKB 1.5	KKB 1.0	GGD 1.2	B 0.9	B 1.0
2	BKB 1.2	KB 1.1	BKB 1.3	BKB 0.9	BKB 1.1
3	BKB 1.9	BKB 2.4	GD 1.9	BKB 1.4	BKB 1.2
4	BKB 2.2	KKB 2.8	BKB 1.6	GD 1.6	BKB 1.3
5	G 2.6	KKB 2.6	BKB 1.5	BKB 1.6	BKB 1.5
6	KKB 2.4	KKB 2.3	GD 1.4	DKD 7.0	KKD 1.3
7	KKB 2.2	BKB 2.2	GD 1.4	GB 9.2	K 1.1
8	KKB 2.2	BKB 1.6	GD 1.3	K 1.1	K 1.1
9	KKB 1.8	BKB 1.7	GD 1.3	K 0.9	K 1.0
10	GGD 1.6	BKB 2.2	GD 1.4	K 0.8	K 0.8
11	G 1.3	BKB 1.5	B 0.8	KKB 0.9	KB 1.0
12	G 1.3	BKB 1.1	GGD 0.9	K 0.9	KKB 0.7
<b>Ortalama</b>	- <b>1.9</b>	- <b>1.9</b>	- <b>1.3</b>	- <b>2.3</b>	- <b>1.1</b>



Hazırlanan bu araştırmada doğru ve güncel ölçüm verileri kullanılarak rüzgâr hızı değerlerinin eğilimlerinin tespit edilmesi ve hâkim rüzgâr yönlerinin belirlenmesi sayesinde önemli kazanımlar elde edilebilir. Öyle ki, ilgili bölgede yapılması düşünülen binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik olarak rüzgâr etkinliğinin hesaplanması ile kayıp enerji değerlerinin belirlenmesi ve rüzgâr enerji santrallerinin kurulum çalışmaları için ihtiyaç duyulması halinde veri desteği sağlanması noktasında önemli katkıda bulunulabilir.

Bu çalışmada 2001-2021 yılları arasındaki ölçüm periyodu için Ardahan iline ait her bir iklim parametresinin üçer yıllık ortalamaları ve uzun yıllar ortalamalarının aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin değişim analizleri detaylıca irdelenmiştir. Şekil 9'da seçilen bazı iklim parametrelerinin değişimleri bir arada gösterilmiştir. Şekil 9.a'da ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, günlük güneşlenme süresi ve basınç parametrelerinin değişimleri ve Şekil 9.b'de açık, bulutlu ve yağmurlu gün sayıları, toplam yağış miktarı ve bağıl nem parametrelerinin değişimleri gösterilmiştir. Ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgâr hızının değişimleri incelendiğinde iki parametrenin yıllar boyunca olan etkileşimleri belirgin bir şekilde zıt yönlerde ilerlemiştir. Öyle ki, sıcaklık değerlerinde artan yönde eğilimler gözlenirken, ortalama rüzgâr hızı değerlerinde azalan bir eğilim görülmektedir. Benzer bir değişim açık ve bulutlu gün sayıları arasında gerçekleşmiştir. Öyle ki, açık gün sayısında azalan yönde eğilimler ve bulutlu gün sayısında artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Bağıl nem ve günlük güneşlenme süresi değerlerinde azalan eğilimler, ortalama basınç değerlerinde artış eğilimleri gözlenmiştir. İklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden olan ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinde ise beklendiği üzere son yıllarda ortalama sıcaklık belirgin bir şekilde yükselirken toplam yağış değerlerinde ise azalan eğilimler tespit edilmiştir. Bu durum, olası kuraklık tehlikesinin derecesi hakkında önemli bir bilgi vermektedir. Yağmurlu gün sayısı ve yağış miktarı arasındaki etkileşim incelendiğinde her iki parametre de azalan yönde eğilim göstermiştir. Ancak bu parametrelerin üçer yıllık ortalamalarının değişim grafikleri incelendiğinde özellikle 2019-2021 döneminde yağmurlu gün sayısında artış yaşanmasına rağmen, yağış miktarı için aynı durum söz konusu olmamıştır.



Şekil 9. İklim parametrelerinin değişimi  
Figure 9. Change of climate parameters

Ardahan ili iklim parametrelerinin dönemsel bazda değişimlerinin genel bir özeti Tablo 10'da verilmiştir. 2001-2021 yılları arası veri aralığında ölçümleri gerçekleştirilen 17 farklı iklim parametresi ait verilerin her üçer yıllık ortalamalarına ait değişimler birlikte bir bütün olarak incelenmesi ve anlaşılması amacıyla tek bir tabloda bütünleştirilmiş halde sunulmuştur.

**Tablo 10.** İklim parametrelerinin değişimlerinin özeti  
*Table 10. Summary of changes in climate parameters*

İklim parametresi	Dönemsel bazda yıllık ortalamalar							
	2001	2004	2007	2010	2013	2016	2019	
	2003	2006	2009	2012	2015	2018	2021	
Maksimum sıcaklık (°C)	18.22	17.71	17.52	18.93	18.91	19.11	19.82	
Minimum sıcaklık (°C)	-10.61	-10.29	-9.93	-7.75	-8.91	-8.39	-8.01	
Ortalama sıcaklık (°C)	3.98	3.77	3.73	5.25	4.91	5.18	5.59	
Günlük güneşlenme süresi (saat/gün)	-	5.97	5.93	5.65	5.56	5.39	5.79	
Aylık güneşlenme süresi (saat/ay)	-	180.58	180.93	172.41	172.34	164.65	176.66	
Basınç (hPa)	818.01	817.71	817.09	817.58	818.74	818.9	818.99	
Bağıl nem (%)	71.74	73.59	72.66	70.6	68.24	66.27	65.65	
Açık gün sayısı	10.17	9.75	8.17	7.00	6.50	7.20	9.60	
Bulutlu gün sayısı	16.03	16.39	19.11	18.20	19.78	18.28	17.81	
Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günler	4.34	4.84	4.21	6.00	5.79	5.93	4.41	
Yağmurlu gün sayısı	12.28	13.00	13.42	12.49	12.97	11.94	16.11	
Toplam yağış kg/m <sup>2</sup>	57.11	58.93	53.44	54.84	53.71	51.01	42.23	
Maksimum yağış kg/m <sup>2</sup>	15.08	16.42	14.21	14.78	16.81	15.76	12.68	
Toprak sıcaklığı (5 cm, °C)	7.19	7.66	6.87	6.96	6.40	6.63	7.62	
Toprak sıcaklığı (100 cm, °C)	7.6	7.68	7.44	7.84	7.87	7.3	7.47	
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	1.74	1.98	1.93	1.32	1.59	0.95	1.02	
Maksimum rüzgâr hızı (m/s)	12.92	17.52	22.18	16.83	14.18	12.26	12.27	

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada iklim parametrelerinin değişimleri iki aşamalı olarak irdelenmiştir. Öncelikle, Ardahan Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçümü gerçekleştirilen 19 farklı meteorolojik parametrenin (Tablo 1) üçer yıllık ortalamalarının değişimleri ayrı ayrı incelenmiştir. Ardından, tüm meteorolojik ölçüm parametrelerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Şen eğimi metotları uygulanarak ölçüm verilerinde istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler araştırılmıştır. Eğilim analizleri Minitab programında her bir parametrenin aylık, mevsimlik ve yıllık değerleri için uygulanmıştır. Böylece, Ardahan ilinde yapılması düşünülen ısıl enerji uygulamaları için veri kaynağı sağlanması ve bölgedeki iklim değişiminin eğilimleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Ardahan ilinin maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerinde artış yönünde değişimler görülmüştür. 2001-2003 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla %8.78, %24.50, ve %40.45 oranında artmıştır. 2001-2021 ölçüm yılı aralığına uygulanan trend testi sonuçlarına göre maksimum sıcaklık verilerinin Haziran ayı, yaz mevsimi ve yıllık değerinde artış eğilimleri görülmüştür. Minimum sıcaklık verilerinde Ekim ve Aralık ayları, ilkbahar ve yaz mevsimi ile yıllık değerinde artış eğilimleri tespit edilmiştir. Ortalama sıcaklık parametresinin ilkbahar ve yaz ayları ile yıllık değerinde artan yönde eğilimler belirlenmiştir. Şen eğimi sonuçlarına göre ortalama sıcaklık parametresinin artan yöndeki eğilim değerleri arasında en büyük artış miktarı 0.252 °C/yıl ile Ocak ayında ve 0.104 °C/yıl ile yıllık değerinde görülmüştür.

Günlük güneşlenme süresi 2004-2006 döneminden 2016-2018 dönemine kadar sürekli bir azalma eğiliminde olurken, son üç yıllık ortalama kısmen bir artış göstermiştir. Aylık toplam güneşlenme süresi 2016-2018 dönemine kadar sürekli azalan yönde bir değişim sergilerken 2019-2021 döneminde bir miktar artmıştır. Toplam güneşlenme süresi verilerinin trend analiz sonuçları incelendiğinde Haziran ve Temmuz ayları ile yaz mevsiminde 0.05 anlamlılık düzeyinde azalan yönde eğilimin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Aylık ortalama açık gün sayısı ise 2001-2003 döneminden itibaren başlayarak 2012-2018 dönemine kadar sürekli azalma eğilimi göstermiş ve sonraki dönemlerde artmaya başlamıştır. 2013-2015 döneminde aylık ortalama bulutlu gün sayısı son 21 yılın en yüksek değerine ulaşmış ancak sonraki her üçer yıllık dönemde sırasıyla %7.58 ve %2.57 oranında azalmıştır. Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günler genellikle sürekli artan bir değişim sergilerken, 2019-2021 döneminde belirgin bir oranda azalma göstermiştir. Açık gün sayısı trend analizi sonuçlarına göre sadece Haziran ayında azalan yönde bir eğilim görülürken, bulutlu gün sayısı için Haziran ayında artış eğilimi elde edilmiştir. Diğer aylarda ise istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler görülmemiştir.

21 yıllık ölçüm periyodu boyunca ilin yıllık ortalama basınç değeri 818 hPa seviyelerinde seyretmiştir. 2004-2006 döneminde %73.59 olan yıllık ortalama bağıl nem sürekli azalma eğilimine girerek 2019-2021 döneminde %10.79 azalarak %65.65 seviyesine kadar düşmüştür. Trend analiz sonuçlarına göre bağıl nem parametresi için yılın sekiz ayında azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Yıllık ve kış mevsimi hariç diğer mevsimlik periyotlarda da azalan yönde eğilimler görülmüştür. Basınç verilerinde Nisan, Mayıs ve Kasım aylarında artan yönde eğilimler belirlenirken diğer aylarda anlamlı bir eğilim tespit edilmemiştir.

İlde gerçekleşen en yüksek toplam yağış miktarı 2004-2006 döneminde olmuştur. Daha sonraki dönemlerde yağış miktarı sürekli azalma göstermiş ve 2019-2021 dönemine gelindiğinde %28.34 oranında azalma kaydedilmiştir. Diğer yandan ilin aylık ortalama yağmurlu gün sayısında azalmalar yaşanmış ancak 2019-2021 dönemine gelindiğinde ani bir artış göstererek son 21 yıllık süreçteki en yüksek değerine ulaşmıştır. Özellikle son 10 yıllık periyot için ilin yıllık toplam yağış değerlerinde azalmalar yaşanırken diğer taraftan yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde artan yönde değişimler gerçekleşmiştir. 2016-2018 döneminde toplam yağış miktarı 612.12 kg/m<sup>2</sup> seviyesinde iken, 2019-2021 döneminde %17.21 azalarak 506.76 kg/m<sup>2</sup> seviyesine kadar gerilemiştir. Trend testi sonuçlarına göre toplam yağış değerlerinde ilkbahar mevsiminde ve maksimum yağış değerlerinde ise yaz mevsiminde azalan yönde eğilimler belirlenmiştir. Toplam yağışlı gün sayısı parametresi için sadece Şubat ayı ve kış mevsiminde anlamlı düzeyde azalan eğilimler tespit edilmiştir. Şen eğimi sonuçlarına göre toplam yağış miktarı değerlerinin ilkbahar mevsiminde toplam 3.233 mm/yıl ve maksimum yağış miktarı değerlerinin ise yaz mevsiminde toplam 0.357 mm/yıl kadar azaldığı belirlenmiştir.

Yüzeyle daha yakın noktada ölçülen yıllık ortalama toprak sıcaklığı 100 cm derinliğe inildiğinde artış göstermiştir. 5 cm derinlikte ki ortalama toprak sıcaklığı değerlerinde dalgalı bir değişim görülürken, yüzeyden 100 cm derinlikte iklimsel değişimlerin etkisi zayıflamakta ve ortalama toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Öyle ki, trend testi sonuçları kapsamında, 5 cm derinlikte toprak sıcaklığı için yılın üç ayında azalan yönde ve üç ayında ise artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. 100 cm derinlikte sadece Şubat ve Mart ayları ile kış mevsiminde artan yönde eğilim gözlenirken, diğer beş aylık dönemde (Haziran ve Ekim aralığında) ve yaz mevsiminde azalan yönde eğilimler elde edilmiştir.

İlin rüzgâr hızı değerlerinin sürekli azalma eğiliminde olduğu ve özellikle en düşük ortalama rüzgâr hızlarının 2016-2018 ve 2019-2021 dönemlerinde olduğu belirlenmiştir. Aylık hâkim rüzgâr yönü 2000 ve 2005 yıllarında çoğunlukla BKB, 2015 ve 2020 yıllarında çoğunlukla K ile BKB ve 2010 yılında ise çoğunlukla GD olarak gerçekleşmiştir. Ortalama rüzgâr hızı parametresinin eğilim analiz sonuçlarına göre aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin tamamında azalan yönde kuvvetli eğilimler tespit edilmiştir. Ancak maksimum rüzgâr hızı için sadece yaz aylarında azalan bir eğilim gözlenmiştir.

Sonuçta, ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgâr hızı değerleri birbirlerinin aksi yönde eğilimler göstermiştir. Bağıl nem, açık gün sayısı ve günlük güneşlenme süresi değerlerinin aynı eğilimlere sahip olduğu görülmüştür. Gün geçtikçe küresel ısınma ile birlikte iklim değişikliğinin değiştirilemez etkileri kendisini daha belirgin bir şekilde göstermeye devam etmektedir. Zira ilin 21 yıllık ölçüm periyodu için iklim parametrelerinin yıllık değişimleri incelendiğinde, küresel ısınma ve iklim değişikliği birlikteliğinin sıcaklık değerlerinde belirgin bir artışa ve yağış miktarlarında kısmen de olsa azalmalara sebep olduğu söylenebilir.

Ayrıca iklim verilerinin analizleri ışığında hazırlanan bu çalışma binalarda enerji verimliliği, zirai uygulamalar, kuraklık ve su kaynaklarının geleceğinin korunmasına yönelik çeşitli ısı enerjisi projeleri, güneş enerjisi destekli elektrik üretimi ile ısıtma ve soğutma uygulamaları, iklimlendirme sistemleri ve rüzgâr enerjisi sistemleri gibi çok sayıda projelerin ortaya çıkarılmasında önemli katkılar sunabilir. Ayrıca bu çalışmayla birlikte iklim değişikliği konusunda yapılması düşünülen sonraki çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Yazar, sağladıkları meteorolojik verilerden dolayı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Çalışmada bir başka yazarın katkısı yoktur.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

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

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

- Acar, Z., Gönençgil, B., & Gümüšoğlu, N. K. (2018). Long-term changes in hot and cold extremes in Turkey. *Coğrafya Dergisi*, 37, 57–67. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2018-0002>
- Ardahan Belediyesi. (2022). *Ardahan hakkında*. (2022, 22 Kasım). <https://www.ardahan.bel.tr/ardahan-hakkinda>
- Ardahan Valiliği. (2022). *Ardahan'ın coğrafi konumu*. (2022, 22 Kasım). <http://ardahan.gov.tr/ardahan-in-cografik-konumu>
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M., & Erdoğan, S. (2006). Erzurum ili enerji çalışmaları için iklim ve meteoroloji verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 9(5), 19–26.
- Büyükyıldız, M., & Berktaş, A. (2004). Parametrik olmayan testler kullanılarak sakarya havzası yağışlarının trend analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 23–38.
- Çelik, M. A., Kopar, İ., & Bayram, H. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1741–1761.
- Duman, N., & İrcan, M. R. (2021). Şanlıurfa ilinin yağış-sıcaklık eğilimleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 54, 515–536. <https://doi.org/10.53568/yyusbed.1052821>
- Durmuş, B., Bulut, İ., & Gönençgil, B. (2021). Antalya bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78, 91–108. <https://doi.org/10.17211/tcd.1009270>
- Esen, F. (2022). Tunceli iklim parametrelerine ait zaman serilerinin farklı istatistiksel analiz yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 81, 7–22. <https://doi.org/10.17211/tcd.1151639>
- Fosso, L. C., & Karahalil, U. (2020). Some important parameters to display the effects of climate change on forest: a case study in Cerle planning unit, Antalya, Turkey. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 45–58. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.527802>
- Gönençgil, B., & İçel, G. (2010). Türkiye'nin doğu akdeniz kıyılarında yıllık toplam yağışlarda görülen değişimler (1975-2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 55, 1–12.
- Gümüş, V., Yeşiltaş, Y., & Şimşek, O. (2021). Yapay zekâ yöntemleri ile Adıyaman ve Diyarbakır istasyonlarının aylık tava buharlaşmalarının tahmin edilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 112–122. <https://doi.org/10.46810/tdfd.893630>



- İlker, A., & Terzi, Ö. (2021). Sıcaklık verilerinin trend analizi: Çankırı ve Kastamonu örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. <https://doi.org/10.21923/jesd.939707>
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 80, 39–52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1079628>
- Kamal, N., & Pachauri, S. (2019). Mann-Kendall and Sen's Slope estimators for precipitation trend analysis in north-eastern states of India. *International Journal of Computer Applications*, 177(11), 7–16
- Karakuş, C. B., & Güler, Ü. A. (2022). Mann-Kendall trend analizi ile Sivas ilindeki sıcaklık ve yağış trendlerinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1104140>
- Karaoğlu, M. (2011). Zirai meteorolojik açıdan Iğdır iklim etüdü. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(1), 97–104
- Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N., & Dalkılıç, H. Y. (2022). Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 422–442. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1026893>
- Kaya, M. (2011). Erzincan iklim ve meteoroloji verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 34–42.
- Keskin, M. E., Çakto, İ., Çetin, V., & Bektaş, O. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi sıcaklık ve yağış trend analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 294–300. <https://doi.org/10.21923/jesd.397353>
- Kılıç, B., & Kumaş, K. (2019). Burdur ili güneşlenme değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1)
- Kılıç, H. (2022). *Çıldır Gölü Havzası'nda (Ardahan-Kars) uygulamalı klimatoloji* [Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- MGM (2022, 19 Kasım). *İklim istatistikleri metaverisi*. [https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/2022\\_iklim\\_metaverisi.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/2022_iklim_metaverisi.pdf)
- Oğuz, E., & Oğuz, K. (2020). Şanlıurfa ili yağış ve sıcaklık trend analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 5(1), 13–17.
- Okuroğlu, M., Yağanoğlu, A. V., & Yardımcı, N. (2015). *Meteoroloji-I* (II. Baskı). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi.
- Öztürk, M. ., & Kılıç, H. (2018). Ardahan'da iklim parametrelerindeki değişimin zamansal analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 37–43. <https://doi.org/19.17211/tcd.364239>
- Şeker, M. (2021). Yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak meteorolojik verilere dayalı solar radyasyon tahmini. *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236920>
- Şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635–642. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000811](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811)
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesi'nde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107–1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.213247/dacd.357384>
- Türkes, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26–37
- Ülke, A., & Özkoca, T. (2018). Sinop, Ordu ve Samsun illerinin sıcaklık verilerinde trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 455–463. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.351294>

## Effects of green and innovative pretreatment techniques on kinetic parameters of sunflower seed husk

*Yeşil ve yenilikçi ön işlem tekniklerinin ayçiçek çekirdek kabuğunun kinetik parametreleri üzerindeki etkileri*

**Gamze GOKTEPELİ\*** 

*Konya Technical University, Environmental Engineering Department, 42000, Konya*

• Received: 05.07.2023

• Accepted: 15.11.2023

### Abstract

The effects of green pretreatment processes, such as ultrasonic process (US) and deep eutectic solvent (DES), applied to the biomass on kinetic parameters are as important as their effects on characteristic properties. Process conditions and course of reaction progression depend on the knowledge about kinetic parameters, activation energy and reaction model of thermal degradation in scale-up studies. Therefore, in this study, the change in the kinetic parameters with US applied with both distilled water and DES (glycerol:sodium acetate) at 100 W power and 20 kHz frequency for 10 minutes to sunflower seed husk (SSH) was revealed. Isoconversional methods Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) and Flynn-Wall-Ozawa (FWO) were preferred for the evaluation of activation energy of SSH and pretreated SSH at 15°C/min, 20°C/min and 25°C/min heating rates. US pretreatment with DES instead of water resulted in increment of average activation energy values ( $E_a$ ) from 113.13 to 143.65 kJ/mol in the KAS method.  $E_a$  values for all SSH samples changed in the range of 87.72-143.65 kJ/mol and higher  $E_a$  values was obtained with KAS method for pretreated SSH samples. Consequently, the use of DES in US pretreatment was more effective to change kinetic parameters of SSH compared to water.

**Keywords:** Deep eutectic solvents, Green technologies, Kinetic modelling, Sunflower seed husk, Ultrasonic process

### Öz

*Biyokütleyle uygulanan ultrasonik proses (US) ve derin ötektik çözücü (DES) gibi yeşil ön işlem proseslerinin karakteristik özellikler üzerindeki etkileri kadar kinetik parametreler üzerindeki etkileri de önemlidir. Proses koşulları ve reaksiyon ilerlemesinin seyri, ölçek büyütme çalışmalarında kinetik parametreler, aktivasyon enerjisi ve termal bozunmanın reaksiyon modeli hakkındaki bilgilere bağlıdır. Bu nedenle bu çalışmada ayçiçek çekirdek kabuğuna (SSH) 100 W güçte ve 20 kHz frekansta 10 dakika süreyle hem distile su hem de DES (gliserol:sodyum asetat) ile uygulanan US prosesi ile kinetik parametrelerdeki değişim ortaya konmuştur. 15°C/dk, 20°C/dk ve 25°C/dk ısıtma hızlarında SSH ve ön işlem görmüş SSH'nin aktivasyon enerjisinin değerlendirilmesinde Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) ve Flynn-Wall-Ozawa (FWO) izokonversiyonel yöntemler tercih edilmiştir. US'de su yerine DES ile yapılan ön işlem, KAS yönteminde ortalama aktivasyon enerjisi değerinin ( $E_a$ ) 113,13'ten 143,65 kJ/mol'e yükselmesine neden olmuştur. Tüm SSH numuneleri için  $E_a$  değerleri 87,72-143,65 kJ/mol aralığında değişmiş ve ön işlem görmüş SSH numuneleri için KAS yöntemi ile daha yüksek  $E_a$  değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, US ön işleminde DES kullanımı, suya kıyasla SSH'nin kinetik parametreleri üzerinde daha etkili olmuştur.*

**Anahtar kelimeler:** *Derin ötektik çözücüler, Yeşil teknoloji, Kinetik modelleme, Ayçiçek çekirdek kabuğu, Ultrasonik proses*

\*Gamze GOKTEPELİ; gdinc@ktun.edu.tr

## 1. Introduction

Sunflower is widely cultivated in all over the world due to the high resistance to the environmental conditions., e.g. its production ratio is nearly 50 million tons/year for European countries. Correspondingly, millions of sunflower seed husk (SSH) is produced every year since 30-50% of the seed is husk (Perea-Moreno et al., 2018; Gandariasbeitia et al., 2022). It commonly uses to produce animal feed and its usage for energy purposes is very limited (Cui et al., 2019). However, SSH is one of the lignocellulosic biomasses having important carbon source and high energy content. Perea-Moreno et al., (2018) emphasized that SSH can be used effectively instead of fossil fuels, and it is important material for combustion applications. Similarly, Spirchez et al., (2019) proved that SSH is cheap, suitable, and promising lignocellulosic material as solid fuel by discussing durability and density of SSH. Additionally, SSH can be safer fuel comparing to the natural gas in terms of environmental aspect since it diminishes emissions of some pollutants such as suspended solids, volatile organic compounds, and methane (Horák et al., 2023). SSH can also be evaluated in different biomass conversion technologies such as thermochemical process, anaerobic treatment, chemical and physicochemical processes to obtain economically valuable products (Flores et al., 2021). However, most of these processes need pretreatment step to improve selectivity and conversion ratio of biomasses. Nowadays, ultrasonic-assisted (US) and deep eutectic solvents (DES) pretreatment methods are gaining importance since they have many advantages over the traditional methods. US can change physicochemical structure of lignocellulosic biomasses by disruption of lignin barrier, decreasing hemicellulose content and thereby increment in cellulose accessibility. It can also increase heat transfer, contact of the products and reactants (He et al., 2017). Moreover, US is a more environmentally friendly and economical application compared to traditional pretreatment methods since conventional methods are mostly required long time, high quantity of chemicals and high pressure/temperature (He et al., 2017). As for DES, they are green, easily recovered solutions, non-toxic for environment, biodegradable and high stable comparing to the conventional chemical solvents (Alvarez-Vasco et al., 2016). They are produced based on H-bond formation between at least two components and can be used in many different application studies such as extraction process, pretreatment for lignocellulosic biomasses, using with other pretreatment systems (US, radiation etc.) (Li et al., 2022). DES can be prepared by using many different green solvents which one of these are hydrogen bond donor (HBD) and the other is hydrogen bond acceptor (HBA). Nowadays, interest in glycerol as HBD in the preparation of DES solutions has been increasing. Glycerol based DES solutions are being effectively used in the pretreatment process and/or extraction process such as polyphenol extraction. Mouratoglou et al., (2016) illustrated that glycerol-sodium acetate or sodium potassium tartrate outperformed as compared to water and ethanol during the extraction process of polyphenols. In literature, most of the studies are about the effects of these pretreatment process on characteristics of lignocellulosic biomasses (He et al., 2017; Li et al., 2023). For instance, Baksi et al., (2018) found that 85% lignin removal from *Crotalaria juncea* biomass was achieved with US treatment with water. Similarly, Subhedar & Gogate, (2014) emphasized that treated newspaper waste with US at alkaline conditions had lower lignin content than original form. In another study showed that crystallinity and molecular weight decreased with US pretreatment at 37 kHz and 150 W (Wong et al., 2012).

Mainly two-step process exists for kinetic analysis: experiments conducted at different temperatures or heating programs (isothermal or nonisothermal) and mathematical determination of kinetic parameters with model fitting, single-heating-rate methods, and isoconversional methods. The activation energy ( $E_a$ ) of lignocellulosic biomass highly depended on the kinetic model.  $E_a$  values for sugar cane bagasse with Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Flynn- Wall-Ozawa (FWO) and Friedman method was found as 52.3, 61.7 and 127.7 kJ/mol, respectively (Gai et al., 2013). As for untreated and treated rice husk,  $E_a$  values was specified as 222.18, 227.98 kJ/mol in KAS model, 219.67, 218.83 kJ/mol in the FWO model (Kumar et al., 2020). Among kinetic models, many researchers prefer isoconversional methods, such as FWO and KAS model, since it has a foremost advantage compared to model-fitting and single-heating-rate methods and it is more suitable for complex materials, like biomass (Dhyani & Bhaskar, 2018). FWO method is applied for the calculation of activation energy via TGA analysis at constant heating rates. The activation energy is calculated from the slope of the graph of  $\ln\beta$  versus  $1/T$ . As for KAS, it is differential method formulated by using Arrhenius equation. The slope of the  $\ln(\beta/T^2)$  versus  $1/T$  graph gives the  $-E_a/R$  values (Sarkar & Wang, 2020).

In the literature, although several studies exist about the change of the characteristics of biomasses with US and DES pretreatment, limited studies have been performed by effects of these new pretreatment methods on kinetic parameters of biomasses. However, effects of US and DES pretreatment methods on kinetic parameters have also vital importance since they are required in scale-up studies. Kinetic studies have critical importance

for understanding course of reaction progression and to determinate the dependence of the rate of progression on process parameters. Moreover, establishment of process conditions depended on the knowledge about kinetic parameters, activation energy and reaction model of thermal degradation (Dhyani & Bhaskar, 2018). Thermogravimetric analysis (TGA) is commonly used for thermal degradation analysis of lignocellulosic biomasses. Moreover, TGA can be used for evaluation of reaction kinetics formulation, organic and inorganic content decision, characteristic decomposition patterns etc. (García et al., 2014; Manara et al., 2015; Ghouma et al., 2017; Dhyani & Bhaskar, 2018). Therefore, in the presented study, the effects of US pretreatment process conducted with both water and glycerol:sodium acetate DES solution on thermal characteristics and kinetic parameters of sunflower seed husk by using KAS and FWO method.

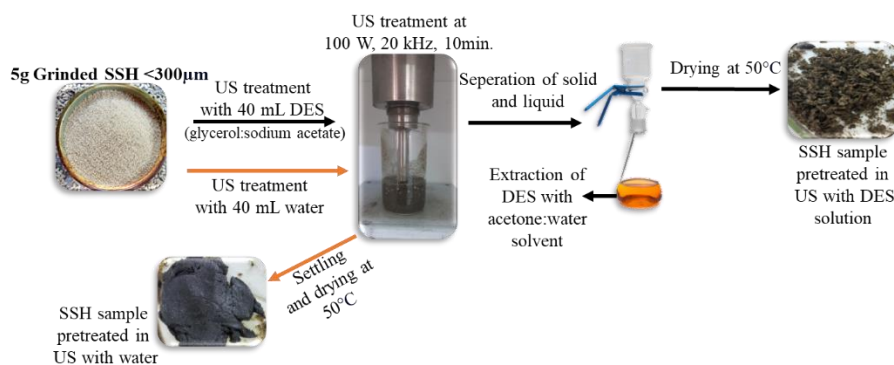
## 2. Material and method

### Preparation of SSH sample

Sunflower seed husk (SSH) were taken from the facility of sunflower seed oil in Edirne/Türkiye, they were grinded and sieved to obtain SSH sample with the size of less than 300 micron.

### Pretreatment of SSH sample

Ultrasonic (US) pretreatment was applied to the SSH sample with both distilled water and deep eutectic solvents (DES) solution. US pretreatment was conducted with Bandelin HD 3200 model US homogenizer and TT 13 model titanium probe. US process conditions were settled as 100 W power, 20 kHz frequency and 10 minutes processing time. In the literature, US process for lignocellulosic biomasses were applied mostly at 100 W power, 20-35 kHz frequency and for 10-60 minutes to obtain a remarkable effect on biomass characterization (Santos et al., 2020; Schmitz et al., 2021). Therefore, the experimental conditions in the presented study were chosen accordingly. The values for frequency and processing time were preferred as low as possible in terms of energy saving. The detail information about US preprocessing to the SSH samples was presented in Figure 1.



**Figure 1.** Ultrasonic pretreatment of SSH sample with water and DES solution

DES solution was prepared with the mixing sodium acetate:glycerol (molar ratio, 1:9) at 70°C until obtaining clear solvent mixture. Although DES solution with different molar ratios (such as 1:3, 1:5) for sodium acetate:glycerol was prepared, transparent solvent mixture was achieved with molar ratio of 1:9. DES solution was removed with acetone:water (1:1 v/v) mixture as anti-solvent after US preprocessing of SSH with DES solution as shown in Figure 1.

### Kinetic modelling

Thermal analysis of SSH and pretreated SSH samples was conducted with Perkin-Elmer TGA4000 Model instrument at four different heating rate (15°C/min, 20°C/min, 25°C/min and 30°C/min; processing time 60 min., 45 min., 36 min., 30 min., respectively) and 900°C target temperature. Nitrogen gas was used at a ratio of 20mL/min to achieve an oxygen-free environment during TGA analysis.

TGA is effective and commonly used method for non-isothermal pyrolysis process for biomass (Sarkar & Wang, 2020). TGA process is conducted at constant heating rate and the conversion rate of biomass is expressed as (equation 1) where,  $m_i$  and  $m_f$ : initial and final mass of the sample, respectively;  $m_a$ : mass of the sample at any time during TGA analysis:

$$\alpha = \frac{m_i - m_a}{m_i - m_f} \quad (1)$$

KAS and FWO isoconversional methods were used for kinetic study of SSH and pretreated SSH samples for description of complex reaction mechanism and equations were given for these methods as follows (Zha et al., 2023):

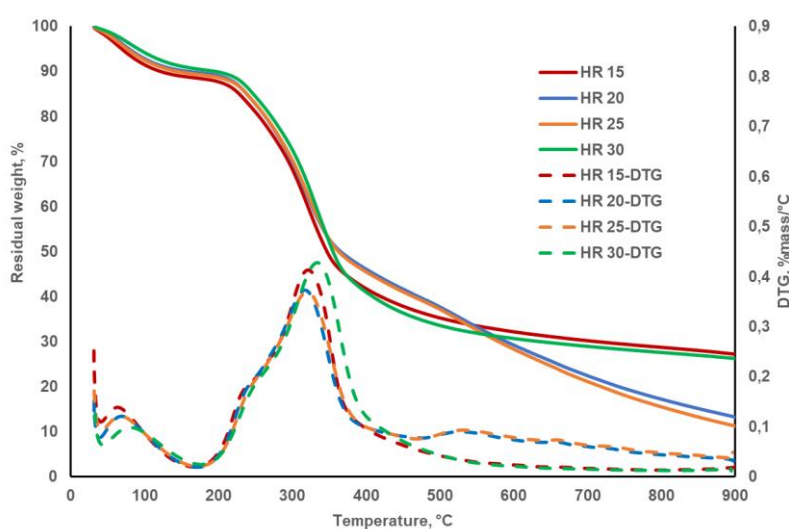
$$\text{KAS: } \ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = \ln\left(\frac{AR}{E_a G(\alpha)}\right) - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

$$\text{FWO: } \ln(\beta) = \ln\left(\frac{AR}{E_a G(\alpha)}\right) - 5.331 - 1.052 \frac{E_a}{RT} \quad (3)$$

where,  $\beta$ =heating rate,  $T$ =temperature,  $R$ =gas constant,  $A$ = pre-exponential factor

### 3. Results and discussion

Thermal characteristics of SSH sample was given in Figure 2 for different heating rates. According to figure, mainly three degradation zones were observed. The first zone was the moisture evaporation between the temperature of 70°C -150°C. The second zone where the most degradation was observed due to the cellulose and hemicellulose degradation were between the temperature of nearly 220°C-350°C (Figure 2). More than 50% of the initial mass of SSH was degraded up to 400°C since the main portion of the SSH sample is cellulose and hemicellulose as specified in the studies (Demirbas, 2002; Kamireddy et al., 2014). Lignin has wide decomposition temperature range as compared to the cellulose and hemicellulose. It starts to degrade at 200°C with first pyrolysis reactions and it continues to degrade at temperature higher than 400°C with secondary pyrolysis reactions (Kawamoto, 2017). Therefore, the third zone (>400°C) observed in the Figure 2 belonged to the lignin degradation. Although the temperature observed the maximum degradation of SSH was very close to each other for different heating rates, maximum degradation temperature shifted right at 30°C/min heating rate condition (Figure 2). This can be attributed to the higher residence time for the sample in lower heating rate conditions. This higher residence time provides penetration of thermal gradients up to particles inner cores thereby this changes the maximum degradation temperature (Patidar et al., 2022).

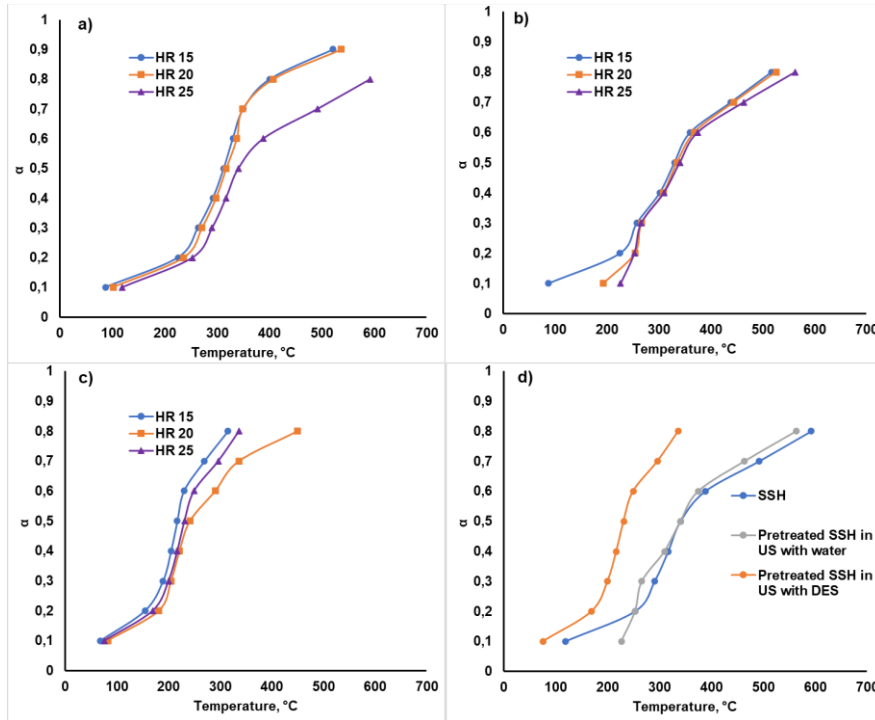


**Figure 2.** Thermal characteristics of SSH sample at different heating rate (Differential thermogravimetric analysis: DTG; HR: heating rate (°C/min))

Effect of ultrasonic pretreatment with distilled water and DES solution on conversion rate of SSH was compared in Figure 3. Both SSH and pretreated SSH samples had sigmoid shape curves for all heating rates. In the TGA analysis, short reaction time is needed for higher heating rate therefore degradation temperature for sample is also higher. Therefore, the higher temperature was needed at high heating rate for same mass conversion rates and therefore, curves mostly shifted to the right side from low to high heating rates (Figure 3(a-c)). This result is comparable with the other studies. Patidar et al., (2022) emphasized that lower temperature is needed at 5°C/min heating rate as compared to the 10°C/min and 20°C/min heating rates for



the same mass conversion rates. US pretreatment process with both water and DES affected mass conversion rate of SSH (Figure 3(d)). This can be explained with that both DES solution and US process have an important impact on the fractions of lignocellulosic biomasses. Lignin and hemicellulose fraction of lignocellulosic biomasses mostly decreased after US process with both DES and water as specified in the literature (Subhedar & Gogate, 2014; He et al., 2017). As seen in Figure 3 (d), DES solution usage during the US process instead of water highly affected mass conversion rate of SSH. Higher mass conversion rates were observed at much lower temperatures in pretreated SSH sample in US with DES. This is most likely due to the fact that the lignin fraction in the SSH structure is dissolved and/or reduced by DES during US preprocessing.



**Figure 3.** Mass conversion rate of SSH at different heating rates a) SSH, b) Pretreated SSH in US with water, c) Pretreated SSH in US with DES, d) SSH and pretreated SSH at 25°C/min heating rate

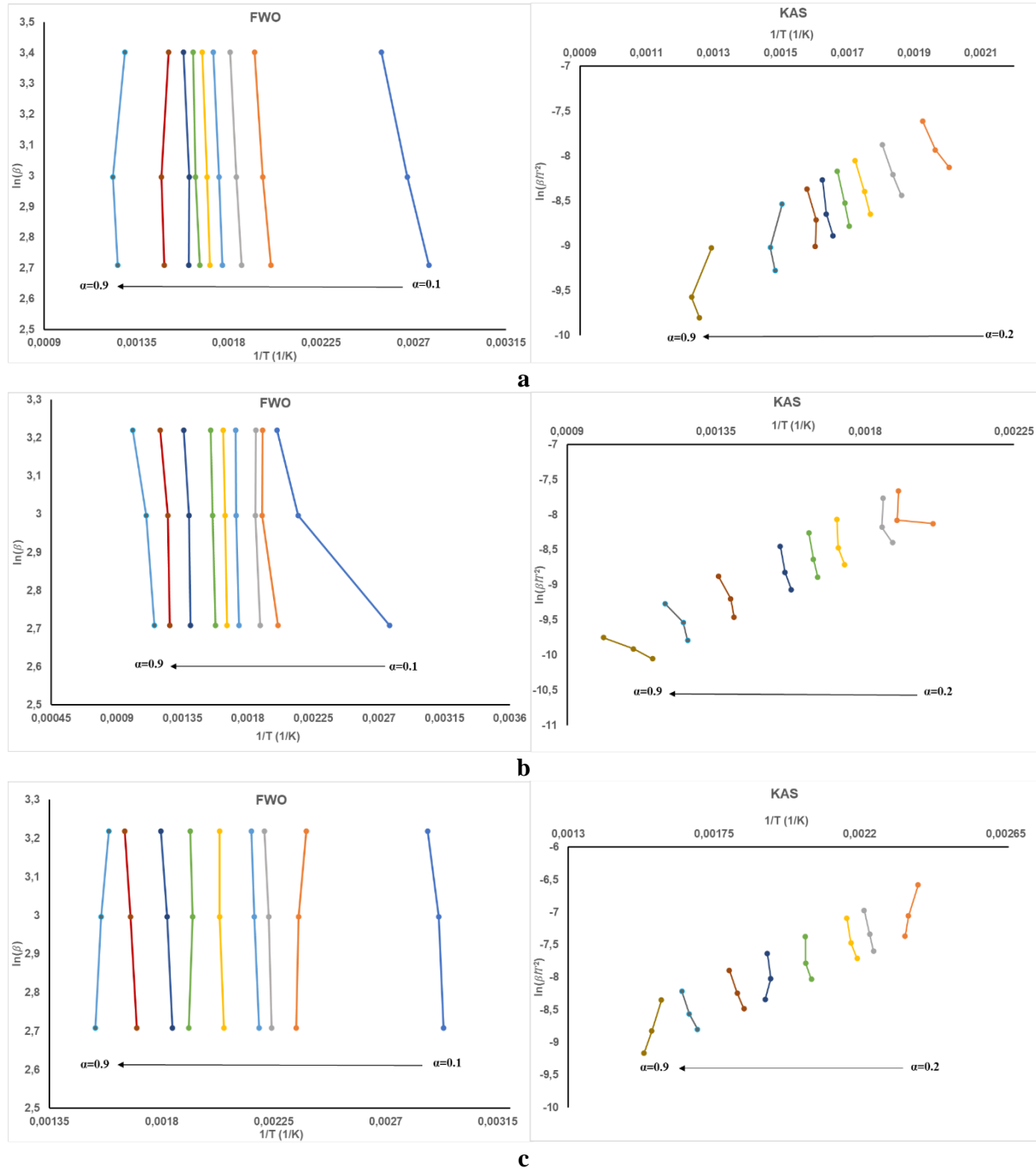
Activation energy for both SSH and pretreated SSH samples were calculated with model free methods of FWO and KAS by using equation 2 and 3 (Table 1 and Figure 4). Activation energy values calculated at conversion value of 0.1 were not used during fitting of data in models since correlation value for  $\alpha=0.1$  was low. Correlation value for other conversion values were higher than the 0.95. Although the average activation energy values calculated with FWO and KAS method were close to each other for SSH sample, higher activation values were obtained with KAS method for pretreated SSH samples (Table 1).

**Table 1.** Activation energy values calculated from KAS and FWO method with fitted equation for SSH and pretreated SSH samples

$\alpha$	SSH		Pretreated SSH in US with water		Pretreated SSH in US with DES	
	$E_a$ (kJ/mol)		$E_a$ (kJ/mol)		$E_a$ (kJ/mol)	
	FWO	KAS	FWO	KAS	FWO	KAS
0.2	68.45	53.75	29.10	19.07	91.02	156.00
0.3	94.99	81.77	99.09	106.97	134.78	177.20
0.4	120.62	108.69	152.02	183.51	125.32	155.90
0.5	151.58	141.20	147.49	192.48	177.89	213.11
0.6	168.30	158.70	120.81	151.54	104.56	112.66
0.7	157.83	147.57	76.03	95.44	87.54	107.68
0.8	104.21	128.45	50.75	56.61	83.41	100.25
0.9	61.66	84.94	26.48	16.80	74.63	126.38
Average	115.95	113.13	87.72	115.09	109.89	143.65



The average activation energy values from KAS were 113.13;115.09;143.65 for SSH, pretreated SSH in US with water and pretreated SSH in US with DES, respectively. Activation energy values calculated with KAS and FWO method for different biomass samples, such as coffee husks, cherry, and peach seed etc., were presented in the literature. Activation energy of most of these biomasses ranged between 74-288 kJ/mol (Coruh & Bayrakceken, 2020). Therefore, it can be indicated that presented activation values in this study coincide with the literature values.



**Figure 4.** FWO and KAS method for evaluation of  $E_a$  a) SSH, b) Pretreated SSH in US with water, c) Pretreated SSH in US with DES

It has been noticed that a fluctuation exists in the activation energy based on conversion ratio for all SSH samples (Table 1). This fluctuation can be related to the thermal degradation of biomass components such as cellulose, hemicellulose and lignin content. Moreover, this fluctuation observed in activation energy values with conversion rate can be an indication that multiple reaction mechanism occurred during the pyrolysis of all SSH samples (Coruh & Bayrakceken, 2020). Additionally, an increment was observed in activation value

with US pretreatment, especially for KAS method. Santos et al., (2020) stated that activation energy for guava slices increased from 31.8 kJ/mol to 56.87 kJ/mol after 10 minutes US pretreatment. This can be related to the pretreated SSH samples with US need more energy for the initiation of diffusion process (Santos et al., 2020). Moreover, the different model free methods gave slightly different  $E_a$  values for pretreated SSH. This situation can be explained by the fact that the energy required for the initiation of the reaction ( $E_a$ ) of treated SSH is more affected from the equations of the integral calculated with different approaches compared to untreated SSH due to the possible changes in the fractions of SSH. To conclude, it can be emphasized that US pretreatment with both water and DES had notable impact on thermal properties of SSH samples.

Kinetic parameters play a key role in the biomass conversion technologies to control product yield and correct design. Moreover, kinetic parameters should be taken into account for application and improvement of the biomass conversion technologies. Therefore, in this study, it was focused on the effects of the green and innovative pretreatment techniques on kinetic parameters of SSH. Increment in the activation energy value after pretreatment with green technologies is quite important result of the presented study; since it can be an indicator that pretreated SSH can have slow reaction rate comparing to SSH. Obtained results also shows that green technologies can be used effectively to change cellulose, hemicellulose, and lignin fractions of lignocellulosic biomasses for different purposes.

#### 4. Conclusions

Ultrasonic pretreatment process was applied to the sunflower seed husk (SSH) with distilled water and glycerol:sodium acetate deep eutectic solvent (DES) as green solvent to evaluate the effects of these pretreatment process on kinetic parameters of SSH. The obtained results were specified as follows:

- Approximately 50% of the initial mass of SSH were degraded up to 400°C due to the high fraction of hemicellulose and cellulose.
- Higher residence time during the TGA analysis affected the maximum degradation temperature of SSH.
- Although the activation energy value calculated by both the FWO and KAS method was close to each other for the SSH sample, there was a remarkable difference for the pretreated SSH samples.
- Mass conversion rate and activation energy values of SSH sample changed prominently with ultrasonic pretreatment process with DES solution.
- The highest activation energy value (~144 kJ/mol) was observed for pretreated SSH in US with DES in the KAS method.

Consequently, KAS and FWO method can be effectively used to explain kinetic modelling of both SSH and pretreated SSH samples since correlation values of these methods were high. Mass conversion rate and kinetic modelling of SSH samples were highly affected with DES solution during the ultrasonic pretreatment process.

#### Author contribution

The entire article was written by the corresponding author.

#### Declaration of ethical code

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

#### Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

#### References

- Alvarez-Vasco, C., Ma, R., Quintero, M., Guo, M., Geleynse, S., Ramasamy, K. K., Wolcott, M., Zhang, X. (2016). Unique low-molecular-weight lignin with high purity extracted from wood by deep eutectic solvents (DES): a source of lignin for valorization. *Green Chemistry*, 18(19), 5133-5141.
- Baksi, S., Saha, S., Birgen, C., Sarkar, U., Preisig, H. A., Markussen, S., Wittgens, B., Wentzel, A. (2018). Valorization of lignocellulosic waste (*Crotalaria juncea*) using alkaline peroxide pretreatment under different process conditions: An optimization study on separation of lignin, cellulose, and hemicellulose. *Journal of Natural Fibers*.

- Coruh, M. K., & Bayrakçeken, H. (2020). Pyrolytic Degradation Behavior of Biomass Seeds: Cherry and Peach Seed. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 3(2), 46-51.
- Cui, X., Yang, J., Shi, X., Lei, W., Huang, T., & Bai, C. (2019). Pelletization of sunflower seed husks: Evaluating and optimizing energy consumption and physical properties by response surface methodology (RSM). *Processes*, 7(9), 591.
- Demirbaş, A. (2002). Fuel characteristics of olive husk and walnut, hazelnut, sunflower, and almond shells. *Energy Sources*, 24(3), 215-221.
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). Kinetic analysis of biomass pyrolysis. In *Waste Biorefinery* (pp. 39-83). Elsevier.
- Flores, E. M., Cravotto, G., Bizzi, C. A., Santos, D., & Iop, G. D. (2021). Ultrasound-assisted biomass valorization to industrial interesting products: state-of-the-art, perspectives and challenges. *Ultrasonics Sonochemistry*, 72, 105455.
- Gai, C., Dong, Y., & Zhang, T. (2013). The kinetic analysis of the pyrolysis of agricultural residue under non-isothermal conditions. *Bioresource technology*, 127, 298-305.
- Gandariasbeitia, M., López-Pérez, J. A., Juaristi, B., & Larregla, S. (2022). Sunflower seed husk as promising by-product for soil biodisinfestation treatments and fertility improvement in protected lettuce crop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 901654.
- García, G. B., de Hoces, M. C., García, C. M., Palomino, M. T. C., Gálvez, A. R., & Martín-Lara, M. Á. (2014). Characterization and modeling of pyrolysis of the two-phase olive mill solid waste. *Fuel processing technology*, 126, 104-111.
- Ghouma, I., Jeguirim, M., Guizani, C., Ouederni, A., & Limousy, L. (2017). Pyrolysis of olive pomace: degradation kinetics, gaseous analysis and char characterization. *Waste and biomass valorization*, 8, 1689-1697.
- He, Z., Wang, Z., Zhao, Z., Yi, S., Mu, J., & Wang, X. (2017). Influence of ultrasound pretreatment on wood physiochemical structure. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 136-141.
- Horák, J., Bilan, Y., Dankevych, A., Nitsenko, V., Kucher, A., & Streimikiene, D. (2023). Bioenergy production from sunflower husk in Ukraine: potential and necessary investments. *Journal of Business Economics and Management*, 24(1), 1-19.
- Kamireddy, S. R., Kozliak, E. I., Tucker, M., & Ji, Y. (2014). Determining the kinetics of sunflower hulls using dilute acid pretreatment in the production of xylose and furfural. *Green Processing and Synthesis*, 3(1), 69-75.
- Kawamoto, H. (2017). Lignin pyrolysis reactions. *Journal of Wood Science*, 63(2), 117-132.
- Kumar, M., Mishra, P. K., & Upadhyay, S. N. (2020). Thermal degradation of rice husk: effect of pre-treatment on kinetic and thermodynamic parameters. *Fuel*, 268, 117164.
- Li, P., Yang, C., Jiang, Z., Jin, Y., & Wu, W. (2022). Lignocellulose Pretreatment by Deep Eutectic Solvents and Related Technologies: A Review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*.
- Manara, P., Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., Vanderghem, C., Richel, A., & Zabaniotou, A. (2015). Mediterranean agri-food processing wastes pyrolysis after pre-treatment and recovery of precursor materials: A TGA-based kinetic modeling study. *Food Research International*, 73, 44-51.
- Mouratoglou, E., Malliou, V., & Makris, D. P. (2016). Novel glycerol-based natural eutectic mixtures and their efficiency in the ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from agri-food waste biomass. *Waste and Biomass Valorization*, 7, 1377-1387.
- Patidar, K., Singathia, A., Vashishtha, M., Sangal, V. K., & Upadhyaya, S. (2022). Investigation of kinetic and thermodynamic parameters approaches to non-isothermal pyrolysis of mustard stalk using model-free and master plots methods. *Materials Science for Energy Technologies*, 5, 6-14.
- Perea-Moreno, M. A., Manzano-Agugliaro, F., & Perea-Moreno, A. J. (2018). Sustainable energy based on sunflower seed husk boiler for residential buildings. *Sustainability*, 10(10), 3407.

- Santos, N. C., Almeida, R. L. J., da Silva, G. M., Monteiro, S. S., & Andre, A. M. M. (2020). Effect of ultrasound pre-treatment on the kinetics and thermodynamic properties of guava slices drying process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102507.
- Sarkar, J. K., & Wang, Q. (2020). Characterization of pyrolysis products and kinetic analysis of waste jute stick biomass. *Processes*, 8(7), 837.
- Schmitz, E., Karlsson, E. N., & Adlercreutz, P. (2021). Ultrasound assisted alkaline pre-treatment efficiently solubilises hemicellulose from oat hulls. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 5371-5381.
- Spirchez, C., Lunguleasa, A., & Croitoru, C. (2019). Ecological briquettes from sunflower seed husk. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 80, p. 01001). EDP Sciences.
- Subhedar, P. B., & Gogate, P. R. (2014). Alkaline and ultrasound assisted alkaline pretreatment for intensification of delignification process from sustainable raw material. *Ultrasonics sonochemistry*, 21(1), 216-225.
- Wong, S. S., Kasapis, S., & Huang, D. (2012). Molecular weight and crystallinity alteration of cellulose via prolonged ultrasound fragmentation. *Food Hydrocolloids*, 26(2), 365-369.
- Zha, Z., Wu, K., Ge, Z., Ma, Y., Zeng, M., Wu, Y., Tao, Y., Zhang, H. (2023). Effect of oxygen on thermal behaviors and kinetic characteristics of biomass during slow and flash pyrolysis processes. *Combustion and Flame*, 247, 112481.

## A research on high voltage cables consisting of different conductors having the same rated voltages

*Aynı anma gerilimlerine sahip farklı iletkenlerden oluşan yüksek gerilim kabloları üzerine bir araştırma*

Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA\*<sup>1</sup> , Murat GÜREK<sup>2</sup> , Sümeyya YILDIRIM EREN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

<sup>2</sup>Hasçelik Kablo San. Tic. A.Ş., Ar-Ge Departmanı, 38070, Kayseri

• Received: 05.05.2023

• Accepted: 27.12.2023

### Abstract

Aluminum and copper conductors are commonly used in the transport of energy. In this work, high-voltage cables occurring aluminum and copper conductors exposed to the same rated voltage values are analyzed. In order to obtain the same current carrying capacity for copper and aluminum conductors, the relationship between the cross-sections has been determined and then the most appropriate cross-sectional values for each conductor are identified. Three different cross-sectional values have been selected for each conductor type and the calculations for the cables are carried out by using the Cable Ampacity Calculations Program (CYMCAP) within the framework of the International Electrotechnical Commission (IEC) standards. The performance of the cables has been compared in terms of material losses, cable structures and the cable costs. It is seen from the simulation results that aluminum conductor cables have lower cost and higher electrical losses than the copper conductor cables.

**Keywords:** Aluminum and copper conductors, Current carrying capacity, CYMCAP, Electrical power losses, High voltage underground cables

### Öz

Alüminyum ve bakır, enerjinin taşınmasında yaygın olarak kullanılan iletkenlerdir. Bu çalışmada, aynı anma gerilim değerlerine maruz bırakılan alüminyum ve bakır iletkenlerden meydana gelen yüksek gerilim kabloları analiz edilmiştir. Bakır ve alüminyum iletkenlerinin aynı akım taşıma kapasitesine sahip olabilmesi için kesitleri arasındaki ilişki tespit edilerek her bir iletken için en uygun kesit değerleri tanımlanmıştır. Her iletken tipi için üç adet farklı kesit değeri seçilmiş ve kablolarına ait hesaplamalar International Electrotechnical Commission (IEC) standartları çerçevesinde Cable Ampacity Calculations (CYMCAP) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kabloların aynı şartlar altındaki performansları malzemeden kaynaklı kayıplar, kabloları oluşturan yapılar ve kablo maliyetleri açısından mukayese edilmiştir. Alüminyum iletkenli kabloların bakır iletkenli kablolarına göre toplam elektriksel kayıpları daha fazla iken maliyetlerinin daha az olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum ve bakır iletkenler, Akım taşıma kapasitesi, CYMCAP, Elektriksel güç kayıpları, Yüksek gerilim yeraltı kabloları

\*Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA; cetinkaya@erciyes.edu.tr

## 1. Introduction

The need for electrical energy in daily life has considerably been increased with the population growth, urbanization and industrialization (Casarino et al., 2018; Huang et al., 2019). Electricity generation sources can be classified into two groups as non-renewable energy sources and renewable energy sources. The most preferred energy sources in last decades are the fossil fuels, nuclear energy and hydraulic energy. On the other hand, hydraulic power plants, thermal power plants, natural gas cycle power plants, wind and solar power plants can be expressed as the most preferred power generation methods.

Energy transmission and distribution is as important as energy production (Casarino et al., 2018). The electrical energy generated in the power plants is delivered to the end-user through electricity transmission and distribution lines. Nowadays, electrical energy transmission is realized by different systems above or below the ground (Alanne & Cao, 2018). While the electricity transmission above ground is carried out by the electric poles, underground electricity transmission is being performed by the buried cables.

Power lines are divided into two groups as low and high voltage lines. Voltage values equal to or lower than 1000 volts are called as low voltage while the values higher than 1000 volts are high voltage. High-voltage lines are being used between the power generation plants and final downloader transformer. The transfer of high voltage directly to the end user is not suitable in terms of insulation and safety (Mueller et al., 2019). Therefore, low-voltage lines are preferred between the last downstream transformer and end user.

In electrical transmission and distribution lines, for open areas while the overhead conductors are used, in cities the underground cables are being preferred (Mueller et al., 2019). The underground cables are more expensive than overhead conductors in terms of installation, material and maintenance costs. However, the underground cables are mostly preferred in residential areas since they are safer and not cause visual pollution (Mueller et al., 2019).

Underground cables may be in single-core or multi-core according to their intended use. Three-phase systems can be designed by using only one cable with multi-core or numerous cables with single-core. These cables may also be armored or unarmored depending on their aim of use (IEC 60502-2, 2015). Underground cables are preferred according to their current carrying capacity, losses, cost and also by considering line route and geographical conditions. Within the framework of all these parameters, the electrical cables can be designed by using conductors consisting of different materials. Nowadays, conductors made of copper or aluminum are used in electrical transmission (IEC 60502-2, 2015; TS EN 60228, 2007). The physical properties of copper and aluminum conductors are given in Table 1.

**Table 1.** Physical properties of the materials

Properties	Unit	Copper (Cu)	Aluminum (Al)
Density	g/cm <sup>3</sup>	8.96	2.71
Specific conductivity at 20 °C	Ω/m	58.14	35.46
Resistivity at 20 °C	Ω mm <sup>2</sup> /m	1.72×10 <sup>-8</sup>	2.82×10 <sup>-8</sup>

The electrical conductivity of copper conductor is higher than the aluminum conductor. The purpose of these conductors used in cables is to carry the highest amount of current without disturbing the cable structure. Current carrying capacity also depends on multiple parameters (TS IEC 60287-1-1, 2003; TS IEC 60287-2-1, 2015; TS IEC 60287-3-1+A1, 2015; TS IEC 60287-3-2, 2012). Among the conductors on the earth, silver offers the highest electrical conductivity and it is followed by copper, gold and aluminum. However, copper is the most preferred conductor in cables since gold and silver are too expensive. For the same cross-section of copper and aluminum, the copper conductor is approximately 3.3 times heavier than the aluminum. In this case, the cost of the conductor increases considerably. Since the copper conductor cables are more expensive, aluminum conductor cables can sometimes be preferred in order to decrease the investment cost.

The selection of cables to be used in energy transfer is theoretically determined based on the IEC 60502-2 standards. The parameters of current-carrying capacity, electrical losses and cost have to be taken into account while determining the optimal cable type. Especially, parameters of conductor type, insulation type and the installation conditions have direct effect on current-carrying capacity. CYMCAP offers an effective alternative



to eliminate all these uncertainties, choose the most suitable cable and verify the theoretical calculations. In this work, the current carrying capacity of high voltage underground cables are analyzed depending on the conductor type and possible electrical losses, which are difficult to detect in the laboratory environment, are characterized by using the CYMCAP program.

In order for copper and aluminum conductors to carry the same current in a line with the same voltage value, the conductor resistances must be equal as shown in Equation 1.

$$R_{Al} = R_{Cu}, \quad (R = (U/I)) \quad (1)$$

where  $U$ ,  $I$  and  $R$  represents the line voltage, line current and resistance of the line, respectively. As seen from Equation 1, conductor cross-sections can be modified using Equation 2 in order to equalize the line resistances of two different conductors made of copper and aluminum.

The direct current (DC) resistance value on the line can be calculated by using Equation 2.

$$R = p(L/S) \quad (2)$$

where,  $p$  and  $S$  represents the resistivity and conductor cross-section, respectively. Furthermore, when the line lengths represented by  $L$  are considered as equal, it is seen that the ratio of the resistances of different conductors to each other becomes equal to the ratio of the cross-sections of the conductors.

If the resistivity values given in Table 1 for copper and aluminum conductors are written in Equation 2, the ratio of aluminum cross-sectional area ( $S_{Al}$ ) to copper cross-sectional area ( $S_{Cu}$ ) is approximately obtained as  $S_{Al} / S_{Cu} = 1.6$ . At first step, the two underground cables with copper and aluminum conductors that are exposed to the same voltage and desired to carry the same amount of current are dealt. The relationship between the cross-sections of the conductors of these two underground cables has been determined using Equation 2. According to the results obtained, different groups are formed so that the cables with the same current carrying capacity are in the same group. The groups formed are represented in Table 2.

**Table 2.** The groups according to current carrying capacity

Groups	Cross section (mm <sup>2</sup> )	
	Copper conductor	Aluminum conductor
Group 1	95	95
Group 2	150	150
Group 3	240	240

In literature, there are few studies in which the copper or aluminum conductors are analyzed in different areas. In (Olivares et al., 2010), the physical properties of these two materials in the construction of transformer windings have been compared by Olivares and his friends. The physical properties compared in this work are the conductivity, the bulk density, the cost, the bonding, the oxidation, the workability and the behavior of these two materials under short circuit. It has been obtained from the analysis realized according to the prices for unit cost of copper and aluminum in November 2009 that for the transformers with nominal power lower than 190 kVA, aluminum is the best choice in the design of transformer windings. On the other hand, for 190 kVA and above power values copper has been stated to be better than the aluminum.

In this work, the performances of copper and aluminum conductor cables used in high voltage underground cables have been compared in terms of electrical losses and conductor costs. The CYMCAP (Version 7.0 rev.1) program has been used to analyze the performances of copper and aluminum conductors in varying cross-sections. By using CYMCAP program, cables with desired voltage values can be designed and also by changing many parameters, the effects of these parameters on the design can be examined.

CYMCAP based cable design processes has become an important area of research in recent years. (Ratkowski et al., 2022) have analyzed the effect of burying the cables in the channels, instead of burying them directly in

the ground, on the current carrying capacity by using the CYMCAP program. Xiao et al. calculated the cyclic load carrying capacities of cables directly buried to the ground by considering heat transfer conditions and then compared the results to that of CYMCAP calculation results (Xiao et al., 2022). In addition, Fu et al. have combined the CYMCAP program and the genetic algorithm in order to examine the transient temperature increases in the power cables buried in the channels (Fu et al., 2021). Matuszak et al. developed a novel CYMCAP based cross-bonding method in order to optimize current carrying capacity and power losses in medium voltage cable lines (Matuszak et al., 2019). Finally, the effects of ambient temperature, connection pattern, channel size and installation depth parameters on the current carrying capacity have examined by Leon via CYMCAP (Leon 2006).

## 2. Material and method

### 2.1. Identification of the cables used in simulations

In this section, detailed information has been given for the cables used in the simulations.

The rated voltages of high voltage underground cables can be defined as  $U_0/U_m$ . In this expression,  $U_0$  is the voltage value at the rated mains frequency. This voltage occurs between the conductor and the ground or between the conductor and the metal shield on which the cable is designed.  $U$  represents the voltage value at the rated mains frequency between the conductors on which the cable is designed. Finally,  $U_m$  can be defined as the highest system voltage at which the device can be used (IEC 60502-2, 2015). In this work, the simulations have been realized by using the cables with rated voltage value of 18/30(36)kV.

The cables are coded using some standard symbols for international convenience, the symbols of the cables used in this work are N2XSY and NA2XSY. According to the Verein Deutscher Elektrotechniker (VDE) standards the symbols are being defined as the following,

N: Cables resistant to extreme conditions.

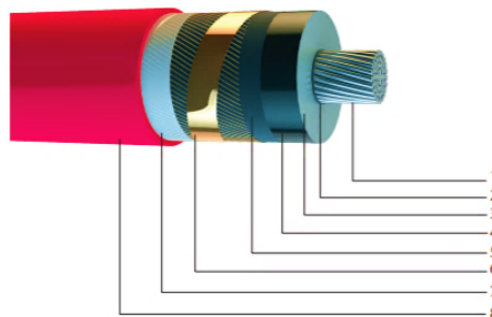
A: The conductor material is aluminum. But if not specified, the conductor is copper.

2X: Insulation material, Cross-linked polyethylene (XLPE).

S: Single core and copper screen.

Y: PVC outer sheath.

The underground cables used in this work consists of eight layers as shown in Figure 1, the conductors are at the center of the cables. These conductors made of copper or aluminum can be produced as twisted-braided (TS EN 60228, 2007).



1. Copper or Aluminum Conductor Compacted - Class 2
2. Inner Semi Conductive Layer
3. XLPE Insulation
4. Outer Semi Conductive Layer
5. Semi Conductive Swelling Tape
6. Copper Wire and Tape Screen
7. Separating Tape
8. PVC Jacket

**Figure 1.** Structure of the N2XSY or NA2XSY, copper or aluminum conductor, single core, high voltage power cables

Cross-linked polyethylene (XLPE) has been used as the insulation material. For XLPE insulated cables the maximum conductor temperature is about 90 °C and short circuit temperature is about 250 °C (Huang et al., 2016; Alanne & Cao, 2019; Mueller et al., 2019; IEC 60502-2, 2015). XLPE insulated cables are more preferred than PVC due to their temperature features because for PVC the conductor temperature is about 70 °C in normal operation and short circuit temperature is about 140-160 °C (IEC 60502-2, 2015). However, the outer sheath can be made of PVC or polyethylene (PE).

## 2.2. Layers forming the cables

Three different load groups are created in the simulations. In the first group 1\*95/16 mm<sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY and 1\*150/25 mm<sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY; in the second group 1\*150/25 mm<sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY and 1\*240/25mm<sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY; and in the last group 1\*240/25 mm<sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY and 1\*400/35mm<sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY energy cables have been used. The voltage values of the cables in all groups are selected as 18/30 kV. Table 2 is taken as reference in determining the conductor cross-sections of the cables in the groups.

In this work, three cables with copper and aluminum conductors consisting of the same layers in different sections are used for each group as in Table 2. The design parameters such as conductor type used in the cable, its twist shape and diameter, conductor insulation thickness, XLPE insulation thickness, outer semiconductor thickness, copper screen wire diameter and PVC sheath diameter have been included to CYMCAP program as default values before the simulations. For the cables used in the simulations, the cable designs realized in the CYMCAP program are represented in Figure 2. All parameters given for cable layers are defined by IEC 60502-2 standard. The dimensions of the layers forming the cables are given below in Table 3. By using the values given in Table 3, the designs have been realized separately for each of the 6 cables.

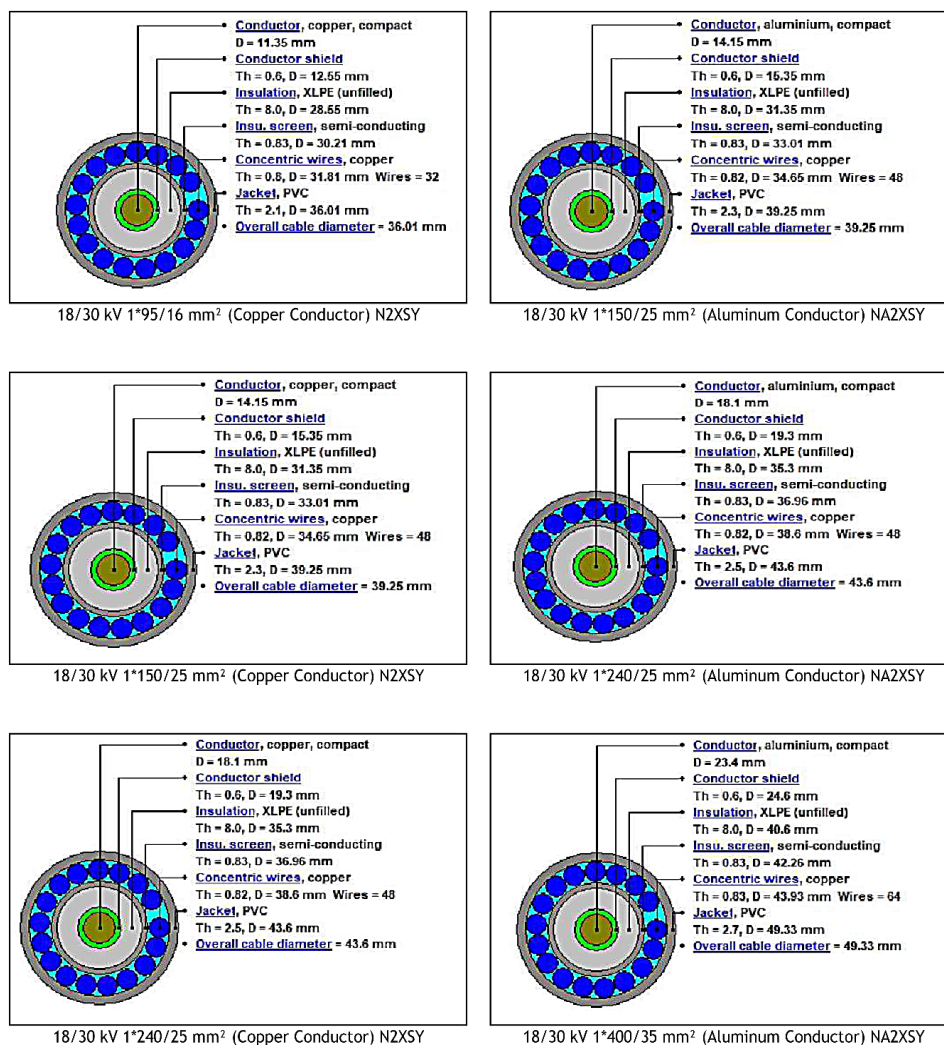


Figure 2. The design of the cables with CYMCAP

**Table 3.** Layers and quantities of the cables

Comparison groups (each group is compared with 2 cables in itself)	Cables	Conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	Conductor diameter (mm)	Inner semi conductive layer thickness (mm)	Insulation (XLPE) thickness (mm)	Outer semi conductive layer (mm)	Copper screen (mm <sup>2</sup> )
Group 1	18/30 kV 1*95/16 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	95	11.35	0.6	8	0.83	16
	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	150	14.15	0.6	8	0.83	25
Group 2	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	150	14.15	0.6	8	0.83	25
	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	240	18.1	0.6	8	0.83	25
Group 3	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	240	18.1	0.6	8	0.83	25
	18/30 kV 1*400/35 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	400	23.4	0.6	8	0.83	35

### 2.3. Laying conditions of underground cables

The performances of the underground cables may also vary according to laying conditions. In (Bustamante et al., 2019), the effects of ground resistance and cable depth on the current carrying capacity in high voltage underground cables has been investigated by Bustamante and friends. In their studies for cable depths ranging from 0.5 m to 3 m, they obtained the result that the maximum temperature of the cable will increase with an increase in the installation depth (Bustamante et al., 2019).

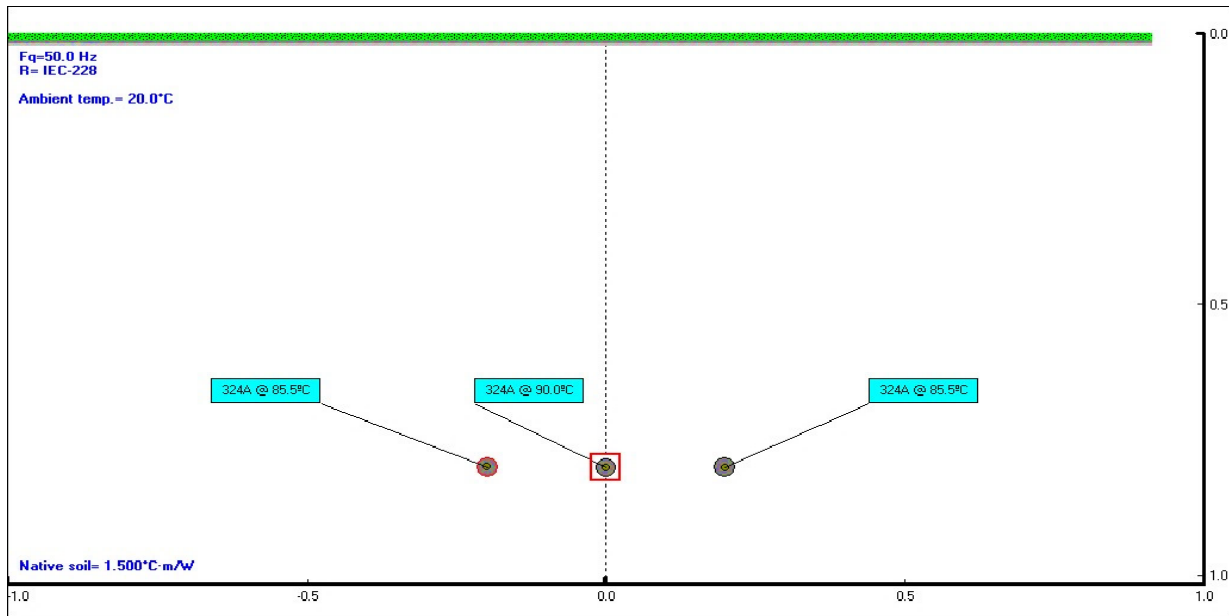
In this work, in order to ensure that all cables to operate under the same conditions, the parameters given in Table 4 has been kept constant for all cables. Also, the parameters directly affecting the working performance

of the cable such as soil thermal resistance, soil temperature, distance between cables and laying depth of the cable have also been taken as with fixed value for all cables. Due to the use of XLPE as an insulation material, the operating temperature is limited to a maximum of 90 °C because chemical deterioration may occur in XLPE materials at temperatures higher than 90 °C. Among the cables laid side by side in Figure 3, the cable in the middle is partially exposed to the temperature of the cables on its right and left. For this reason, the maximum operating temperature of the middle cable is 90 °C while the others are 85 °C.

**Table 4.** Conditions for laying cables under the ground

Description	Unit	Value
Thermal resistivity of native soil	°C.m/W	1.5
Ambient soil temperature at buried depth	°C	20
Maximum conductor temperature	°C	90
Frequency	Hz	50
Distance between cables (center-center)	m	0.2
Depth of laying	m	0.8
Load factor ( <i>p.u</i> )	-	1

The cables can be laid to underground in ducts or they can directly be buried in the ground (IEC 60502-2, 2015). In this work, it is assumed that the cables are directly buried on the ground, and the way the burying of cables in the CYMCAP program has been shown in Figure 3. Due to 3-phase systems are considered in applications, three single-core cables have been used.



**Figure 3.** Laying of cables in CYMCAP

## 2.4. Obtaining of the electrical parameters

Since the cables analyzed are in 3-phase AC structure, the AC resistance values at operating temperature should be calculated by the following steps.

Step 1. The DC resistance ( $R^l$ ) value at the operating temperature is measured according to the following statement.

$$R^l = R_0 [1 + \alpha_{2\alpha} (\theta - 20^\circ)] \quad (3)$$

where  $R^l$  is the DC resistance value measured at 90 °C,  $R_0$  is the DC resistance value measured at 20 °C,  $\alpha_{2\alpha}$  represents the temperature coefficient of the conductor and can be determined as

0.00393 for copper and 0.00403 for aluminum (TS EN 60228, 2007). Finally, the operating temperature ( $\theta$ ) is taken as 90 °C because of using XLPE insulation material (Huang et al., 2016; Alanne & Cao, 2019; Mueller et al., 2019; IEC 60502-2, 2015). Thus, the DC resistance value occurring at 90 °C can be found by using Equation 3.

Step 2. The AC resistance value  $R$  at working temperature is calculated by using Equation 4,

$$R = R^l [1 + \gamma_s + \gamma_p] \quad (4)$$

Skin Effect ( $\gamma_s$ ) and Proximity ( $\gamma_p$ ) parameters also should be taken into account when calculating the AC resistance. In this work, the coefficients of these parameters are chosen as 1 for all cables in order to make a fair comparison. As a result of calculations, it is seen that the DC and AC resistance values at operating temperature found as equal.

The ratio of the electric charge of a conductor cable to its potential is defined as the capacity value of that conductor cable and is calculated by Equation 5 which is used to calculate the dielectric losses.

$$C = \frac{\varepsilon}{18 \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)} \quad (5)$$

In this equation,  $\varepsilon$  is the dielectric constant of the insulator and it is taken as 2.5 for XLPE 18/30 kV voltage values (Karaca, 2016),  $D_e$  represents the outer diameter of the insulated conductor and  $D_i$  can be defined as the conductor diameter.

Conductive losses due to the current flowing through the cable are associated with the conductor resistance and the square of the current (Osman et al., 2014) and can be calculated using Equation 6,

$$W_c = I^2 R \quad (6)$$

where,  $W_c$  represents the conductor losses;  $I$  is the line current and  $R$  is the AC resistance at operating temperature. Conductor losses for single phase can be obtained by using Equation 6. The results obtained by using Equation 6 and given in Table 5 are the loss values in single phase and these values should be multiplied by 3 for 3 phases.

Dielectric constant and loss factor are the most important factors determining the capacity value of an insulator. The value of loss factor should ideally be zero, but if the insulator is not ideal, a leakage current ( $I_l$ ) occurs and this current causes dielectric losses. At high voltage or frequency an important amount of heat occurs as a result of dielectric losses. Therefore, the loss factor of the selected insulation material should be as small as possible. The loss factor is expressed by  $\tan(\delta)$  and can be defined as the ratio of the leakage current to the capacitor current ( $I_c$ ) as shown below (Taslak, 2014).

$$W_d = \omega C U_0^2 \tan(\delta) \quad (7)$$

In Equation 7 which is used to calculate the dielectric losses,  $\omega$  represents the angular frequency and can be defined as  $2\pi f$ .  $f = 50 \text{ Hz}$  is the operating frequency of the system and the capacity value  $C$  can be calculated by using Equation 5.  $U_0$  is the voltage between phase and neutral and is taken as 18 kV. Also,  $\tan(\delta)$  is taken as 0.004 for the XLPE insulation material (Karaca, 2016).



**Table 5.** Performance results of cables

Comparison groups (each group is compared with 2 cables in itself)	Cables	DC resistance of conductor at 20 °C (ohm/km)	AC resistance of conductor at operating temperature °C (ohm/km)	Capacitance (µF/km)	Ampacity (A)	Conductor losses (W/m)
Group 1	18/30 kV 1*95/16 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	0.193	0.242	0.168	324	25.52
	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	0.20	0.261	0.194	318	26.42
Group 2	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	0.124	0.156	0.194	411	26.42
	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	0.125	0.158	0.231	416	27.47
Group 3	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	0.075	0.095	0.231	536	27.48
	18/30 kV 1*400/35 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	0.077	0.991	0.277	538	28.63

### 3. Results

In the simulations, electrical and cost analyzes are obtained by adhering to the parameter values defined in the international standards.

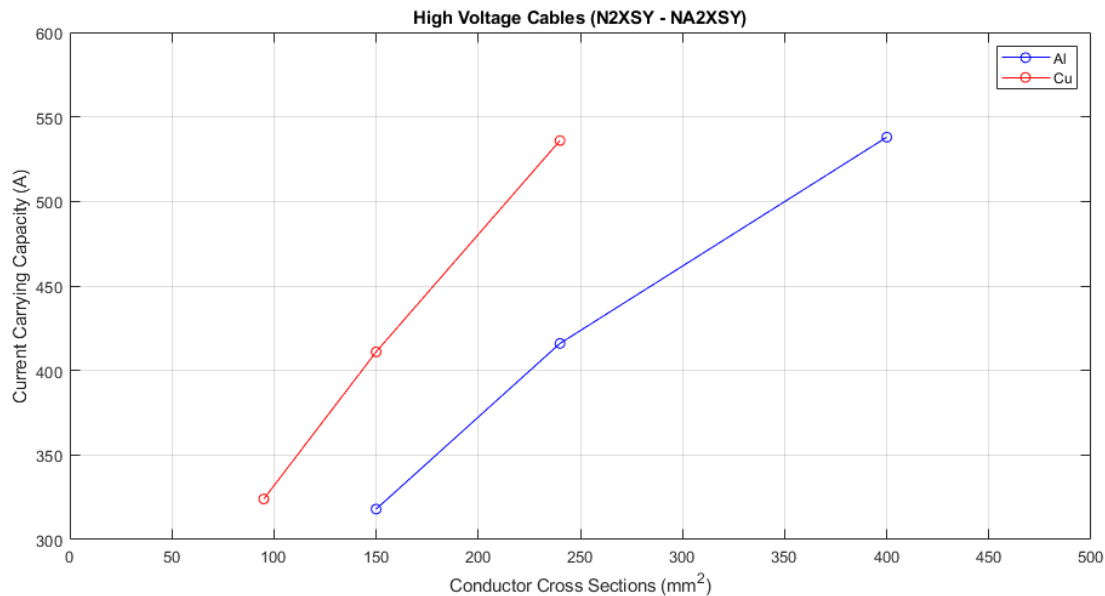
#### 3.1. Performances of the cables under the specified conditions

A performance comparison has been made for the cables with different cross-sections with copper and aluminum conductors and having the same current carrying capacity in theory. For this purpose, cables with different conductors and theoretically equal current carrying capacities are compared in pairs under the names of groups 1, 2 and 3 in Table 5.

For the cables within each group the DC resistors at 20 °C, alternative current resistances at working temperature, capacitance, current carrying capacity, conductor losses and dielectric losses has been compared.

#### 3.2. Analysis of current carrying capacities

According to the results obtained with Equations 1 and 2 the cross-section of aluminum conductors which are expected to have the same current carrying capacity with copper conductors should be 1.6 times to that of copper conductors' cross-section. The results obtained in analysis can be given as the following.



**Figure 4.** Variation of current carrying capacity versus conductor cross section

As seen from the figure in Group 1, copper conductor carries 324 A and aluminum conductor carries 318 A, in Group 2, copper conductor carries 411 A and aluminum conductor carries 416 A and in Group 3, copper conductor carries 536 A and aluminum conductor carries 538 A.

While the current carrying capacities in the groups should be equal in theory, it has been observed that there are deviations in the range of % 1-2 according to the simulation results.

#### 3.3. Analysis of the losses

In this work, losses in underground cables are analysed in two groups including conductor losses and dielectric losses. The resistances of copper and aluminum materials have been effective in conductor losses. The difference between the conductor losses for single phase given in Figure 5 has been found as 0.9 W/m in Group 1, 1.05 W/m in Group 2 and 1.15 W / m in Group 3. In addition, as the conductor cross-sections grow it is seen that the difference between these losses has been increasing. Although the insulation material and insulation thickness are the same, different dielectric losses has been obtained due to the different capacity

values in Equation 7. It is seen that the ratio of  $D_e/D_i$  for aluminum conductors has been obtained as different to that of copper conductor in the same group. Since the ratio of  $D_e/D_i$  among these cables in the same group is lower in copper conductor cables, it can be stated that dielectric losses will be lower in copper conductor cables. Moreover, it is seen that the difference between dielectric losses increases while the conductor cross-sections increase. For single phase, the difference between dielectric losses has been obtained as 0.010 W/m in Group 1, 0.013 W/m in Group 2 and 0.018 W/m in Group 3. Also, the total losses for each group have been shown in Figure 5.

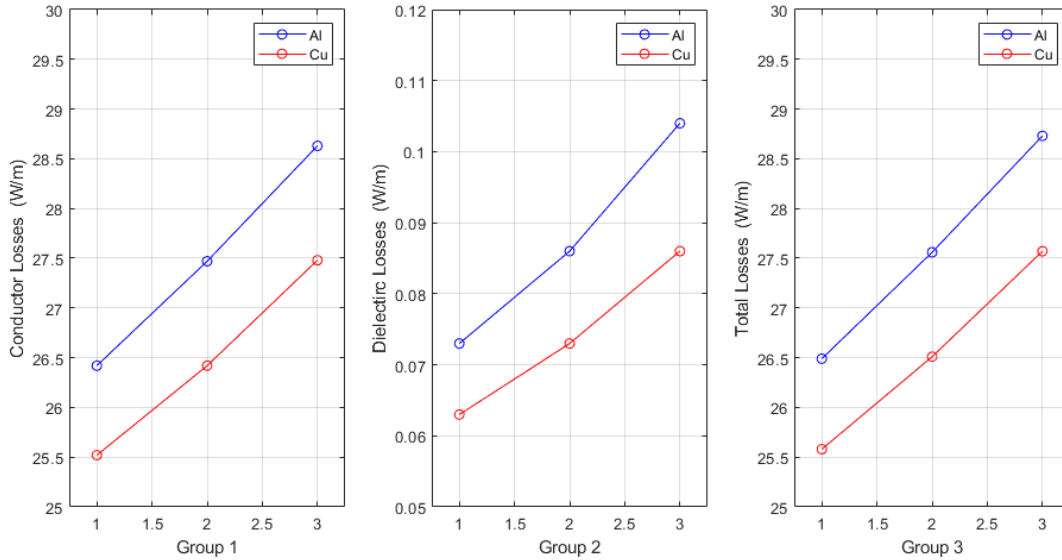


Figure 5. Total losses occurring for each group

### 3.4. Cost analysis

For the copper and aluminum conductor cables which are thought to have the same current carrying capacity in theory within each group, only the amount of conductor used for power transmission has been calculated. Prices have been determined according to London Metal Exchange (LME) values dated 02.10.2023. It is seen at the relevant date that copper raw material prices are approximately 3.56 times more expensive than aluminum. When the investment costs of the conductors exposed only to phase-to-phase voltage are compared, it has been identified that the cost of copper is approximately 7.28 times higher than the aluminum, as shown in Table 6. However, it can be expressed when all the components of the underground cable are taken into account that this cost difference will be reduced. In addition, the amount of all other materials used will also increase due to the larger cross-section of the aluminum cables.

Table 6. Comparison of conductor costs without copper screen

Comparison groups (each group is compared with 2 cables in itself)	Cables	Quantity (kg/km)	Amount (\$/km)
Group 1	18/30 kV 1*95/16 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	845.5	6.958
	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	405	934
Group 2	18/30 kV 1*150/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	1.335	10.987
	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	648	1.495
Group 3	18/30 kV 1*240/25 mm <sup>2</sup> (Copper conductor) N2XSY	2.136	17.579
	18/30 kV 1*400/35 mm <sup>2</sup> (Aluminum conductor) NA2XSY	1.080	2.492

Al: 2.307 \$/Kg - Cu: 8.230 \$/Kg (LME 02.10.2023)

#### 4. Discussion and conclusions

In this work, the performances of high voltage underground cables with aluminum or copper conductors has been analyzed and compared via CYMCAP software. In order to obtain the same current carrying capacity in theory, cross-section ratios between conductors has been found by equalizing the resistance values. Since the aluminum conductor has larger cross-section than the copper conductor, it is seen that these two conductors have different performances in terms of cable performance and cost. In the simulations, these cables has been analyzed in terms of the current carrying capacities, the electrical losses and the costs. From the results obtained it can be concluded that current carrying capacities of aluminum and copper conductors are close to each other. It is also seen that aluminum conductor cables are more disadvantageous than copper conductor cables in terms of electrical losses and dielectric losses. However, it has been identified that the cost of aluminum conductor cables is lower due to the fact that both the raw material costs are less expensive and the unit weight of aluminum is lower.

The CYMCAP based performance analyzes have been realized for the cables of different cross-sections of two different conductors which are expected to carry the same current in theory. Since the change of the insulation material will affect the nominal operating temperature of the cables, the current carrying capacity will also be directly affected. Similarly, it is known that the distances between the cables and the laying conditions of the cables are directly affecting the transmission quality. Therefore, in future works new analyzes can be carried out by changing parameters such as type of insulation material, laying type of cables, laying depth of cables and soil thermal resistance. Moreover, the performances of the cables of different conductors in the same cross-section may also be compared.

#### Acknowledgments

We would like to thank to Hasçelik Cable cooperation for their support in this article.

#### Author contribution

The authors contributed equally to the research.

#### Declaration of ethical code

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

#### Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

#### References

- Alanne, K., & Cao, S. (2019). An overview of the concept and technology of ubiquitous energy. *Applied Energy*, 238, 284-302. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.100>
- Bustamante, S., Minguez, R., Arroyo, A., Manana, M., Laso, A., Castro, P., & Martinez, R. (2019). Thermal behaviour of medium-voltage underground cables under high load operating conditions. *Applied Thermal Engineering*, 156, 444-452. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.083>
- Casarino, T.G., Sharp, E., & Barrett, M. (2018). The impact of social and weather drivers on the historical electricity demand in Europe. *Applied Energy*, 229, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.108>
- Fu, C., Liang, Y., Sun, Y., Li, Q., Zhao, Z., & Wang, J. (2021). Research on fast real-time calculation model for transient temperature rise of power cables in ducts. *Energy Reports*, 7(1), 239-245. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.074>
- Huang, X., Zhang, J., Jiang, P., & Tanaka, T. (2019). Material progress toward recyclable insulation of power cables. Part 1: Polyethylene-based thermoplastic materials. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 35(5), 7-19. <https://doi.org/10.1109/MEI.2019.8804330>

- Karaca, G. (2016). *Multi-analysis of electrical and thermal stresses in cables by finite element method* [Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology].
- Leon, F. (2006). *Major factors affecting cable ampacity*. 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1109/PES.2006.1708875>
- Matuszak, M., Szuchnik, K., Koltun, M., Ratkowski, F., & Bonczkowska, A. (2019). Special bonding of metallic screens in medium voltage cable lines. *Wiadomości Elektrotechniczne*, 87(5), 26-30. <https://doi.org/10.15199/74.2019.5.3>
- Mueller, C.E., Keil, S.I., & Bauer, C. (2019). Underground cables vs. overhead lines: Quasi-experimental evidence for the effects on public risk expectations, attitudes, and protest behavior. *Energy Policy*, 125, 456-466. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29785.21606>
- Olivares, J.C., Leon, F., Georgilakis, P.S., & Perez, R.E. (2010). Selection of copper against aluminum windings for distribution transformers. *IET Electric Power Applications*, 4(6), 474-485. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2009.0297>
- Osman, I., Rahman, M.A., Mahbub, A.R., & Haque, A. (2014). *Benefits of optimal size conductor in transmission system*. 2014 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE) (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1109/ICAEE.2014.6838524>
- Ratkowski, F., Koltun, M., & Czapp, S. (2022). The effect of cable duct diameter on the ampacity of high-voltage power cables. *Przełqd Elektrotechniczny*, 98(3), 141-144. <https://doi.org/10.15199/48.2022.03.32>
- Standard International. (2015). *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1kV(U<sub>m</sub>=1,2 kV) up to 30kV(U<sub>m</sub>=36kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6kV(U<sub>m</sub>=7,2kV) up to 30 kV(U<sub>m</sub>=36kV) (IEC 60502-2)*.
- Taslak, E. (2014). *Analyses of the electrical parameters of liquids used in high voltage technology* [Master Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology].
- Turkish Standardization Institute. (2007). *Conductors of insulated cables (TS EN 60228)*.
- Turkish Standardization Institute. (2003). *Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General (TS IEC 60287-1-1)*.
- Turkish Standardization Institute. (2015). *Electric cables- Calculation of the current rating - Part 2:Thermal resistance-section 1:Calculation of thermal resistance (TS IEC 60287-2-1)*.
- Turkish Standardization Institute. (2015). *Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-1: Sections on operating conditions - Reference operating conditions and selection of cable type (TS IEC 60287-3-1+A1)*.
- Turkish Standardization Institute. (2012). *Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-2: Sections on operating conditions - Economic optimization of power cable size (TS IEC 60287-3-2)*.
- Xiao, R., Fu, C., Liang, Y., & Wang J. (2022). *Numerical calculation of cyclic load carrying capacity of direct buried cables considering thermoelectric coupling*. 2022 IEEE 5th International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA) (pp. 419-423). <https://doi.org/10.1109/ICPEA56363.2022.10052436>

## Improving the slake durability index values of tuff with a water-based copolymer treatment

*Su bazlı kopolimer uygulaması ile tüflerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerinin iyileştirilmesi*

Nilufer KURSUNOĞLU\*<sup>1</sup> , Huseyin ANKARA<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Batman University, Faculty of Engineering and Architecture, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, 72100, Batman

<sup>2</sup>Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Mining Engineering Department, 26040, Eskisehir

• Received: 28.07.2023

• Accepted: 27.12.2023

### Abstract

Tuff has been used as a natural building stone in the construction industry since the earliest times. Tuff is slight, simple to manufacture, and has good isolation qualities, which is why it is used so frequently despite its low strength characteristics and high porosity. In this study, samples of white and pink tuff from the regions of Derbent and Gümele districts of Eskisehir province were treated with a water-based (water-soluble) copolymer bath to evaluate their endurance to atmospheric conditions. Spherical samples were subjected to 30-minute slake durability index testing in a water-based copolymer bath. The index values of the initial spherical samples were contrasted with the index values from the fourth cycle of the spherical samples that had received the copolymer bath treatment. Although the index values of the original spherical samples were determined to be 92.22% and 95.32%, respectively, the index values of the spherical sample sets treated with a water-based copolymer bath were determined to be 98.29% and 98.83%, respectively. The study results indicate that spherical samples with a water-based copolymer bath treatment had a greater impact on improving the slake durability index values compared to spherical samples without treatment.

**Keywords:** Copolymer bath, Pink tuff, Slake durability index, White tuff

### Öz

Tüf, antik çağlardan beri inşaat sektöründe doğal yapı taşı olarak kullanılan bir malzeme biçimi olmuştur. Düşük mukavemet özelliklerine ve yüksek gözenekliliğine rağmen; hafif olması, üretiminin kolay olması ve iyi izolasyon özelliklerine sahip olması nedeniyle bu kadar sık kullanılır. Bu çalışmada, Eskişehir ili Derbent ve Gümele bölgelerinden alınan beyaz ve pembe tüf numunelerinin atmosferik şartlara dayanıklılıklarını değerlendirmek için su bazlı kopolimer banyosuna tabi tutulmuştur. Küresel tüf numunelerine, su bazlı bir kopolimer banyosunda 30 dakika bekletilmiş, sonra suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi testi uygulanmıştır. Orijinal numunelerin indeks değerleri, kopolimer banyosuna tabi tutulan küresel numunelerin dördüncü çevrim indeks değerleri ile karşılaştırılmıştır. Orijinal numunelerin indeks değerleri sırasıyla %92,22 ve %95,32 olarak belirlenirken, su bazlı kopolimer banyosu ile işlem görmüş küresel numune setlerinin indeks değerleri sırasıyla %98,29 ve %98,83 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, su bazlı kopolimer banyo işlemine tutulan tüf numunelerinin, işlem görmemiş numunelere kıyasla, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerini iyileştirmede daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kopolimer banyosu, Pembe tüf, Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, Beyaz tüf

\* Nilufer KURSUNOĞLU; nilufer.kursunoglu@batman.edu.tr



## 1. Introduction

Tuff, a form of volcanic rock, is frequently used in the building sector because of its accessibility and somewhat good engineering characteristics. It is made from compacted volcanic ash and is utilized in a variety of construction projects, including building foundations for buildings and embankments and road bases. Tuff's susceptibility to slaking, a process in which the rock disintegrates when exposed to water, is a serious problem, though. The structural stability and long-term durability of structures using tuff as a fundamental material are compromised by this susceptibility, demanding creative methods to deal with the problem. When two or more distinct monomers are polymerized together, they form a class of materials called copolymers, which combine the desired features of each monomer. Water-based copolymers can add a protective layer to tuff that raises the rock's slake durability index, boosting its functionality and lengthening its lifespan.

A crucial factor in determining the durability of rocks, particularly in terms of their resistance to slaking, is the slake durability index (SDI). It gauges a rock's resistance to the deterioration brought on by water absorption. Better slake durability is indicated by a higher SDI, which suggests that the rock is less likely to crumble when exposed to moisture. In the fields of geotechnical engineering and material science, it is crucial to increase the slake durability index values of tuff using a water-based copolymer treatment. Tuff, a volcanic rock made of condensed volcanic ash, is frequently used in infrastructure and construction projects because of its availability and generally positive engineering characteristics. Tuff's sensitivity to slaking, in which material breaks down when exposed to water, is a serious obstacle in its use. The structural integrity and long-term viability of constructions using tuff as a foundational material may be jeopardized by this susceptibility. In various studies, researchers have applied SDI tests to different materials. The highest SDI value was obtained on the spherical specimens in the SDI test conducted on 7 different shaped experiment samples prepared from limestone (Danaei & Fereidooni, 2023). A multiple variable regression analysis was conducted to establish the relationship between the SDI values obtained from the SDI test on limestone and the physico-mechanical properties. This analysis was used to predict the SDI index value (Shahid, 2022). In the SDI test conducted on red sandstone, the disintegration behavior of the rock was examined. Based on the particle size distribution, prediction of disintegration breakage was carried out using the Weibull distribution (Fan et al., 2021). SDI tests were conducted on sandstone, limestone, and travertine rocks at different pH levels. Multiple Regression Analysis (MRA), Artificial Neural Network (ANN), and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) analyses were employed for predicting the SDI values of the rocks using the SDI values within the pH range of 4-7 (Khajevad, 2022). SDI tests were conducted on round and spherical experiment samples prepared from 8 different rocks, and it was determined that the spherical samples had higher SDI values (Aksoy et al., 2019). The soil material improved with cement admixture was subjected to the SDI test. Considering the SDI values, an appropriate cement admixture ratio of 7% is recommended (Hartono, 2019). SDI tests consisting of 25 cycles were conducted on spherical samples prepared from three types of marbles. Mass losses in each cycle were plotted on statistical control charts, and lower and upper SDI values were determined for these rocks (Ankara & Çiçek, 2019).

According to the depth at which they formed, igneous rocks are divided into three categories: depth rocks, semi-depth rocks, and surface rocks. Tuffs are pyroclastic rocks that are part of the group of surface rocks and were created during the eruption phase of volcanic activity. Türkiye has a significant number of extinct volcanoes despite the absence of any active volcanoes there. In numerous locations, there are also young volcanic cones. Tuff formations are common as a result. Since ancient times, tuffs, which are often white and pink in color and are found in Türkiye, have been employed in the construction of homes. The ability to maintain heat is its most crucial quality, and because of this, it is frequently utilized as a food storage facility. It has also been used historically and currently as a raw material for cement (Bella et al., 1997). Tuff that develops as a result of a light-fused ash flow is known as pink tuff. It has columnar joints with vertical branches. Thus, the region's steep slopes are created by pink tuff deposits. The middle and top portions of the pink tuff exhibit honeycomb weathering characteristics. Phenocrysts, which are tiny fragments of metamorphic rock embedded inside the tuff structure, constitute the majority of the material in white tuffs. Phenocrysts of quartz, K-feldspar, biotite, and opaque minerals can be found in white tuff (Sözmen, 2000).

The purpose of this study is to investigate the impact of water-based copolymer treatment on the slake durability index (SDI) values of white and pink tuffs collected from Eskişehir Derbent and Gümele regions. When rocks are put through two normal cycles of drying and wetting, the SDI, a widely used index, determines how resistant they are to deterioration. The test was initially developed by Chandra in 1970, and it was

improved upon by Franklin and Chandra in 1972. Since 1972, the test has been widely applied in rock mechanics. The International Society for Rock Mechanics proposed the test as a standard test for rocks as a result of its acceptance and use (Hawkins, 2009). The test was standardized as ASTM D4644 and approved by the American Society for Testing and Materials (ASTM D4644, 1990). SDI has been widely utilized in literature to assess the durability of rocks, particularly brittle and clay-bearing rocks, and has thus become a crucial engineering parameter (Bella et al., 1997; Cetin et al., 2000; Gemici, 2001; Dhakal et al., 2002; Viterbo et al., 2007; Erguler & Ulusay, 2009; Ankara, 2017). Water-based copolymers are used in a variety of industries, such as food, pharmaceuticals, paint, textiles, paper, coating, construction, adhesives, and water treatment (Halake et al., 2014). They can be used to change the features of rock materials, such as altering their wettability and enhancing sand consolidation (Gheraghian et al., 2014). The improvement of the slake durability index values for spherical samples was the main goal of the current investigation. For this purpose, white and pink tuffs collected from Derbent and Gümele districts of Eskisehir province were used. In a water-based copolymer (acrylic) bath, spherical samples were tested for slake durability index for 30 minutes. The fourth cycle of the spherical samples treated with the copolymer bath were compared to the fourth cycle SDI values of the original spherical samples.

## 2. Material and method

### 2.1. Material

Due to their softness and ease of processing, tuffs and ignimbrites-type rocks were employed to construct historical structures and are still used as decorative materials in Türkiye today. For instance, these kinds of rocks were used to create some significant natural and historical landmarks in Türkiye, including the Phrygian Valley, the Phrygian Monument, and the Cappadocian chimneys. The tuffs in other regions are produced as decorative materials. Derbent and Gümele districts in Eskisehir province are two locations where tuff is produced. Tuff blocks gathered in this location are known as Gümele pink tuff and Derbent white tuff. Quartz, K-Feldspar, biotite, and unusual crystals of opaque minerals make up the tuffs' mineral composition. White pumice and different metamorphic rock fragments can also be seen. White pumice, rock fragments, and phenomenon crystals are buried in the structure of the slightly decomposing tuff. The presence of volcanic glass fragments in tuffs is fairly common. Pink tuff is considerably more durable than white tuff (Binal et al., 1997; Sözmen, 2000). The results of the elemental analysis conducted on tuff samples are presented in Table 1. The images of pink and white tuffs were given in Figure 1.

**Table 1.** Element contents of the tuff samples

Tuff	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	LOI (%)
Pink	69.35	13.52	1.51	0.74	1.32	2.35	5.28	5.5
White (Ankara, 2017)	69.62	13.30	1.08	0.93	1.06	1.93	5.09	7.7



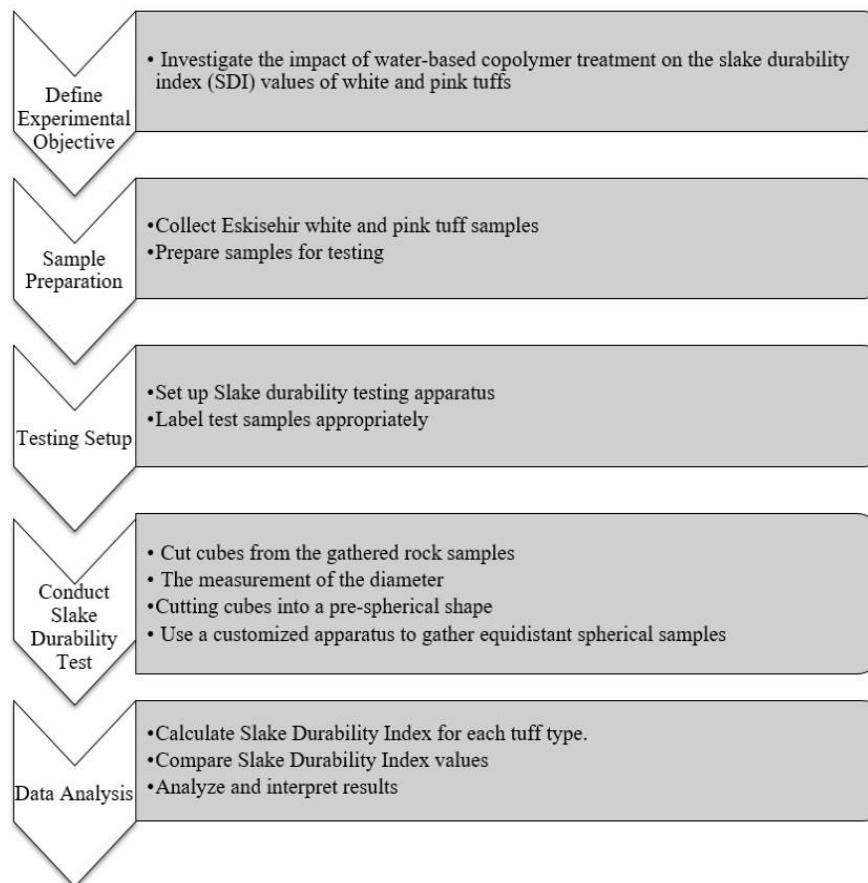
**Figure 1.** The images of pink and white tuffs. (a) Pink tuff (b) White tuff

## 2.2. Experimental analysis

There are three steps involved in creating equivalent size and weight spherical test samples. The first step is to cut cubes from the gathered rock samples that match the final spherical sample diameter in size. The cube edge length is determined with the goal of having a final sample weight standard of 50 gr. As a result, the rock's volume and dry density are used to calculate the sample's diameter. Following the measurement of the diameter, the cube's edge length is set to be the diameter plus 2 mm. The second step involves cutting cubes into a pre-spherical shape known as the Pasha Cut. Pasha cuts are made in two steps: (a) cutting the cube's edges, (b) cutting the samples' corners following the first step. The final stage is to use a customized apparatus to gather equidistant spherical samples from Pasha Cut. Samples are put into the spherical preparation machine after the pasha cut step (Covington brand). Special cutter cups with a 35 and 40 mm diameter were created and produced. Diamond is the abrasive material utilized in these cups. The entire sample preparation procedure is known as the Pasha Method (Ankara et al., 2013).

For the water-based copolymer (acrylic) bath and slake durability test, a total of 20 spherical samples were prepared. First, 20 spherical samples were placed in a water-based copolymer bath for 30 minutes. Two sets of oven-dried samples were placed in drums positioned in their respective water-filled troughs after waiting for 4 hours at room temperature. The drums were rotated at 20 rpm for a period of 10 min. Every sample that had been kept in the drums was carefully taken out, placed in the oven for the time recommended by international society for rock mechanics (ISRM) standards, and then the oven-dried weight was calculated. The samples were once more placed within the drums, and the process was then repeated four times. A 12-cycle SDI test was applied to each experimental set for statistical analysis.

This experiment has been developed to simulate the wetting and drying cycles of rocks in natural conditions. Standards and literature recommend the test to have 2 (ASTM D4644, 1998; ISRM, 2007) or 4 cycles (Ulusay et al., 1995; Gökçeoğlu et al., 2000; Ulusay et al., 2011). Based on the index value against disintegration for these cycle numbers, rock strength is qualitatively determined. A flowchart of the study was given in Figure 2.



**Figure 2.** Flowchart of the study

### 3. Results and discussion

Pink and white tuffs had average water absorption rates of 23.20% and 20.94%, respectively. Pink and white tuffs' average weight acrylic absorption ratios were calculated to be 13.83% and 14.27%, respectively. Long-term exposure to acrylic products will not be cost-effective. Therefore, acrylic absorption tests of tuffs were carried out for 10 and 30 minutes. It was established that soaking the pink and white tuffs in acrylic for 30 minutes would be adequate, and it was found that they absorbed 8.80% and 5.36% of acrylic, respectively. 12-cycle SDI test was performed for untreated tuff samples (Table 2).

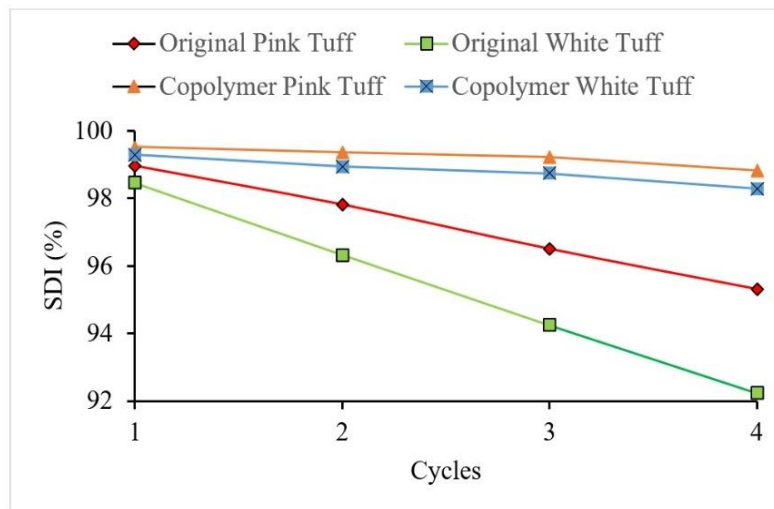
Eskisehir Gümele pink tuff and Derbent white tuff quarry equal-sized spherical samples were used in this study's slake durability testing. Fourth cycle for equal sized spherical samples kept for water-based copolymer bath were found to be 98.83% and 98.29%, respectively. Preliminary researches original spherical samples after fourth cycle were determined between 95.32% and 92.22%, respectively. The results of the according to ISRM slake durability test on the identically sized spherical samples were shown in Table 3. The SDI results are illustrated in Figure 3.

**Table 2.** Test results for the slake durability index on original tuffs

SDI	Pink tuff (%)	White tuff (Ankara, 2017) (%)
I <sub>d1</sub>	98.97	98.46
I <sub>d2</sub>	97.81	96.33
I <sub>d3</sub>	96.50	94.25
I <sub>d4</sub>	95.32	92.22
I <sub>d5</sub>	94.07	90.00
I <sub>d6</sub>	92.91	87.68
I <sub>d7</sub>	91.50	85.21
I <sub>d8</sub>	90.32	82.77
I <sub>d9</sub>	89.05	80.06
I <sub>d10</sub>	87.89	77.49
I <sub>d11</sub>	86.70	74.87
I <sub>d12</sub>	85.38	72.48

**Table 3.** Results of the copolymer bath treatment

SDI	Pink tuff (%)	White tuff (%)
I <sub>d1</sub>	99.52	99.29
I <sub>d2</sub>	99.36	98.94
I <sub>d3</sub>	99.22	98.73
I <sub>d4</sub>	98.83	98.29
I <sub>d5</sub>	98.10	97.66
I <sub>d6</sub>	97.17	96.68
I <sub>d7</sub>	95.93	94.86
I <sub>d8</sub>	94.48	92.63
I <sub>d9</sub>	93.17	90.35
I <sub>d10</sub>	91.99	87.64
I <sub>d11</sub>	90.68	84.99
I <sub>d12</sub>	89.46	82.11



**Figure 3.** Graphical presentation of SDI values

Pink and white tuffs retained for water-based (water soluble) polymer can be characterized as having a very high tensile strength, according to the results of tests using equal-sized spherical samples. However, they can be classified as strong and moderately strong, respectively, based on the results of the original tuff sample testing. In the second set of the SDI values for the samples preserved for the water-based copolymer bath are comparable to those for the spherical samples that received no treatment. As a result, samples held for a water-based copolymer bath showed improved slake durability index compared to untreated samples. The percentage change values of each index value according to the preceding index value were given in Table 4.

**Table 4.** Percentage change values of each index

Cycle	Index value		% Change from previous cycle	
	Pink tuff	White tuff	Pink tuff	White tuff
I <sub>d1</sub>	99.52	99.29	-	-
I <sub>d2</sub>	99.36	98.94	-0.16%	-0.35%
I <sub>d3</sub>	99.22	98.73	-0.14%	-0.21%
I <sub>d4</sub>	98.83	98.29	-0.39%	-0.45%
I <sub>d5</sub>	98.10	97.66	-0.74%	-0.64%
I <sub>d6</sub>	97.17	96.68	-0.95%	-1.00%
I <sub>d7</sub>	95.93	94.86	-1.28%	-1.88%
I <sub>d8</sub>	94.48	92.63	-1.51%	-2.35%
I <sub>d9</sub>	93.17	90.35	-1.39%	-2.46%
I <sub>d10</sub>	91.99	87.64	-1.27%	-3.00%
I <sub>d11</sub>	90.68	84.99	-1.42%	-3.02%
I <sub>d12</sub>	89.46	82.11	-1.35%	-3.39%

When opposed to the white tuff, the pink tuff may have a more compact or cohesive physical structure. Higher resistance to disintegration during wetting and drying can result from a structure that is denser and has stronger interparticle linkages. The SDI may be impacted by variations in grain size, grain shape, or microstructure. The better resilience to disintegration of the pink-colored tuff may be attributable to its more advantageous grain shape or size distribution. Compared to the pink-colored tuff, the white tuff may be more worn or changed. A lower SDI may be the result of softer, more easily disintegrating material due to greater weathering. The tuffs' characteristics may have been influenced by the geological past and earlier occurrences to which they have been exposed. The pink-colored tuff may have been more durable than the white-colored tuff due to different geological processes that may have had an impact on it (Binal, 1996). To find out if there was any



difference between the original spherical samples and samples treated with a water-based copolymer bath, a test of hypothesis was conducted. In the test of hypothesis:

H<sub>0</sub>: There is no significant difference between the two mass means.

H<sub>1</sub>: There is a significant difference between the two mass means.

The t-test value was utilized to compare the hypotheses because there were fewer than 30 samples ( $n < 30$ ) used in the tests. Table 5 displays the findings of the t-test used to compare the differences between the means of original white spherical samples-spherical samples subjected to water-based copolymer bath and pink spherical samples-spherical samples subjected to water-based copolymer bath. The test was performed for 95% confidence level ( $p = 0.05$ ). H<sub>1</sub> is accepted if the estimated p value is less than or equal to 0.05, while H<sub>0</sub> is approved if the estimated p value is more than 0.05. The initial spherical samples and samples that were subjected to a water-based copolymer bath differ significantly from one another. The strength of the original spherical samples increases at a 95% confidence level when they are subjected to a water-based copolymer bath.

**Table 5.** Results of *t*-test

	Std. deviation	Test value (t)	p value	Significance of mean differences
White tuff	3.278	-7.955	0.000	Significant (H <sub>1</sub> hypothesis is accepted)
Pink tuff	1.227	-9.761	0.000	Significant (H <sub>1</sub> hypothesis is accepted)

In the literature, apart from the studies conducted by some researchers (Ankara, 2017; Ankara & Çiçek, 2019), there is a study available. Danaei & Fereidooni (2023) conducted SDI tests on spherical samples and found higher index values for spherical samples compared to other shaped samples. Additionally, in ASTM and ISRM standards, it is recommended to prepare test samples as uniformly sized and as close to spherical as possible (ASTM D4644, 1998; ISRM, 2007; Ulusay et al., 2011). The SDI test conducted using test samples treated with a water-based copolymer is not available in the literature. Therefore, the current study is the first of its kind in the literature. Apart from this study, there are studies in the literature conducted using different methods and additives (Bascetin et al., 2020; Bascetin et al., 2022; Eker & Bascetin, 2022). These studies demonstrate that the use of various additives has positive effects on durability.

Assigning dispersion resistance classes based on the SDI values involves categorizing the SDI values into predefined ranges and associating a class or category with each range. This can be a qualitative assessment of the durability of the rock samples. Table 6 represents the dispersion resistance class. Durability classification was carried out according to Franklin & Chandra (1972) in Table 7.

**Table 6.** Dispersion resistance class (Franklin & Chandra 1972)

Slake durability I <sub>d</sub> (%)	Classification
0-25	Very low
25-50	Low
50-75	Medium
75-90	High
90-95	Very high
95-100	Extremely high

#### 4. Conclusions

Tuffs are a prevalent type of rock in Anatolian geography. Within this rock type, natural formations such as fairy chimneys have emerged, and subterranean cities and monuments have been constructed in artificial settings. Furthermore, tuffs are currently increasingly employed for decorative purposes as building stones. Tuffs are fragile rocks easily influenced by atmospheric conditions. One of the contributing factors is the wetting and drying cycle.



**Table 7.** Slake durability index classification

SDI	Pink tuff (%)	Durability classification based on Franklin & Chandra (1972)	White tuff (%)	Durability classification based on Franklin & Chandra (1972)
I <sub>d1</sub>	99.52	Extremely High	99.29	Extremely High
I <sub>d2</sub>	99.36	Extremely High	98.94	Extremely High
I <sub>d3</sub>	99.22	Extremely High	98.73	Extremely High
I <sub>d4</sub>	98.83	Extremely High	98.29	Extremely High
I <sub>d5</sub>	98.10	Extremely High	97.66	Extremely High
I <sub>d6</sub>	97.17	Extremely High	96.68	Extremely High
I <sub>d7</sub>	95.93	Extremely High	94.86	Very High
I <sub>d8</sub>	94.48	Very High	92.63	Very High
I <sub>d9</sub>	93.17	Very High	90.35	Very High
I <sub>d10</sub>	91.99	Very High	87.64	High
I <sub>d11</sub>	90.68	Very High	84.99	High
I <sub>d12</sub>	89.46	High	82.11	High

The slake durability test enables the exploration of wetting and drying cycles in controlled conditions. The SDI test categorizes the rock based on the index value. According to the classifications by ISRM and Gamble, white and pink tuffs (second cycle index of the original) have been identified as having high slake durability. However, tuffs treated with water-based copolymers fall into a significantly higher category. This suggests that water-based copolymers can be utilized to improve the durability of tuffs under atmospheric conditions.

The present study aimed to investigate whether testing spherical samples for slake durability index in a water-based copolymer bath could enhance the strength properties of tuff. Gümele pink tuff and Derbent white tuff samples were utilized for this purpose. The initial IV values of the spherical samples were compared with the IV values after the fourth cycle of treatment in the copolymer bath. The initial IV values of the spherical samples were 92.22% and 95.32%, respectively. Subsequently, both sets of samples treated with the water-based copolymer bath showed IV values of 98.29% and 98.83%, respectively. Statistical analysis of variance was conducted on the initial spherical samples and those treated with the water-based copolymer bath. The statistical analysis indicated a significant influence of the water-based copolymer bath on the slake durability index.

The study results clearly indicate a significant enhancement in the slake durability index of tuff material following treatment with water-based copolymers. This improvement enhances the material's resistance to physical deterioration and reduces degradation when exposed to water. These findings suggest that water-based copolymer treatment can be an effective approach to enhance the durability of natural materials like tuff. Such applications can be leveraged to bolster the rock's durability and water resistance in the construction and mining sectors. Furthermore, by offering environmentally friendly and sustainable solutions, they can contribute to efficient resource utilization. In the future, conducting similar studies with a broader array of materials and under varying conditions will yield a more comprehensive understanding of the widespread impact of such treatments. Additional research could delve into various rock characteristics, such as porosity, deformation, and insulation properties. Moreover, mineralogical and optical measurements could offer valuable insights into comprehending the strength enhancement.

#### Author contribution

The first author contributed to the research design, conceptualization, literature review, and drafting of the article. The second author contributed to conceptualization, methodology, investigation, visualization, and supervision stages.

#### 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 there is no conflict of interest.

## References

- Aksoy, M., Ankara, H., & Kandemir, S. Y. (2019). Preparation and evaluation of spherical samples for Slake Durability Index test. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5243–5250. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02254-1>
- Ankara, H. (2017). Determination of ideally slake durability index (SDI) value depending on number of cycles. *Dicle University Journal of Engineering*, 8(4), 871-882.
- Ankara, H., Aksoy, M., & Yarel, S. (2013). Preparation of Equidimensional Spherical Samples of Rocks for Water Dispersion Stability Test. Eskişehir Osmangazi University BAP Project No: 201015013.
- Ankara, H., & Çiçek, F. (2019). Utilization of statistical mean control charts in slake durability index (SDI) tests. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 17-42. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416458>.
- ASTM D4644, (1990). Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks: Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- ASTM D4644, (1998). Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken.
- Bascetin, A., Adiguzel, D., Eker, H., Odabas, E., & Tuylu, S. (2020). Effects of puzzolanic materials in surface paste disposal by pilot-scale tests: observation of physical changes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(4), 949–964. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02892-w>.
- Bascetin, A., Adiguzel, D., Eker, H., Odabas, E., & Tuylu, S. (2022). The investigation of geochemical and geomechanical properties in surface paste disposal by pilot-scale tests. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(8), 537–551. <https://doi.org/10.1080/17480930.2022.2076501>.
- Bella, J. M., Entwisle, D. C., & Culshaw, M. G. (1997). A geotechnical survey of some British Coal Measures mudstones, with particular emphasis on durability. *Engineering Geology*, 46(2), 115-129. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00106-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00106-8).
- Binal, A., Kasapoğlu, K. E. & Gökçeoğlu, C. (1997). Change of some physical and mechanical parameters of volcanic sedimentary rocks outcropping around Eskişehir-Yazılıkaya under freeze-thaw effect. *Earth Sciences Application and Research Center Bulletin*, 19 (pp. 17-40).
- Binal, A. (1996). *Investigation of the instability mechanisms observed in volcanosedimentary rocks at Ihlara Valley* [PhD thesis, Hacettepe University Institute of Science].
- Cheraghian, G., Nezhad, S. S. K., Kamari, M., Hemmati, M., Masihi, M. & Bazgir, S. (2014). Adsorption polymer on reservoir rock and role of the nanoparticles, clay and SiO<sub>2</sub>. *International Nano Letters*, 4, 114. <https://doi.org/10.1007/s40089-014-0114-7>.
- Cetin, H., Laman, M., & Ertunc, A. (2000). Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey. *Engineering Geology*, 56(3-4), 225-242. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00049-6).
- Chandra, R., (1970). Slake durability test for rocks [M.Sc. Thesis, Imperial College].
- Danaei, S., & Fereidooni, D. (2023). On the importance of specimen's geometric shape effectse on the slake-durability index of limestones and grain size distribution of the sediment particles obtained during the test. *Construction and Building Materials*, 394, 132205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132205>.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M., & Kaneko, K. (2002). Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65(1), 31–45. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00101-6).

- Eker, H., & Bascetin, A. (2022). Influence of silica fume on mechanical property of cemented paste backfill. *Construction and Building Materials*, 317, 126089. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126089>.
- Erguler, Z. A., & Ulusay, R. (2009). Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart, *Engineering Geology*, 105(1-2), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.12.013>.
- Fan, B. J., Zhao, F.J., Zhang, Z. T. & Liu, Y. H. (2021). Experimental study on the disintegration properties of red sandstone. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(4), 2077-2089. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-02012-6>.
- Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972). The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9(3), 325-341. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90001-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90001-0).
- Gemici, Ü. (2001). Durability of shales in Narlıdere, İzmir, Turkey, with an emphasis on the impact of water on slaking behavior. *Environmental Geology*, 41(3-4), 430-439. <https://doi.org/10.1007/s002540100409>.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., & Sönmez, H. (2000). Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey with particular emphasis on the influence of number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57(3-4), 215-237.
- Halake, K., Birajdar, B., Kim, B. S., Bare, H., Lee, C. C., Kim, Y. J., Kim, S., Kim, H. J., Ahn, S., An, S. Y. & Lee, J. (2014). Recent application developments of water-soluble synthetic polymers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6), 3913-3918. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.01.006>.
- Hartono, E., Wardani, S. P. R., & Muntohar, A. S. (2019). Slake durability of the compacted siltstone fragment with cement stabilization. *International Journal of GEOMATE*, 17(64), 123-130. <https://doi.org/10.21660/2019.64.84678>.
- ISRM, (2007). The Complete International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. and Hudson, J. (eds.), International Society for Rock Mechanics (ISRM) Turkish National Group, Ankara, Turkey.
- Khajevand, R. (2022). Soft computing approaches for evaluating the slake durability index of rock. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(23), 1698. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10997-4>.
- Shahid, R. S. (2022). Evaluation of multivariable regression in predicting rock slake durability index. *SRPH Journal of Fundamental Sciences and Technology*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.47176/sjfst.4.1.1>.
- Sözmen, B. (2000). *Investigation of detoration mechanism of Yazılıkaya tuffs in Midas Monument* [MSc. Thesis, Middle East Technical University].
- Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M. F., & Çağlan, D. (1995). Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back analysis of spail pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. *Engineering Geology*, 40(1-2), 77-101. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(95)00042-9).
- Hawkins, A. B. (2009, May). Ulusay, R., Hudson, J. A. (eds.): The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(2), 287–288. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0213-2>.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., & Binal, A. (2011). *Rock Mechanics Laboratory Experiments* (3rd ed). Chamber of Geological Engineers Publications.
- Viterbo, V., McLemore, V., Donahue, K., Aimone-Martin, C., Fakhimi, A. & Sweeney, D. (2007). Effects of chemistry, mineralogy, petrography and alteration on rock engineering properties of The Goathill North Rock Pile at The Molycorp Questa Mine, New Mexico. *2007 SME Annual Meeting* (pp. 1-8), Denver.

## Agrega türünün uçucu kül ve tuğla tozu esaslı geopolimer harç özelliklerine etkisi

*Effect of aggregate type on fly ash- and brick powder-based geopolymer mortar properties*

Merve TOKDEMİR<sup>1</sup> , Kambiz RAMYAR<sup>2</sup> , Adil GÜLTEKİN\*<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 35040, İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35040, İzmir

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 18.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

### Öz

Bu çalışmada, kum türünün uçucu kül ve atık tuğla tozu esaslı geopolimerlerin bazı özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda pomza agregası ve CEN standart kumu kullanılarak üretilen geopolimer harçların birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık dirençleri incelenmiştir. Harçların üretilmesinde, defolu tuğlaların öğütülmesi ile elde edilen tuğla tozu, F sınıfı uçucu kül, sodyum silikat ve sodyum hidroksit; harçların kürlenmesinde ise laboratuvar tipi hava dolaşimli etüv ve ev tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır. Etüv küründe, numuneler 48 saat boyunca 90°C’de kürlenirken mikrodalga küründe 300 watt güç seviyesinde, uçucu kül için 20 dakika, tuğla tozu için 30 dakika kürlenme yapılmıştır. Alüminosilikat ve agrega türünden bağımsız olarak, etüv kürü ile daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşıldığı, pomza agregası ile üretilen harçların basınç dayanımlarının, CEN kumu kullanılan harçlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, yüksek sıcaklık direnci bakımından mikrodalga kürünün daha avantajlı olduğu, etüv kürü ile üretilen harçların yüksek sıcaklık etkisi ile dayanım kaybı yaşadıkları ancak mikrodalga kürü uygulanan harçların yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra basınç dayanımlarının genel olarak yükseldiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Geopolimer, Mikrodalga kürü, Pomza, Tuğla tozu, Yüksek sıcaklık direnci

### Abstract

In this study the effect of aggregate type on some properties of fly ash- and waste brick powder-based geopolymers was investigated comparatively. In this context, unit weight, compressive strength, and high-temperature resistance of geopolymer mortars prepared with pumice aggregate and standard CEN sand were examined. In the preparation of mortars, the brick powder obtained by grinding waste bricks, Class F fly ash, sodium silicate and sodium hydroxide were used. A laboratory-type oven and a household microwave oven were used for curing. Oven and microwave curing were applied at 90°C for 48 hours and at 300-watt power level for 20 (for fly ash) or 30 (for brick powder) minutes, respectively. It was determined that the aggregate type significantly affects the geopolymer mortar properties. Regardless of the aluminosilicate and aggregate type, higher compressive strengths were achieved with oven curing, and the compressive strengths of the mortars produced with pumice aggregate were lower than those of the mortars prepared with CEN sand. On the other hand, microwave curing was more advantageous in terms of high-temperature resistance. Oven-cured mortars lost strength upon exposure to the high temperature, but the compressive strength of mortars subjected to the microwave curing generally increased after exposure to high temperatures.

**Keywords:** Geopolymer, Microwave curing, Pumice, Brick powder, High-temperature resistance

\*Adil GÜLTEKİN; adilgultekin@duzce.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Küresel ısınma kaynaklı iklim değişikliği, günümüzde en önemli çevre sorunlardan birisidir. Sera gazı emisyonu, küresel ısınmaya neden olan esas faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Karbondioksit ise sera gazlarının büyük bölümünü oluşturmaktadır. Çimento sektörünün, küresel CO<sub>2</sub> salımının %7-10'undan sorumlu olduğu düşünülmektedir (Moradikhou vd., 2020). Üretim tekniğine göre değişmekle birlikte, kireçtaşının kalsinasyonu ve kullanılan yakıt birlikte düşünüldüğünde, 1 ton Portland çimentosu için yaklaşık olarak 1 ton CO<sub>2</sub> salımı yapılmaktadır (Al Bakri vd., 2012). Son yıllarda birçok araştırmacı, Portland çimentosuna alternatif bağlayıcılar hakkında çeşitli araştırmalar yapmıştır. Bunlardan bir tanesi de geopolimerlerdir. Geopolimer üretiminde, alüminosilikat malzemeler ile aktivatör çözeltileri birlikte kullanılır ve oluşan reaksiyon, geopolimerizasyon olarak isimlendirilir (Soares vd., 2021). Geopolimerler, hızlı sertleşme ve dayanım kazanma, erken yüksek dayanım (Izquierdo vd., 2009); yüksek yangın, asit ve alkali direnci, düşük sünme ve rötre ve ucuzluk gibi özellikleri ile her geçen gün daha da ilgi çekmektedir (Dhasmana & Singh, 2023). Geopolimer üretiminde alüminosilikat olarak kaolin, metakaolin, dolomit gibi doğal hammaddelerin (Farhan vd., 2020) veya silis dumani, uçucu kül, kırmızı çamur, cüruf ve pirinç kabuğu külü gibi tarımsal/endüstriyel atıkların kullanılması mümkündür (Ren vd., 2021). Geopolimer üretiminde, sodyum silikat, potasyum silikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi farklı alkali malzemeler kullanılmaktadır. Ancak sodyum silikat ve sodyum hidroksitin birlikte kullanımının, genellikle daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmasını sağladığı bildirilmiştir (Soares vd., 2021).

Geopolimer üretiminde ortam şartlarında kürlenme, su ve etüv kürü gibi farklı yöntemlerin kullanılması mümkün olsa da araştırmalar, etüv kürüne tabi tutulan geopolimerlerin erken yaş basınç dayanımlarının, havada ve suda kürlenene kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu, sıcaklık artışının geopolimer dayanımını arttırdığını göstermiştir (Sun vd., 2021). Buna göre, sıcaklık artışı ile birlikte alüminosilikatların çözünmesi ve geopolimer jelinin oluşumu hızlanmaktadır. Genellikle 60-120°C sıcaklıklarda uygulanan etüv kürlenmesinin geopolimerlerin erken yaş dayanımlarını arttırdığı bilinmektedir (Nawaz vd., 2020). Yüksek sıcaklık kürü, sadece mekanik özellikler değil durabilite özellikleri üzerinde de etkilidir. Yapılan çalışmalar, sıcaklık kürünün, yüksek sıcaklık ve asit direnci gibi konularda da olumlu etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur (Zhang vd., 2020; Metekong vd., 2021).

Etüvde uygulanan geleneksel kürlenmede kür sürelerinin uzun olduğu, 6 saatten daha uzun kür sürelerinin üretim sürecini yavaşlattığı ve pratik olmadığı bilinmektedir. Yapılan araştırmalar, geopolimer üretiminde etüv kürü yerine alternatif bir yöntem olarak mikrodalga teknolojisinin kullanılabileceğini göstermiştir (Graytee vd., 2018). Mikrodalga kürlenmesi ile daha hızlı ve homojen bir ısıtma etkisi yaratılmakta (Chindaprasirt vd., 2013), daha homojen bir içyapı elde edilmekte, buna bağlı olarak da geopolimerlerin mekanik özellikleri gelişmektedir (Somaratna vd., 2010). Mikrodalga kürünün kısa sürelerde, yüksek basınç dayanımlarına sahip geopolimerlerin üretimine olanak sağlamasına rağmen bu konuda az sayıda çalışma yürütülmüştür. Khaleel vd. (2021), Durak (2021), Suwan vd. (2021), Guan vd. (2023), Shi vd. (2016) uçucu kül; El-Feky vd. (2020) yüksek fırın cürufu, Nadeem vd. (2020) doğal toprak, Shi vd. (2020) metakaolin, Hong ve Kim (2019) taban külü, Tan vd. (2020) metakaolin ve geri dönüştürülmüş agrega tozu, Kastiukas vd. (2020) ise uçucu kül ve yüksek fırın cürufu esaslı-mikrodalga kürlü geopolimer/alkali aktive malzemeler üzerinde çalışmıştır. Tüm bu çalışmalar, mikrodalga kürünün geopolimer üretiminde alternatif bir kür yöntemi olabileceğini göstermiştir. Konu hakkındaki çalışmaların önemli bir kısmının uçucu külle yapıldığı, geriye kalan çalışmaların ise genellikle yüksek fırın cürufu ve metakaolin üzerinde yoğunlaştığı, atık tuğlalardan elde edilen atık tuğla tozu esaslı geopolimerlerin mikrodalga küründeki performansının göz ardı edildiği tespit edilmiştir.

Agregalar, betonun hacimce yaklaşık olarak %75'ini oluşturmakta olup dayanım ve durabilite özelliklerine önemli derecede etki etmektedir (Erdoğan, 2021). Beton üretiminde agrega olarak kireçtaşı, bazalt, andezit, ve granit gibi agregaların kullanılması mümkündür (Neville, 2011). Yüksek sıcaklıklara maruz kalacak betonlarda, kullanılan agreganın mineralojik bileşiminin de dikkate alınması önerilmektedir. Silis, dolomit ve bazalt gibi agrega türlerinin yüksek sıcaklıklarda çeşitli kimyasal ve fiziksel dönüşümlere uğraması buna örnek gösterilebilir (Medeiros vd., 2023). Pomza, genişletilmiş perlit ve kil keramzit gibi hafif agregaların yüksek sıcaklığa karşı iyi bir dirence sahip oldukları bilinmektedir (He vd., 2016). Ayrıca hafif agregaların yüksek poroziteye sahip olmaları, bu malzeme ile üretilen betonların da ağırlıklarını azaltmaktadır. En yaygın kullanılan hafif agregalardan biri olan pomza, açık renkli, volkanik kökenli bir malzeme olup 500-900 kg/m<sup>3</sup>

aralığında yığın yoğunluğa sahiptir. Pomzanın betonda kullanımı Roma İmparatorluğu dönemine kadar uzanmaktadır (Neville, 2011).

Bu çalışmada agrega türünün, etüv ve mikrodalga kürü kullanılarak üretilen uçucu kül ve atık tuğla tozu esaslı geopolimer harçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, pomza agregası kullanılarak, CEN standart kumuyla üretilen geleneksel geopolimer harçlardan daha düşük birim hacim ağırlık (BHA) değerlerine sahip harçlar üretilmiş; bunların basınç dayanımları, yüksek sıcaklık dirençleri ve ultrases geçiş hızı değerleri belirlenmiş ve birbiriyle kıyaslanmıştır. Kürlemede etüv kürü veya mikrodalga kürü kullanılmış, mikrodalga kürünün üretim hızı, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık direnci üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Materyal

##### 2.1. Material

Çalışmada alüminosilikat olarak İzmir’de faaliyet gösteren İzdemir Enerji Termik Santrali’nden temin edilen F sınıfı uçucu kül ve defolu tuğlaların kırılarak öğütülmesi ile elde edilen tuğla tozu kullanılmıştır. Tuğla tozunun üretilmesi aşamasında, defolu tuğlalar çeneli kırıcıda kırılarak boyutları küçültülmüş, devamında bu parçalar gezege hareketli bilyeli öğütücüde 500 rpm’de 4 dakika öğütülmüştür. Uçucu kül ve tuğla tozuna ait kimyasal bileşim ile bazı fiziksel özellikler Tablo 1’de, SEM görüntüleri ise Şekil 1’de sunulmuştur. SEM görüntüleri incelendiğinde uçucu külün farklı boyutlardaki küresel taneciklerden, tuğla tozunun ise açısız ve köşeli parçacıklardan oluştuğu görülmektedir.

Aktivatör çözeltisi, %98 saflığa sahip pelet şeklindeki sodyum hidroksit ve %10 Na<sub>2</sub>O, %23.2 SiO<sub>2</sub> ve %66.8 H<sub>2</sub>O içeren sodyum silikat çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Sodyum hidroksit peletleri, sodyum silikat çözeltisi içerisinde karıştırma yöntemi ile çözündürülmüş ve elde edilen çözelti 24 saat dinlendirildikten sonra kullanılmıştır. Pomza agregası ile yapılan denemelerde, uçucu kül esaslı harçlar için en yüksek basınç dayanımlarının 1.50 Ms oranı (aktivatör çözeltisindeki SiO<sub>2</sub>’nin Na<sub>2</sub>O’ya ağırlıkça oranı) ve %10 Na<sub>2</sub>O (aktivatör çözeltisindeki Na<sub>2</sub>O’nun alüminosilikata ağırlıkça oranı) içeriği ile elde edildiği belirlenmiştir. Tuğla tozu esaslı karışımlarda ise bu değerler etüv ve mikrodalga kürü için sırasıyla 1.75 Ms-%10 Na<sub>2</sub>O ve 1.50 Ms-%10 Na<sub>2</sub>O’dur. Pomza agregası ile yapılan denemelerle belirlenen bu aktivatör parametreleri kullanılarak CEN standart kumu içeren karışımlar da hazırlanmış ve bunlar agrega türünün etkisinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Harç karışımlarının üretilmesinde agrega olarak gradasyonu Şekil 2’de verilen, 2.20 özgül ağırlık ve %2.29 su emme kapasitesine sahip pomza agregası ve özgül ağırlığı 2.60 olan CEN standart kumu, su olarak ise Bomova şehir şebekesi suyu kullanılmıştır. Pomza agregası kuru yüzey-doygun durumda, CEN kumu ise su emme kapasitesinin çok düşük olmasından dolayı (~%0.15) temin edildiği biçimde (1350 g olarak poşetlenmiş) kullanılmıştır.

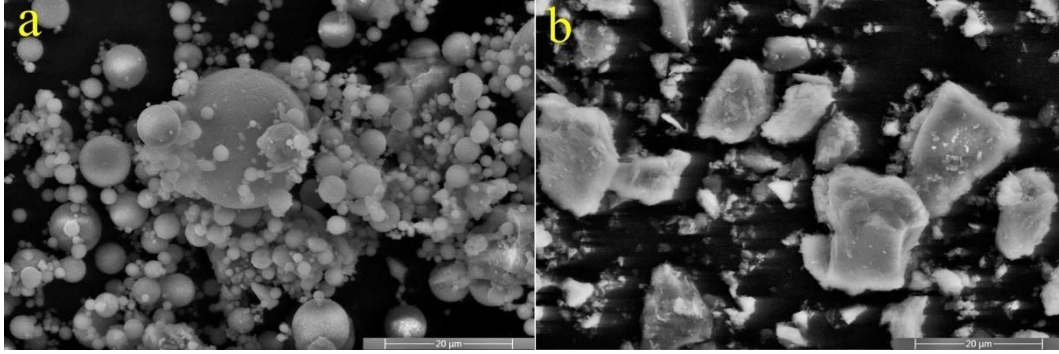
**Tablo 1.** Alüminosilikatlara ait kimyasal bileşim ve bazı fiziksel özellikler  
*Table 1. Chemical composition and some physical properties of aluminosilicates*

Bileşen	F sınıfı uçucu kül (%)	Atık tuğla tozu (%)
SiO <sub>2</sub>	52.15	66.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.97	15.74
CaO	5.23	3.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.84	6.25
MgO	2.43	2.76
SO <sub>3</sub>	0.35	0.22
Na <sub>2</sub> O	1.64	0.45
K <sub>2</sub> O	2.10	2.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.51	-

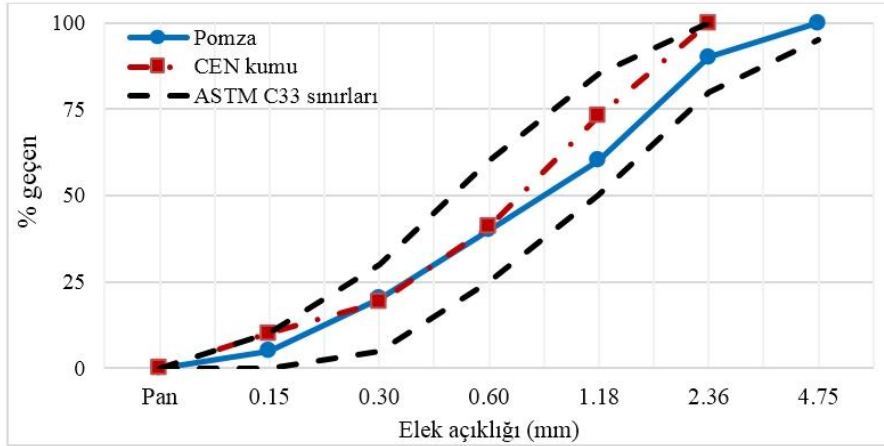


**Tablo 1. Devamı** Alüminosilikatlara ait kimyasal bileşim ve bazı fiziksel özellikler  
**Table 1. Continue** Chemical composition and some physical properties of aluminosilicates

Bileşen	F sınıfı uçucu kül (%)	Atık tuğla tozu (%)
Kızdırma kaybı(%)	1.30	1.04
<b>Fiziksel özellikler</b>		
Özgül ağırlık	2.41	2.72
45 µm elek bakiyesi (%)	14.3	8.65



**Şekil 1.** Alüminosilikatlara ait SEM görüntüleri (a) uçucu kül ve (b) öğütülmüş tuğla tozu  
**Figure 1.** SEM micrographs of aluminosilicates (a) fly ash and (b) ground brick powder



**Şekil 2.** Agrega gradasyonları  
**Figure 2.** Gradations of aggregates

## 2.2. Metot

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Karışımların hazırlanması

##### 2.2.1. Preparation of mixtures

Çalışma kapsamında üretilen karışımlar otomatik harç mikserinde hazırlanmıştır. Sırasıyla kum, alüminosilikat malzeme, aktivatör çözeltisi ve su (karışımda var ise) 0.1 g hassasiyetli tartı ile tartılarak mikser kabına koyulmuştur. Mikser 90 saniye boyunca 60 rpm’de çalıştırılmış sonrasında kabın çeperine yapışan malzemeler yaklaşık 10 saniyede sıyrılmıştır. Devamında malzemeler 90 saniye boyunca 120 rpm’de karıştırılmıştır. Sürenin bitiminde harçların yayılma çapları TS EN 459-2’ye uygun olarak belirlenmiştir.

Basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve yüksek sıcaklık dirençlerinin tespit edilmesinde 50 mm ayrıtlı küp numuneler kullanılmıştır. Yayılma çaplarının belirlenmesinin hemen ardından karışımlar 2 tabaka halinde

kalıplara yerleştirilmiş ve her tabaka sarsma tablasında 25 düşüşle sıkıştırılmıştır. Devamında harçların üst yüzeyleri bir spatula yardımıyla düzeltilmiş ve kürlenme işlemine geçilmiştir.

## 2.2.2. Kürlenme

### 2.2.2. Curing

Çalışma kapsamında etüv ve mikrodalga olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Etüv kürü, hava dolaşımı laboratuvar tipi etüvde, mikrodalga kürü ise maksimum çıkış gücü 800 watt olan ev tipi mikrodalga fırında gerçekleştirilmiştir. Etüv küründe, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri tamamlanan harçlar, kalıpları ile birlikte etüve yerleştirilmiş ve 48 saat boyunca 90°C'de kürlenmiştir. Bu sürenin sonunda kalıplar etüvden alınmış, numune sıcaklıkları oda sıcaklığına ulaşınca kadar laboratuvar ortamında bekletilmiş, oda sıcaklığına ulaşan numuneler kalıptan çıkartılmıştır.

Mikrodalga kürü uygulanan numunelerin teknik olarak kalıpları ile fırına yerleştirilmesi mümkün olmadığından bu numuneler mikrodalga fırında kürlenmeden önce, prizini tamamlayana ve kalıptan alınabilecek duruma gelene kadar etüvde ön kürlenmeye tabi tutulmuştur. Mikrodalga fırınların çalışma prensibinde su önemli bir yere sahip olduğundan ön kürlenme yapılacak numuneler etüve yerleştirilmeden önce, yüksek sıcaklığa dayanıklı fırın torbaları ile kaplanmış ve ön kürlenme bu biçimde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Ön kürlenme süresi, deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiş olup bu sürenin uçucu kül esaslı harçlarda 2 saat, tuğla tozu esaslı harçlarda ise 3 saat olduğu tespit edilmiştir. Ön kürlenmede, numunelerin sadece kalıptan alınabilecek duruma gelmeleri amaçlanmış olup, bu işlemin sonunda numunelerin basınç dayanımlarının yaklaşık olarak 2-3 MPa olduğu belirlenmiştir. Ön kürü tamamlanarak kalıptan çıkarılan numuneler, mikrodalga fırınının döner tablasına yerleştirilmiş ve 300 watt güç seviyesinde kürlenmiştir. Kür sürelerinin sonunda numuneler fırından çıkarılmış ve ortam sıcaklığına ulaşınca kadar laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Yapılan ön denemelerde mikrodalga kürüne tabi tutulan uçucu kül ve tuğla tozu esaslı karışımlar için en uygun kür sürelerinin sırasıyla 20 ve 30 dakika olduğu tespit edildiğinden çalışmada bu süreler kullanılmıştır.



**Şekil 3.** Mikrodalga kürünün uygulama aşamaları (a) fırın torbasına sarılı taze harçlar, (b) etüv ön kürlenmesi ve (c) ön kürlenmesi tamamlanan harçların mikrodalga döner tablasına yerleşimleri

**Figure 3.** Stages of microwave curing (a) wrapped fresh mortars with oven bag, (b) oven pre-treatment and (c) mortars on microwave turntable after oven pre-treatment

### 2.2.3. Basınç dayanımının belirlenmesi

#### 2.2.3. Compressive strength

Basınç dayanımlarının belirlenmesinde 2000 kN kapasiteli pres kullanılmış olup yükleme hızı 0.9 kN/s'dir. Her seriden en az üç adet numune deneye tabi tutulmuş ve bunların ortalaması basınç dayanımı olarak kaydedilmiştir.

### 2.2.4. SEM incelemeleri

#### 2.2.4. SEM investigations

SEM incelemeleri, Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde, "Thermo Scientific Apreo S" marka ve model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, incelemeye tabi tutulmadan önce kaplama cihazı kullanılarak altın-paladyum film tabakası ile kaplanmıştır. Reaksiyon ürünlerinin morfolojilerinin tespit edilebilmesi amacıyla tüm incelemeler hamur numuneler üzerinde yapılmış olup hamurlar, harç karışımları ile aynı malzeme ve yöntemler ile üretilmiş, yalnızca kum kullanılmamıştır.

### 2.2.5. Yüksek sıcaklık direnci

#### 2.2.5. High-temperature resistance

Yüksek sıcaklık direnci, 1000°C yüksek sıcaklık etkisi sonrasındaki basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değişiklikleri incelenerek belirlenmiştir. Bu kapsamda laboratuvar tipi yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Fırının sıcaklık artış hızı yaklaşık olarak 20°C/dakika iken hedef sıcaklıktaki yakma süresi 3 saattir. Süre sonunda fırın kapatılmış, numunelerin fırın içinde soğumaları beklenmiş, oda sıcaklığına soğuyan numuneler basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneylerine tabi tutulmuştur.

### 2.2.6. Ultrases geçiş hızı ölçümleri

#### 2.2.6. Ultrasonic pulse velocity

Ultrases geçiş hızı ölçümleri, Proceq marka cihaz kullanılarak, 50 mm ayrıtlı küp harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken, döküm yönüne göre yanlarda kalan pürüzsüz yüzeyler kullanılmıştır.

### 2.2.7. Karışımlar

#### 2.2.7. Mixtures

Çalışma kapsamında üretilen karışımlara ait malzeme miktarları ve yayılma çapları Tablo 2'de gösterilmiştir. Harçlar üretilirken, karışımların kalıplara rahat bir şekilde yerleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Uçucu kül esaslı karışımlarda aktivatör çözeltisinde bulunan su, işlenebilirlik için yeterli gelmiş olup ilave su kullanılması gerekmemiştir. Ancak tuğla tozu esaslı üç karışımda, yerleştirme ve sıkıştırma sorunlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu nedenle bu üç karışıma farklı oranlarda su ilavesi yapılmıştır. Tuğla tozu parçacıklarının pürüzlü yüzeyli, köşeli ve açısız tanelerden oluşmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Belirtilen karışım oranlarına sahip harçlarda herhangi bir yerleştirme ve sıkıştırma sorunu yaşanmamıştır.

**Tablo 2.** Harç karışımlarına ait malzeme miktarları ve yayılma çapları

**Table 2.** Ingredients and flow diameters of mixtures

Agrega türü	Alümino-silikat	Ms oranı	Na <sub>2</sub> O (%)	Kür tipi	Kür rejimi	Alümino-silikat	Malzeme miktarı (g)			Yayılma çapı (mm)	
							Agrega Pomza	Agrega CEN kumu	Aktivatör çözeltisi		
Pomza					90°C	450	1350	-	311.5	-	155
CEN kumu	Uçucu kül	1.50	10	Etüv	48 saat	450	-	1350	311.5	-	230
Pomza				Mikro-	300 watt	450	1350	-	311.5	-	155
CEN kumu				dalga	20 dakika	450	-	1350	311.5	-	230

**Tablo 2. (Devamı) Harç karışımlarına ait malzeme miktarları ve yayılma çapları**  
**Table 2. (Continue) Ingredients and flow diameters of mixtures**

Agrega türü	Alümino-silikat	Ms oranı	Na <sub>2</sub> O (%)	Kür tipi	Kür rejimi	Alümino-silikat	Malzeme miktarı (g)		Aktivatör çözeltilisi	İlave su	Yayılma çapı (mm)
							Agrega Pomza	Agrega CEN kumu			
Pomza		1.75		Etüv	90°C	450	1350	-	353.7	20	134
CEN kumu	Tuğla tozu		10		48 saat	450	-	1350	353.7	-	145
Pomza		1.50		Mikro-dalga	300 watt	450	1350	-	311.5	50	135
CEN kumu					30 dakika	450	-	1350	311.5	20	140

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

#### 3.1. Birim hacim ağırlık değerleri

##### 3.1. Unit weights

Çalışma kapsamında üretilen harçların taze BHA'ları ile kütleme sonrasındaki BHA değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Hem uçucu kül hem de tuğla tozu esaslı karışımlarda, pomza agregası ile üretilen harçların BHA değerlerinin beklenildiği üzere CEN standart kumu ile üretilen harçlardan daha düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Bu durum pomza agregasının özgül ağırlığının, standart CEN kumundan daha düşük seviyelerde olmasından kaynaklanmakta olup CEN kumu ile üretilen uçucu kül esaslı harçtaki taze BHA değer artışı %7.6'dır. Tuğla tozu esaslı harçlarda ise bu değerler 1.50 ve 1.75 Ms oranlı karışımlar için sırasıyla %6.7 ve %7.8'dir.

Aynı agregat türü ile üretilen harçlarda, alüminosilikat malzemenin BHA değerine etkisi incelendiğinde, uçucu kül ile üretilen harçların BHA değerlerinin, tuğla tozu esaslı harçlardan bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Beklenildiği üzere kütleme sonrasında BHA değerlerinde suyun buharlaşmasından kaynaklı olarak düşüşler görülmüştür. Genel anlamda mikrodalga kürüne tabi tutulan numunelerdeki ağırlık kayıpları, etüv küründekinden daha yüksektir. Buna farklı etkenlerin sebep olduğu düşünülmektedir. Öncelikle etüv küründe numuneler kalıpları ile birlikte kürlenmiş olup bu durum numuneden buharlaşan su miktarını azaltmıştır. İkinci bir etken ise mikrodalga küründe, etüv küründen daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmasıdır. Bunlara ek olarak etüv kürü ile üretilen numunelerin daha yoğun bir yapıya sahip olması, bu nedenle de suyun buharlaşabileceği açık boşluk miktarının azalmasının da durum üzerinde belirli bir seviyede etkili olduğu tahmin edilmektedir.

**Tablo 3. Harçların BHA değerleri**

**Table 3. Unit weights of mortar mixtures**

Alümino-silikat	Ms oranı	Kür tipi	Agrega türü	Taze BHA (kg/m <sup>3</sup> )	Kür sonrası BHA (kg/m <sup>3</sup> )	BHA azalış oranı (%)
Uçucu kül	1.50	Etüv	Pomza	2166	2115	2.4
			CEN kumu	2330	2269	2.6
	1.50	Mikrodalga	Pomza	2166	2105	2.8
			CEN kumu	2330	2220	4.7
Tuğla tozu	1.75	Etüv	Pomza	2126	1973	7.2
			CEN kumu	2292	2203	3.9
	1.50	Mikrodalga	Pomza	2150	1986	7.6
			CEN kumu	2294	2190	4.5

### 3.2. Basınç dayanımı

#### 3.2. Compressive strength

Çalışma kapsamında farklı kür yöntemleri ile üretilen harçlara ait basınç dayanımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde agrega ve alüminosilikat türünden bağımsız olarak tüm serilerde, etüv kürlemesinin daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmasını sağladığı görülmektedir. Etüv kürüyle, pomza ve CEN kumu kullanılarak üretilen uçucu kül esaslı harçlarda, mikrodalga kürüne kıyasla %66 ve %82 daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmıştır. Tuğla tozu esaslı harçlarda ise bu değerler sırasıyla %76 ve %61'dir.

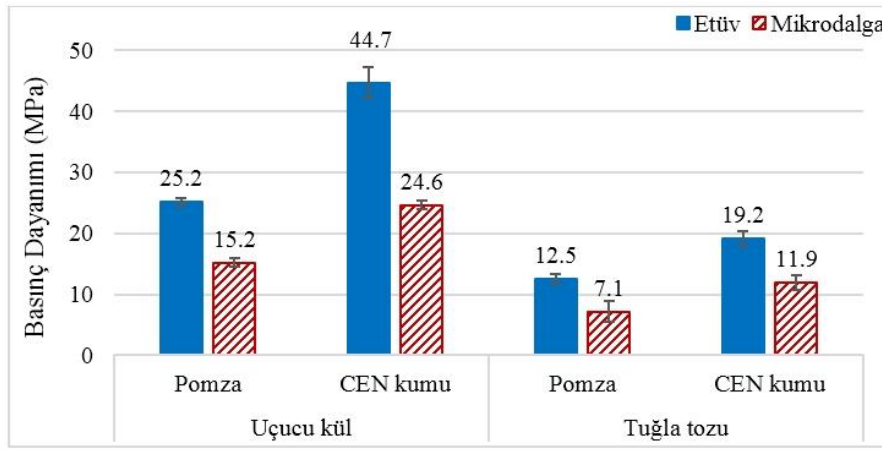
Alüminosilikat türünün basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise tüm serilerde, uçucu kül esaslı harçların basınç dayanımlarının, aynı agrega türü ve kür yöntemiyle üretilen tuğla tozu esaslı harçlardan daha yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Etüv kürüyle üretilen uçucu kül esaslı harçların basınç dayanımları, pomza ve CEN kumu kullanılan serilerde, tuğla tozu esaslı harçlardan sırasıyla %102 ve %133 daha yüksek iken bu değerler mikrodalga kürüyle üretilen harçlarda %114 ve %107'dir.

Tüm serilerde en yüksek basınç dayanımı değerine uçucu kül esaslı-etüv kürü ile üretilen ve CEN kumu içeren karışımda 44.7 MPa ile ulaşılmışken, en yüksek basınç dayanımına sahip mikrodalga kürlü karışım 24.6 MPa ile CEN kumu içeren uçucu kül esaslı harçtır. Etüv küründe daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması, bu çalışmadaki karışımlar ve kür rejimleri dikkate alındığında, etüv küründe alüminosilikatların çözünürlüklerinin muhtemelen daha yüksek olması ve daha fazla miktarda jelin oluşmasından kaynaklanmaktadır. [El-Feky vd. \(2020\)](#), mikrodalga kürü sırasında, artan kür süresinin, numunedeki suyun buharlaşma hızını arttıracak ve bunun da reaksiyonların devamı için gereken suyun azalmasına neden olarak geopolimerizasyonu olumsuz etkileyebileceğini belirtmiştir. Benzer bir çalışmada [Graytee vd. \(2018\)](#) mikrodalga kürü ile geopolimer üretimi sırasında suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasının boşluk miktarını arttıracak ve bunun da bir iç gerilme yaratarak mikroçatlak ve dayanım düşüşlerine neden olabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmada mikrodalga küründe, etüv küründen daha yüksek sıcaklıklara çıkılmasının, mikrodalga kürüne tabi tutulan serilerde bulunan suyun daha hızlı bir şekilde buharlaşmasına neden olduğu ve bunun da dayanımı olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Tuğla tozunun, alkali aktivasyon sırasındaki etkinliği, parçacık boyutu, amorf faz miktarı, aktivatör dozajı ve bileşimi, kür sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu aşamada rol oynayan diğer etkenler ise tuğla üretim sürecinde kullanılan hammadde ve pişirme sıcaklığıdır ([Rovnanik vd., 2018](#)). Yapılan çalışmalar geri dönüştürülmüş tuğla tozunun reaktivitesinin, uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve metakaolin gibi puzolanik malzemelerden daha düşük seviyelerde olduğunu ortaya koymuştur ([Ye vd., 2022](#)).

Atık tuğla tozu esaslı geopolimerlerin basınç dayanımlarının, geopolimer üretiminde sıklıkla kullanılan uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve metakaolin gibi alüminosilikatlarınkine daha yakın değerler alabilmesi için, bu malzemelerle üretilen geopolimer kompozitlerden daha uzun kür sürelerine ihtiyaç duyduğu da bilinmektedir. Örneğin [Reig vd. \(2013\)](#) atık tuğla tozu kullanılarak üretilen ve 0.45 su/bağlayıcı oranına sahip alkali aktive harçların, 7 gün boyunca 65°C sıcaklıkta kürlenmesi ile yaklaşık olarak 30 MPa basınç dayanımına ulaşabildiğini raporlamıştır. Benzer şekilde [Tuyan vd. \(2018\)](#) Na<sub>2</sub>O içeriği, Ms oranı, kür rejimi ve su/bağlayıcı oranının, atık tuğla tozu esaslı geopolimer harçların özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş ve çalışma kapsamında elde edilen en yüksek basınç dayanımı olan 36.2 MPa için 5 gün-90°C kür rejiminin kullanılması gerektiğini belirlemiştir. Sunulan bu çalışmada, tuğla tozu esaslı harçların, uçucu kül esaslı harçlardan daha düşük basınç dayanımlarına sahip olmasının, tuğla tozunun reaktivitesinin uçucu külden daha düşük olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Aynı alüminosilikat ve kür türü kullanılarak üretilen harçlarda, kum türünün basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde, CEN kumu kullanılan serilerin dayanımlarının, pomza kullanılan serilerinkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun ise CEN kumunun en büyük tane boyutunun pomza agregasından daha düşük olması ve pomza agregasının boşluklu yapısı nedeniyle daha zayıf karakterde olmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4.** Harç numunelerin basınç dayanımları  
**Figure 4.** Compressive strengths of mortars

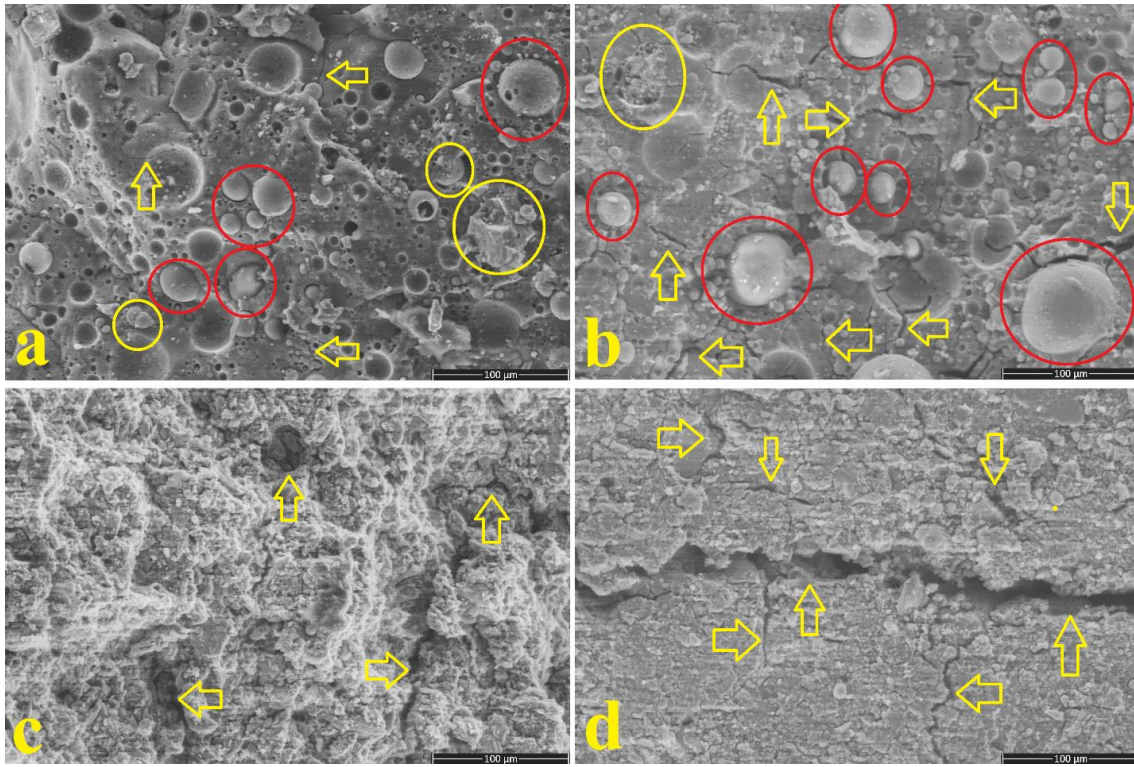
### 3.3. SEM incelemeleri

#### 3.3. SEM investigations

Çalışma kapsamında üretilen geopolimer hamurların SEM görüntüleri Şekil 5'te sunulmuştur. Reaksiyona girmemiş ve kısmen reaksiyona girmiş tanecikler sırasıyla kırmızı ve sarı çemberlerle gösterilmişken, çatlak ve boşluklar sarı oklarla işaretlenmiştir. Uçucu kül esaslı hamurların, tuğla tozu esaslı hamurlardan daha yoğun yapıda oldukları belirlenmiş olup, aralarındaki dayanım farkının da bundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Etüv kürü ile üretilen uçucu kül esaslı hamur incelendiğinde yapıda reaksiyona girmemiş veya kısmen reaksiyona girmiş tanecikler ile bazı boşluk ve çatlakların yer aldığı görülmektedir. Mevcut çatlakların bir kısmının, numunenin hazırlanması sırasında oluştuğu tahmin edilmektedir. Mikrodalga kürü ile üretilen uçucu kül esaslı hamurun içyapısı, etüv kürü ile üretilen numuneye benzemekle birlikte daha fazla sayıda reaksiyona girmemiş tanecik ve daha geniş ve derin çatlaklar içermektedir. Bu çatlak ve boşluklar nedeniyle mikrodalga kürü ile üretilen harçların basınç dayanımları, etüv kürü ile üretilenlerden daha düşük seviyededir. Uçucu kül esaslı hamurlara benzer şekilde, mikrodalga kürü ile üretilen tuğla tozu esaslı hamur, etüv küründe üretilenden daha fazla sayıda ve daha geniş/derin çatlaklar içermektedir. Bu da mikrodalga kürü, tuğla tozu esaslı harcın basınç dayanımının, etüv küründe üretilenden daha düşük olmasına neden olmaktadır.

Farklı alüminosilikatların farklı aktivatörlerle birlikte kullanılması sonucunda üretilen geopolimer kompozitlerin dayanım-mikroyapı ilişkisi çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. [Duxson vd. \(2005\)](#) farklı Si/Al (1.15, 1.40, 1.65, 1.90 ve 2.15) oranlarına sahip metakaolin esaslı geopolimer hamurların içyapısını incelemiş ve içyapının dayanım üzerindeki etkisini araştırmıştır. Araştırmacılar Si/Al oranının basınç dayanımı açısından optimum değer olan 1.90'a kadar yükselmesi ile daha homojen, daha az boşluk ve daha az çatlak içeren bir matris elde edildiğini, bunun da dayanım üzerinde olumlu etkisinin olduğunu vurgulamıştır. [Shi vd. \(2016\)](#) aynı süre ve sıcaklıklarda kürlenmiş uçucu kül esaslı geopolimerlerde kür tipinin içyapı ve dayanım üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmada mikrodalga ve etüv kürü ile üretilen hamurların SEM görüntüleri ve basınç dayanımları ele alınmış, daha az boşluklu içyapıya sahip mikrodalga kürü numunenin, daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu vurgulanmıştır. Benzer bir çalışmada [Somaratna vd. \(2010\)](#) uçucu kül esaslı geopolimerlerin SEM görüntülerini incelemiş ve mikrodalga kür süresinin artışı ile daha fazla sayıda uçucu kül taneciğinin reaksiyona katılarak daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmasını sağladığını ve bu durumun da SEM görüntüleri ile kanıtlandığını raporlamıştır. Sunulan bu çalışmada da, etüv kürü ve mikrodalga kürü ile üretilen uçucu kül ve tuğla tozu esaslı geopolimer hamurlardan, içyapısı daha yoğun ve homojen olan, daha az sayıda çatlak içerenlerin daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu belirlenmiştir.





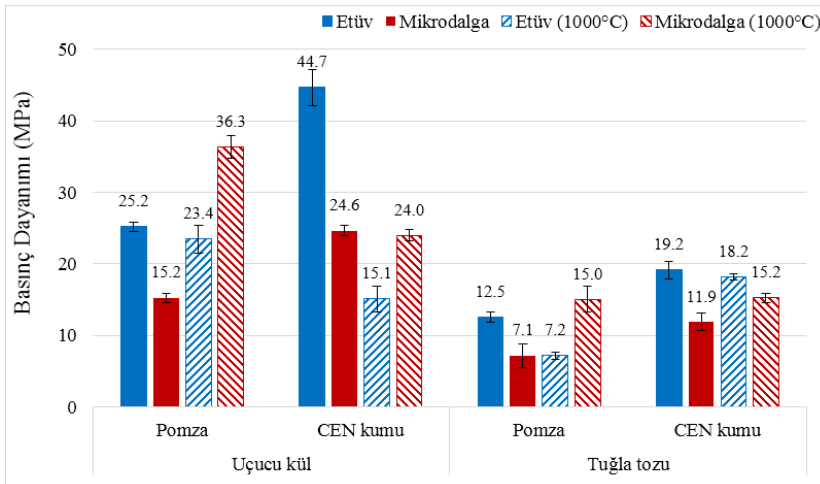
**Şekil 5.** Hamurlara ait SEM görüntüleri (a) etüvde kürlenmiş uçucu kül esaslı, (b) mikrodalgada kürlenmiş uçucu kül esaslı, (c) etüvde kürlenmiş tuğla tozu esaslı ve (d) mikrodalgada kürlenmiş tuğla tozu esaslı

**Figure 5.** SEM images of paste specimens (a) oven-cured fly ash-based, (b) microwave-cured fly ash-based, (c) oven-cured brick powder-based and (d) microwave-cured brick powder-based

### 3.4. Yüksek sıcaklık direnci

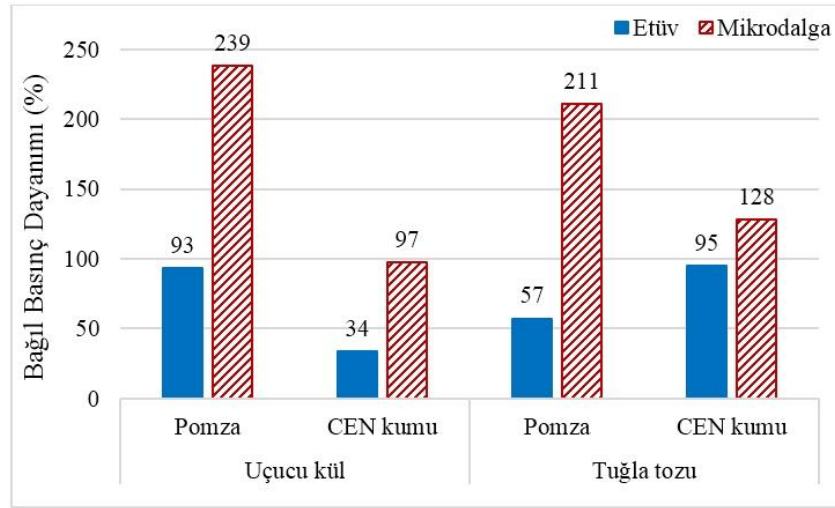
#### 3.4. High-temperature resistance

Çalışma kapsamında üretildikten sonra 1000°C'ye maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları ve yüksek sıcaklık öncesindeki durumlarına oranla bağlı dayanımları sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde etüv kürü ile üretilen tüm serilerde, yüksek sıcaklığın basınç dayanımlarında azalmalara neden olduğu, mikrodalga küründe ise bu durumun tam tersinin görüldüğü belirlenmiştir. Pomza agregası kullanılarak, mikrodalga kürüyle üretilen uçucu kül ve tuğla tozu esaslı karışımların basınç dayanımları, yüksek sıcaklık etkisi sonrasında %139 ve %111 oranında artmıştır. Ayrıca aynı kür tipi ve alüminosilikat türü ile üretilen harçlarda, genellikle pomza agregası kullanımının yüksek sıcaklık etkisiyle ya da daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmasını sağladığı ya da daha düşük seviyedeki basınç dayanımı kayıplarına neden olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.** Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi

**Figure 6.** Effect of high-temperature curing on compressive strength



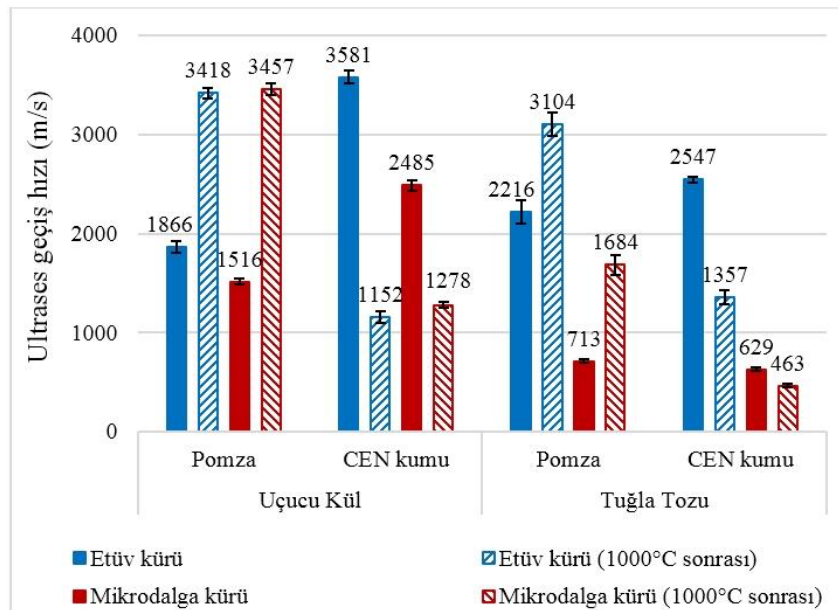
**Şekil 7.** Numunelerin bağıl basınç dayanımları  
**Figure 7.** Relative compressive strengths

### 3.5. Ultrases geçiş hızı

#### 3.5. Ultrasonic pulse velocity

Çalışma kapsamında üretilen harçların yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve sonraki ultrases geçiş hızları Şekil 8’de gösterilmiştir. Kür türü ve alüminosilikat türünden bağımsız olarak pomza agregası içeren harçların ultrases geçiş hızlarının, yüksek sıcaklık etkisinden sonra yükseldiği, CEN kumu içeren harçlarda ise bu durumun tam tersinin geçerli olduğu belirlenmiştir.

Yüksek sıcaklık etkisinden sonra ultrases geçiş hızının artması ve bazı karışımlarda dayanım artışı görülmesi, matriste filler etkisi gösterecek yeni kristal yapıların oluşması ve/veya matriste densifikasyonun görülmesinden kaynaklanabilir. Farklı alüminosilikat ve farklı aktivatörler kullanılarak üretilen geopolimerlerin yüksek sıcaklık direnci üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. [Payakaniti vd. \(2020\)](#) uçucu kül esaslı geopolimerlerin yüksek sıcaklık direncini incelemiş ve 800°C’ye maruz bırakılan numunelerde yeni zeolit ve nefelin piklerinin ortaya çıktığını, sıcaklık artışı ile bunların XRD pik şiddetlerinin arttığını; yeni ortaya çıkan bu ürünlerin dayanım artışına yol açabileceğini belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca yüksek sıcaklık etkisiyle görülen dayanım artışlarının bir nedeninin de devam eden geopolimerizasyon olduğunu vurgulamıştır.



**Şekil 8.** Harç numunelerin ultrases geçiş hızları  
**Figure 8.** Ultrasonic pulse velocities of mortar specimens

Tiffo vd. (2020) de benzer bir çalışma yürütmüş, alüminyum hidroksit ve alüminyum oksihidroksit ikamesi içeren kaolin esaslı geopolimerlerde, yüksek sıcaklık etkisiyle ortaya çıkan dayanım artışlarının yeni oluşan kristal fazlardan ve densifikasyondan kaynaklandığını ifade etmiştir. Cheng-Yong vd. (2017) ise bir tanesi geopolimer hamur, diğeri geopolimer köpük hamur olmak üzere iki farklı uçucu kül esaslı geopolimerin yüksek sıcaklık direncini incelemiş ve 800°C etkisinden sonra köpük hamurun, geopolimer hamurdan daha yüksek bir basınç dayanımına sahip olduğunu vurgulamıştır. Bunun nedeni olarak ise geopolimer hamurda yeni oluşan kristal fazların iç gerilmelere sebep olması ancak köpük hamurda yeni oluşan kristal fazların boşluklara ilerleyebilmesi ve burada filler etkisi yaratması gösterilmiştir. Sunulan bu çalışmada mikrodalga kürüyle üretilen numunelerin yüksek sıcaklık etkisiyle dayanım kaybı yaşamadıkları, hatta bazı karışımlarda ciddi oranlarda dayanım kazandıkları görülmüştür. Bu etkinin pomza agregası içeren harçlarda çok daha net olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin pomza agregası içeren harçların daha boşluklu olması ve yeni oluşan kristal yapıların bu boş alanları kullanarak iç gerilme yaratmadan filler etkisi göstermelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusion

Bu çalışmada agrega türünün, mikrodalga ve etüv kürü ile üretilen tuğla tozu ve uçucu kül esaslı geopolimer harçların birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kullanılan malzeme ve uygulanan deneyler göz önüne alındığında aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

Alüminosilikat türünden bağımsız olarak, pomza agregası ile hazırlanan harçların taze birim hacim ağırlık değerleri, CEN kumu ile hazırlanan harçlardan daha düşüktür. Pomza agregasının boşluklu yapısı ve düşük birim hacim ağırlığı bu farkın esas nedenidir. Aynı agrega türü ile üretilen uçucu kül ve tuğla tozu esaslı harçların birim hacim ağırlık değerleri ise birbirine çok yakındır.

Agrega ve alüminosilikat türünden bağımsız olarak, etüv kürü ile elde edilen basınç dayanımları, mikrodalga küründen daha yüksektir. Bu durumun, alüminosilikatların etüv küründeki çözünürlüklerinin, mikrodalga küründekinden daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kapsamda pomza ve CEN kumu ile üretilen uçucu kül esaslı harçlarda, etüv kürlemesi ile mikrodalga kürüne kıyasla sırasıyla %66 ve %82 daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Tuğla tozu esaslı harçlarda ise bu değerler %76 ve %61 olarak kayda geçmiştir.

Aynı kür ve agrega tipi ile üretilen uçucu kül ve tuğla tozu esaslı harçların basınç dayanımları kıyaslandığında, uçucu kül esaslı harçların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Pomza ve CEN kumu içeren etüv kürü uçucu kül esaslı harçların basınç dayanımları sırasıyla %102 ve %133 oranlarında daha yüksekken mikrodalga kürü serilerde bu oranlar %114 ve %107'dir.

Aynı kür tipi ve alüminosilikat türü ile üretilen harçlardan, CEN kumu içerenlerin basınç dayanımları, pomza agregası kullanılanlardan daha yüksektir. İki agrega türü arasındaki dayanım farkının, bu durumun ana nedeni olduğu ayrıca iki agrega arasındaki gradasyon farkı ve en büyük tane boyutunun da bu durum üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Mikrodalga kürü ile üretilen harçların yüksek sıcaklık dirençlerinin, etüv kürü ile üretilenlerden daha yüksek olduğu, etüv kürü ile üretilen harçların 1000°C'ye maruz kaldıktan sonra basınç dayanımlarının azaldığı ancak mikrodalga kürü ile üretilen harçlarda genellikle bu durumun tersinin geçerli olduğu belirlenmiştir.

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Bu makale, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans programında öğrenimine devam eden Merve TOKDEMİR'in devam eden yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkürlerini sunar.

**Yazar katkısı***Author contribution*

Merve TOKDEMİR: Literatür taraması, deney tasarımı, deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi, sonuçların analizi ve yorumlanması, makale yazımı. Kambiz RAMYAR: Deney tasarımı, sonuçların analizi ve yorumlanması, makale yazımı & redaksiyon. Adil GÜLTEKİN: Literatür taraması, deney tasarımı, sonuçların analizi ve yorumlanması, makale yazımı.

**Etik beyanı***Declaration of ethical code*

Yazarlar, bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini ve bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan ve taahhüt ederler.

**Çıkar çatışması beyanı***Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

- Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Bnhussain, M., Nizar, I. K., Rafiza, A. R. & Zarina, Y. (2012). The processing, characterization, and properties of fly ash based geopolymer concrete. *Reviews on Advanced Materials Science*, 30, 90-97.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard specification for concrete aggregates* (ASTM Standart No. ASTM C33/C33M-18). American Society for Testing and Materials. [https://www.astm.org/c0033\\_c0033m-18.html](https://www.astm.org/c0033_c0033m-18.html)
- Cheng-Yong, H., Yun-Ming, L., Abdullah M. M. A. B. & Hussin, K. (2017). Thermal resistance variations of fly ash geopolymers: foaming responses. *Scientific Reports*, 7, 45355. <https://doi.org/10.1038/srep45355>
- Chindaprasirt, P., Rattanasak, U. & Taebuanhuad, S. (2013). Role of microwave radiation in curing the fly ash geopolymer. *Advanced Powder Technology*, 24, 703-707. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2012.12.005>
- Dhasmana, A. & Singh, S. P. (2023). Long-term mechanical characteristics of fibre reinforced metakaolin-based geopolymer concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 93(3), 106-119. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.030>
- Durak, U. (2021). Ön bekleme süresi ve mikrodalga kürünün geopolimer harç numunelerin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Ankara International Conference on Scientific Research* (ss. 186-194), Ankara.
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M. & van Deventer, J. S. J. (2005). Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 269, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.06.060>
- El-Feky, M. S., Kohail, M., El-Tair, A. M. & Serag, M. I. (2020). Effect of microwave curing as compared with conventional regimes on the performance of alkali activated slag pastes. *Construction and Building Materials*, 233, 117268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117268>
- Erdoğan, T. Y. (2021). *Beton* (7. basım). ODTÜ Yayıncılık.
- Farhan, K. Z., Johari, M. A. M. & Demirboğa, R. (2020). Assessment of important parameters involved in the synthesis of geopolymer composites: a review. *Construction and Building Materials*, 264, 120276. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120276>

- Graytee, A., Sanjayan, J. G. & Nazari, A. (2018). Development of a high strength fly ash-based geopolymer in short time by using microwave curing. *Ceramics International*, 44, 8216-8222. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.001>
- Guan, X., Luo, W., Liu, S., Hernandez, A. G., Do, H. & Li, B. (2023). Ultra-high early strength fly ash-based geopolymer paste cured by microwave radiation. *Developments in the Built Environment*, 14, 100139. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100139>
- He, K-c., Guo, R-x., Ma, Q-m., Yan, F., Lin, Z-w. & Sun, Y-l. (2016). Experimental research on high temperature resistance of modified lightweight concrete after exposure to elevated temperatures. *Advances in Materials Science and Engineering*, 5972570. <https://dx.doi.org/10.1155/2016/5972570>
- Hong, S. & Kim, H. (2019). Effects of microwave energy on fast compressive strength development of coal bottom ash-based geopolymers. *Scientific Reports*, 9, 15694. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52160-2>
- Izquierdo, M., Querol, X., Davidovits, J., Antenucci, D., Nugteren, H. & Fernández-Pereira, C. (2009). Coal fly ash-slag-based geopolymers: microstructure and metal leaching. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 561-566. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.063>
- Kastiukas, G., Ruan, S., Liang, S. & Zhou, X. (2020). Development of precast geopolymer concrete via oven and microwave radiation curing with an environmental assessment, *Journal of Cleaner Production*, 255, 120290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120290>
- Khaleel, F., Atiş, C. D., Durak, U., İlkentapar, S. & Karahan, O. (2021). The effect of microwave curing on the strength development of Class-F fly ash-based geopolymer mortar, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 37(1), 118-129.
- Medeiros, W. A., Parsekian, G. A., & Moreno, A. L. (2023). Residual mechanical properties of hollow concrete blocks with different aggregate types after exposure to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 377, 131085. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131085>
- Metekong, J. V. S., Kaze, C. R., Deutou, J. G., Venyite, P., Nana, A., Kamseu, E., Melo, U. C. & Tatietsé T. T. (2021). Evaluation of performances of volcanic-ash-laterite based blended geopolymer concretes: mechanical properties and durability. *Journal of Building Engineering*, 34, 101935. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101935>
- Moradikhou, A. B., Esparham, A. & Avanaki, M. J. (2020). Physical & mechanical properties of fiber reinforced metakaolin-based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 251, 118965. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118965>
- Nadeem, M., Ul Haq, E., Ahmed, F., Rafiq, M. A., Awan, G. H. & Zain-ul-Abdein, M. (2020). Effect of microwave curing on the construction properties of natural soil based geopolymer foam. *Construction and Building Materials*, 230, 117074. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117074>
- Nawaz, M., Heitor, A. & Sivakumar, M. (2020). Geopolymers in construction - recent developments. *Construction and Building Materials*, 260, 120472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120472>
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th edition). Pearson.
- Payakaniti, P., Chuewangkam, N., Yensano, R., Pinitsoontorn, S. & Chindaprasirt, P. (2020). Changes in compressive strength, microstructure and magnetic properties of a high-calcium fly ash geopolymer subjected to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 265, 120650. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120650>
- Reig, L., Tashima, M. M., Borrachero, M. V., Monzó, J., Cheeseman, C. R. & Payá, J. (2013). Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste, *Construction and Building Materials*, 43, 98-106. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.031>
- Ren, B., Zhao, Y., Bai, H., Kang, S., Zhang, T. & Song, S. (2021). Eco-friendly geopolymer prepared from solid wastes: a critical review. *Chemosphere*, 267, 128900. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128900>
- Rovnaník, P., Rovnaníková, P., Vyšvaril, M., Grzeszczyk, S. & Janowska-Renkas, E. (2018). Rheological properties and microstructure of binary waste red brick powder/metakaolin geopolymer. *Construction and Building Materials*, 188, 924-933. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.150>



- Shi, H., Ma, H., Tian, L., Yang, J. & Yuan, J. (2020). Effect of microwave curing on metakaolin-quartz-based geopolymer bricks. *Construction and Building Materials*, 258, 120354. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120354>
- Shi, S., Li, H., Fabian, M., Sun, T., Grattan, K. T. V., Xu, D., Basheer, P. A. M. & Bai, Y. (2016). Alkali-activated fly ash manufactured with multi-stage microwave curing. *Sustainable Construction Materials and Technologies. Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies* (pp.1-9), Las Vegas.
- Soares, J. C., Dias, D. P., de Carvalho, E. A. & de Azevedo, J. S. (2021). Determination of shear strength by Iosipescu (V-notch) method of metakaolin-based geopolymeric resins activated by different silicate and hydroxide combinations. *Construction and Building Materials*, 275, 122120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122120>
- Somararatna, J., Ravikumar, D. & Neithalath, N. (2010). Response of alkali activated fly ash mortars to microwave curing. *Cement and Concrete Research*, 40, 1688–1696. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.08.010>
- Sun, Y., Zhang, P., Hu, J., Liu, B., Yang, J., Liang, S., Xiao, K. & Hou, H. (2021). A review on microwave irradiation to the properties of geopolymers: mechanisms and challenges. *Construction and Building Materials*, 294, 123491. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123491>
- Suwan, T., Paphawasit, B., Fan, M., Jitsangiam, P. & Chindapasirt, P. (2021). Effect of microwave-assisted curing process on strength development and curing duration of cellular lightweight geopolymer mortar. *Materials and Manufacturing Processes*, 36(9), 1040-1048. <https://doi.org/10.1080/10426914.2021.1885702>
- Tan, J., Cai, J., Huang, L., Yang, Q., Mao, M. & Li, J. (2020). Feasibility of using microwave curing to enhance the compressive strength of mixed recycled aggregate powder based geopolymer, *Construction and Building Materials*, 262, 120897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120897>
- Tiffo, E., Mbah, J. B. B., Belibi, P. D. B., Djobo, J. N. Y. & Elimbi, A. (2020). Physical and mechanical properties of unheated and heated kaolin-based geopolymers with partial replacement of aluminium hydroxide, *Materials Chemistry and Physics*, 239, 122103. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122103>
- Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *Yapı kireci - bölüm 2: deney yöntemleri* (TSE Standart No. TS EN 459-2). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tuyan, M., Andiç Çakır, Ö. & Ramyar, K. (2018). Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer. *Composites Part B*, 135, 242-252. <https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.10.013>
- Ye, T., Xiao, J., Duan, Z. & Li, S. (2022). Geopolymers made of recycled brick and concrete powder – a critical review. *Construction and Building Materials*, 330, 127232. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127232>
- Zhang, H., Li, L., Yuan, C., Wang, Q., Sarker, P. K. & Shi, X. (2020). Deterioration of ambient-cured and heat-cured fly ash geopolymer concrete by high temperature exposure and prediction of its residual compressive strength. *Construction and Building Materials*, 262, 120924. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120924>



## Potansiyel karbonik anhidraz I ve II inhibitör keşfi: D-Penisilamin türevleri

*Discovery of potential carbonic anhydrase I and II inhibitors: D-Penicillamine derivatives*

Işıl Nihan KORKMAZ\* 

Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 13.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

### Öz

Protein yapısına katılmayan bir aminoasit türevi olan penisilamin; bir karboksilik asit, bir tiyol ve aminden oluşan üç işlevli bir organik moleküldür. Başta Wilson hastalığı olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde kullanılan D-Penisilamin (PEN-1), N-Asetil-D-Penisilamin (PEN-2) ve D-Penisilamin disülfid (PEN-3) *in vitro* koşullarda karbonik anhidraz I ve II (hCA I, hCA II) izoenzimleri üzerindeki inhibisyon etkileri araştırıldı. İnsan eritrosit hücrelerinden hCA I, hCA II enzimleri izole edildi. Saflaştırılan her iki enzimin D-Penisilamin ve türevleri tarafından etkili bir şekilde inhibe edildiği belirlendi. PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin IC<sub>50</sub> değerleri hCA I için sırasıyla 387.21; 407.49 ve 106.75 µM, hCA II için sırasıyla 563.72; 364.87 ve 136.91 µM olarak hesaplandı. Bütün moleküller için inhibisyon tipi her iki enzimde de yarışmalı inhibisyon olarak belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Afinite kromatografisi, İnhibisyon, Karbonik anhidraz, Penisilamin

### Abstract

*Penicillamine, an amino acid derivative that does not participate in the protein structure, is a trifunctional organic molecule composed of a carboxylic acid, a thiol, and an amine. D-Penicillamine (PEN-1), N-Acetyl-D-Penicillamine (PEN-2) and D Penicillamine disulfide (PEN-3), which are used in the treatment of many diseases, especially Wilson's disease, are produced by carbonic anhydrase I and II (hCA I) *in vitro*. Inhibition effects on hCA II isoenzymes were investigated. hCA I, hCA II enzymes were isolated from human erythrocyte cells. It was determined that PEN-1, PEN-2, and PEN-3 effectively inhibited both purified enzymes. The IC<sub>50</sub> values of PEN-1, PEN-2, and PEN-3 molecules were calculated to be 387.21, 407.49, and 106.75 µM for hCA I, 563.72 364.87, and 136.91 µM for hCA II, respectively. The inhibition type for all molecules was determined as competitive inhibition in both enzymes.*

**Keywords:** Affinity chromatography, Inhibition, Carbonic anhydrase, Penicillamine

\* Işıl Nihan KORKMAZ; isil.krkmz@gmail.com

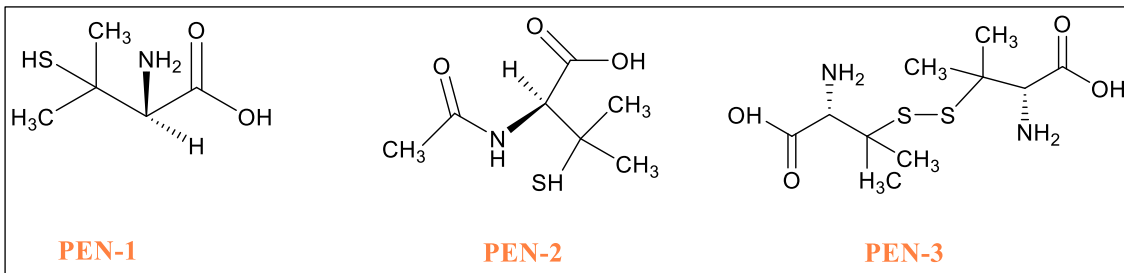
## 1. Giriş

### 1. Introduction

Metaloenzim ailesinin bir üyesi olan karbonik anhidrazlar (E.C. 4.2.1.1., CA), tüm prokaryotik ve ökaryotik yaşam krallıklarında pH düzenleyici bir enzim olarak görev yapmaktadır (Bibi et al., 2019).  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\zeta$ ,  $\eta$  ve  $\theta$  CA'lar 7 değişik genetik familyaya ayrıldığı bilinmektedir. Algler, yeşil bitkiler, protozoalar, omurgalılar ve bazı bakteriler gibi birçok organizmada bulunan  $\alpha$ -CA'lar, dünyada üzerinde en çok çalışılan CA ailesidir (Karioti et al., 2016). Şimdiye kadar, katalitik aktivite, farklı inhibitör sınıflarına duyarlılık ve hücre altı lokalizasyon (sitozolik, zara bağlı, mitokondriyal ve tükürük salgısı) açısından 16  $\alpha$ -CA izozimleri tanımlanmıştır (Akbaba & Kalin, 2022). CA'lar, bir metal hidroksit nükleofilik mekanizma yoluyla CO<sub>2</sub>'yi (karbon dioksit) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>e (bikarbonat) ve H<sup>+</sup>ya (proton) geri dönüşümlü olarak hidratlar (Gulcin & Beydemir, 2013). Ayrıca bu izozimler, kemik rezorpsiyonu, sıvı dengesi, kalsifikasyon, ödem, osteoporoz, glokom, tümör üretimi, pH regülasyonu, kanser, karboksilasyon reaksiyonları ve epilepsi gibi birçok metabolik süreçte çok önemli bir rol oynar (Kazancı et al., 2021).

Penisilamin, bir tiyol grubu içeren proteinojenik olmayan bir amino asittir. Bir amin, bir tiyol ve bir karboksilik asitten oluşan penisilamin, üç işlevli bir organik bileşiktir. Yapısında bulundurduğu bu üç fonksiyonel grup yardımıyla özel birçok kimyasal tepkime gerçekleştirebilmektedir (Bhushan & Kumar, 2010). Yapısal olarak sisteine çok benzer bir amino asittir. Aralarındaki tek fark tiyole bağlı olan iki adet dimetil grubudur. Birçok amino asitte olduğu gibi, fizyolojik pH'da zwitter iyonik formda bulunan renksiz bir katı moleküldür (Munro & Capell, 1997). Şelatlayıcı bir ajan özelliğine sahip olan D-penisilamin klinik olarak uzun süredir Wilson hastalığı, ağır metal zehirlenmesi, sistinüri ve romatoid artrit tedavisinde kullanılmaktadır (Chong & Auld, 2000). Diğer bir metal şelatlama özelliğine sahip molekül olan N-Asetil-D-penisilamin, D-penisilaminin asetilenmiş analogudur. Yüksek şelatlama kapasitesinden dolayı klinik olarak metal zehirlenmelerine karşı panzehir olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Chipiso et al., 2019). Alzheimer ve Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıklara sebep olan en önemli etkilerden bir tanesi de ağır metal iyonlarının çevrede her yerde bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kark et al., 1971). Bu yüzden ağır metallerin toksikolojik etkilerini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için şelatlama kapasitesine sahip moleküller ile tedavi klinik olarak kullanılan yöntemler arasındadır. N-Asetil-D-penisilamin, özellikle cıva zehirlenmelerinde kullanılan bir şelatlayıcı ajandır (Budimir, 2011).

Sunulan bu çalışma ile, 30 yılı aşkın bir süredir özellikle romatoid artrit tedavisinde kullanılmakta olan PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin *in vitro* koşullarda hCA I ve hCA II enzimleri üzerindeki inhibisyon potansiyellerinin araştırılması amaçlanmıştır (Şekil 1). Bu amaç kapsamında ilk önce hCA I, hCA II enzimleri insan kanından saf bir şekilde izole edilmiştir. Daha sonra ise gerçekleştirilen inhibisyon çalışmalarlarıyla ayrı ayrı bütün bileşik için IC<sub>50</sub>, K<sub>i</sub> değerleri ve inhibisyon tipleri tespit edildi.



Şekil 1. Moleküllerin kimyasal yapıları

Figure 1. Chemical structures of molecules

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Kimyasallar

##### 2.1. Chemicals

Enzim kaynağı olarak Erzurum Türk Kızılay'ından temin edilen eritrosit peletleri kullanıldı. Saflaştırma, biyolojik aktivite, elektroforez için kullanılan tüm kimyasallar ve analitik reaktifler ile PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 Sigma-Aldrich ve Merck KGaA'dan temin edildi.

## 2.2. hCA aktivitesinin ölçümü

### 2.2. Measurement of hCA activity

PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin hCA I, hCA II üzerindeki potansiyel inhibisyon etkileri, Verpoorte ve ark. tarafından hCA'lar için sunulan aktivite yöntemiyle (348 nm) spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Verpoorte et al., 1967).

## 2.3. hCA'nın saflaştırılması

### 2.3. Purification of hCA

hCA I-II izoenzimleri insan eritrosit hücrelerinden izole edildi. Önceki çalışmalarda açıklandığı gibi saflaştırma, CNBr ile aktifleştirilmiş Sepharose 4B için ligand olarak sülfanilamidin kullanıldığı bir afinite kolonu ile gerçekleştirildi (Adem et al., 2019).

## 2.4. SDS-PAGE

### 2.4. SDS-PAGE

Eritrosit hücrelerinden izole edilen hCA I-II enzimlerinin saflığını belirlemek için daha önce yapılan çalışmalarda daha detaylı bir şekilde anlatılan Laemmli prosedürüne göre SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis) gerçekleştirildi (Laemmli, 1970).

## 2.5. İnhibisyon çalışması

### 2.5. Inhibition study

IC<sub>50</sub> değerlerini elde etmek için hCA I-II'ye yönelik ayrı ayrı aktiviteler 5 farklı inhibitör (PEN-1, PEN-2 ve PEN-3) konsantrasyonunda ölçüldü. Çizilen % Aktivite-Konsantrasyon grafiklerinden IC<sub>50</sub> değerleri belirlendi. Daha sonra inhibisyon tiplerini ve K<sub>i</sub> değerlerini belirlemek için 5 farklı substrat (p-Nitrofenil asetat (p-NPA) konsantrasyonu ve 3 farklı sabit inhibitör konsantrasyonunda aktivite ölçümleri yapılmıştır. İnhibisyon tipleri ve K<sub>i</sub> değerleri, ayrı ayrı çizilen 1/V'ye karşı 1/[S] grafiklerinden belirlendi.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

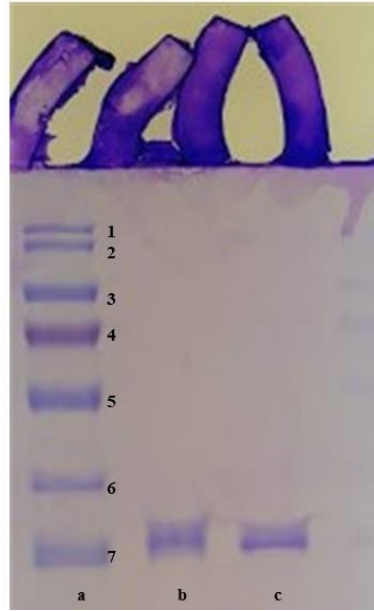
Enzimler, farklı biyokimyasal reaksiyonlarda yer alan biyolojik katalizörlerdir. Ancak bu biyomoleküllerin aşırı aktivasyonu hastalığa neden olabilir, bu nedenle mevcut klinik uygulamada enzimlerin farklı inhibitörleri tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Enzimler genellikle ilaç geliştirmede ana hedef olarak kullanılır. Enzimler için uygun inhibitörler tasarlanarak potansiyel ilaçlara dönüştürülebilir. Yapılan çalışmalarda doğru ilacın ortaya çıkması için inhibisyon tipinin ve inhibisyon gücünün doğru belirlenmesi çok önemlidir (Jonsson & Liljas, 2020).

Canlıların birçoğunda bulunan ve metalloenzimlerin bir grubu olan CA'lar, glukoneojenez, lipogenez, ürejeniz, tümörjenite ve çeşitli patojenlerin büyümesi ve virülansı dahil olmak üzere çok sayıda fizyolojik ve patolojik süreçte yer alır. CA inhibitörlerinin; antiglokomlar ve diüretik ilaçların yerleşik rolüne ilave, son yıllarda CA'ların yeni anti-enfektif, anti-obezite ve antikanser ilaç potansiyeline sahip olma ihtimalleri yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Bibi et al., 2019). Uzun yıllardır klinik olarak kullanılan karbonik anhidraz inhibitörleri, inflamasyon, nörolojik bozukluklar, epilepsi, hipoksik tümörler, glokom, obezite, artrit, kanser, hemolitik anemi ve diş çürüğü gibi birçok hastalığın tedavisinde potansiyel terapötik ilaçlardır (Supuran, 2020). Diklorofenamid, asetazolamid, dorzolamid, fentermin, sulpirid, metazolamid, sulthiam, brinzolamid, zonisamid, indisulam, topiramet ve etokszolamid molekülleri klinikte kullanılan karbonik anhidraz inhibitörlerinden bazılarıdır (Kumar et al., 2020).

Penisilamin, D- (veya S) ve L- (veya R) olmak üzere iki enantiyomerik formu bulunur. Birçok ilaçta olduğu gibi iki stereoizomerin toksikolojik etkileri önemli ölçüde farklılık göstermektedir. L-Penisilaminin aşırı toksisiteye sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak D-Penisilaminde böyle bir durum söz konusu olmadığı için klinik olarak D formu kullanılmaktadır. Bu nedenle, Penisilaminin enantiyomerik saflığının değerlendirilmesi, özellikle farmasötik preparasyonlar için tasarlandığında, son derece önemlidir. D-Penisilamin terapötik amaçlar için dikkatli bir şekilde tıbbi gözetim altında kullanılabilirken, L- Penisilamin veya rasemat

karışımların yüksek toksisitesi sebebiyle klinik olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Bu bağlamda D-Penisilamin; bebeklerde retina hastalığı önlenmesi, klinikte hepatit ve romatoid artrit, tedavisinde kullanılmıştır (Bhushan & Kumar, 2010; Friedman, 2004; Kean et al., 1991; Phelps et al., 2000).

Literatürde, D-penisilamin veya türevleri ile ilgili yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde bu moleküllerin saf enzimlerdeki inhibisyon potansiyellerini belirlemeye yönelik yapılmış çok fazla çalışma olmadığı görülebilmektedir. Bu yüzden literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacıyla PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin insan eritrositlerinden saflaştırılmış olan hCA I-II enzimleri üzerine inhibisyon etkileri belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında ilk önce, insan eritrosit hücrelerinden hCA I- II enzimleri ligandı sülfanilamid bileşiği olan bir afinite kromatografisi tekniği kullanılarak tek kademede yüksek saflıkta izole edildi. hCA I, hCA II enzimlerinin saflıkları gerçekleştirilen SDS-PAGE ile teyit edildi (Şekil 2).



**Şekil 2.** SDS-PAGE fotoğrafı. a: Standartlar (1: 170 kDa 2: 130 kDa 3: 100 kDa, 4: 70 kDa 5: 55 kDa 6: 40 kDa 7: 35kDa), b: hCA I, c: hCA II

**Figure 2.** SDS-PAGE photo. Standards (1: 170 kDa 2: 130 kDa 3: 100 kDa, 4: 70 kDa 5: 55 kDa 6: 40 kDa 7: 35kDa), b: hCA I, c: hCA II

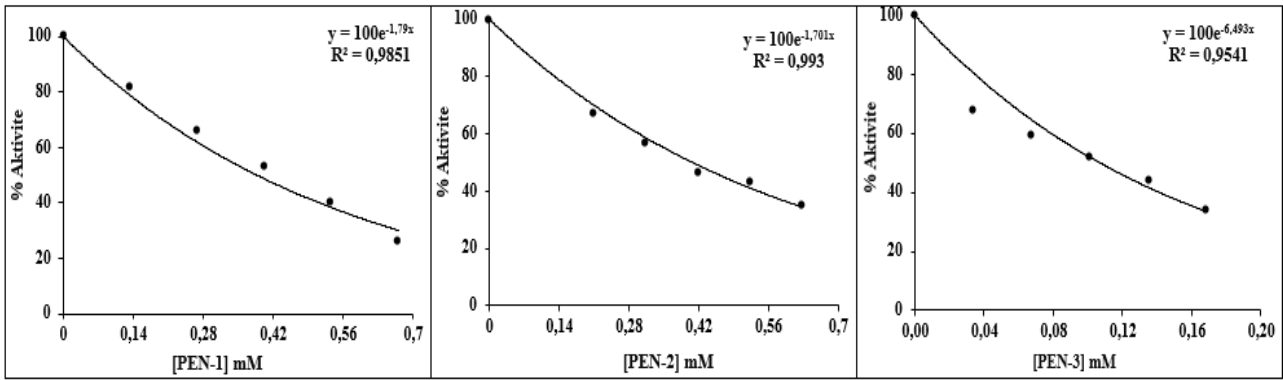
Özellikle hemolitik anemi hastalığı ile ilişkili sitozolik bir izoform olan hCA-I enzimi için D-Penisilamin ve türevlerinin inhibisyon parametreleri ( $IC_{50}$ ,  $K_i$  ve inhibisyon tipleri) belirlendi (Tablo 1).

**Tablo 1.** PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin hCA I-II enzime karşı enzim inhibisyon sonuçları.  
**Table 1.** Enzyme inhibition results of PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 molecules against hCA I-II enzyme.

Molekül	hCA I			hCA II		
	$IC_{50}$ ( $\mu M$ )	$K_i$ ( $\mu M$ )	İnhibisyon tipi	$IC_{50}$ ( $\mu M$ )	$K_i$ ( $\mu M$ )	İnhibisyon tipi
PEN-1	387.21	226.38±24.79	Yarışmalı	563.72	417.88±45.71	Yarışmalı
PEN-2	407.49	193.21±52.89	Yarışmalı	364.87	106.19±13.83	Yarışmalı
PEN-3	106.75	112.52±9.655	Yarışmalı	136.91	69.944±14.44	Yarışmalı
AZA *	0.68	0.71±0.004	Yarışmasız	0.261	0.231±0.002	Yarışmasız

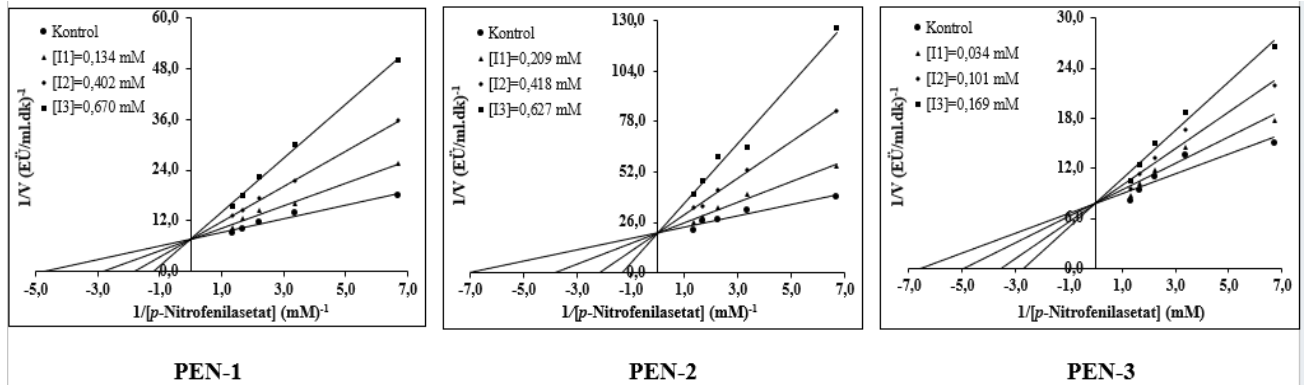
\* Korkmaz, (2023)

Aktivite ölçümleri sonucunda çizilin %Aktivite-[İnhibitör] grafiklerinden (Şekil 3)  $IC_{50}$  değerleri PEN-1 için 387.21  $\mu M$ , PEN-2 için 407.49  $\mu M$  ve PEN-3 için 106.75  $\mu M$  olarak belirlendi.

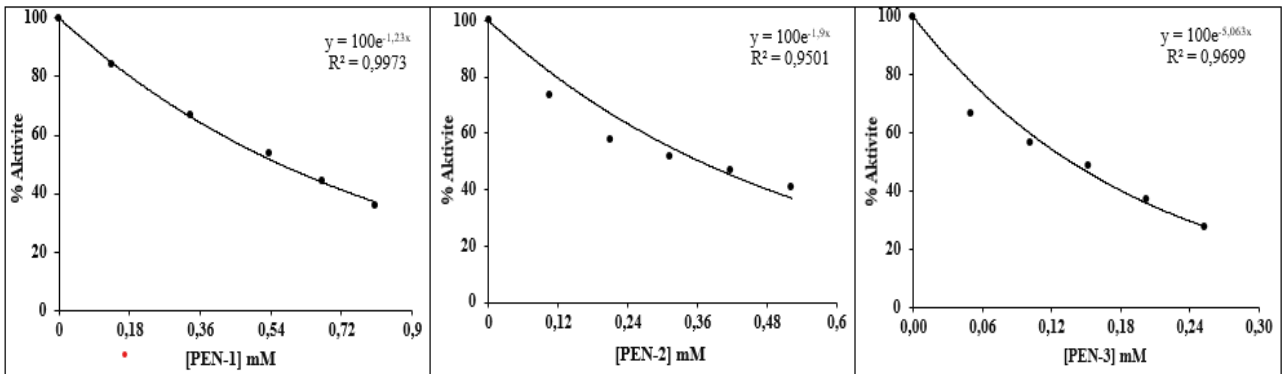


**Şekil 3.** PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin hCA I için  $IC_{50}$  değerleri  
**Figure 3.**  $IC_{50}$  values for hCA I-II of molecules PEN-1, PEN-2 and PEN-3

PEN-1 ve türevlerinin inhibisyon sabitleri ( $K_i$ ), Lineweaver-Burk grafikleri vasıtasıyla hesaplandı (Şekil 4). Bu sabitler, PEN-1 için  $226.38 \pm 24.79 \mu\text{M}$ , PEN-2 için  $193.21 \pm 52.89 \mu\text{M}$  ve PEN-3 için  $112.52 \pm 9.655 \mu\text{M}$  olarak hesaplandı. hCA I için standart madde olan asetozolamid (AZA)  $K$  değeri  $0.71 \pm 0.004 \mu\text{M}$  olarak belirlenmiştir. Çalıştığımız maddeler AZA' dan daha fazla etki göstermemiştir. Bütün penisilamin bileşikleri için inhibisyon türü yarışmalı inhibisyon olduğu belirlendi. Elde edilen sonuçlara göre tüm moleküllerin hCA I enzimini  $\mu\text{M}$  seviyesinde etkili bir şekilde inhibe ettiği, PEN-3 molekülünün ise bunlar arasında hCA I'e karşı en etkili inhibisyon potansiyeline sahip molekül olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.** hCA I enziminin PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 molekülleri için  $1/V$  ve  $1/[S]$  grafikleri (PEN-1, PEN-2, PEN-3)  
**Figure 4.**  $1/V$  and  $1/[S]$  graphs for hCA I enzyme's PEN-1, PEN-2 and PEN-3 molecules (PEN-1, PEN-2, PEN-3)

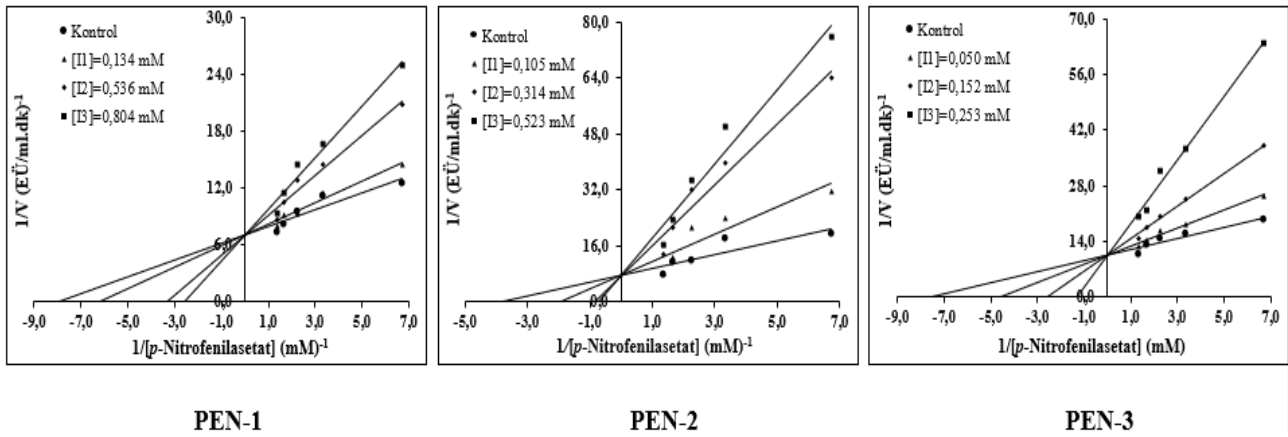


**Şekil 5.** PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin hCA II için  $IC_{50}$  değerleri  
**Figure 5.**  $IC_{50}$  values for hCA II of molecules PEN-1, PEN-2 and PEN-3



Diğer bir sitozolik izozim olan hCA II, başta glokom olmak üzere renal tübüler asidoz, ödem, osteoporoz, epilepsi ve irtifa hastalığı gibi çeşitli hastalıklarda hayati bir rol oynamaktadır. D-Penisilamin ve türevlerinin hCA II üzerindeki inhibisyon sonuçları tablo 1'de özetlenmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi aktivite ölçümleri sonucunda çizilin %Aktivite-[Inhibitör] grafiklerinden (Şekil 5) hCA II enzimi için  $IC_{50}$  değerleri PEN-1 için 563.72  $\mu$ M, PEN-2 için 364.87  $\mu$ M ve PEN-3 için 136.91  $\mu$ M olarak belirlendi.

hCA için yapılan çalışmalar sonucunda çizilen Lineweaver-Burk grafiklerinden (Şekil 6)  $K_i$  sabitleri PEN-1 için 417.88 $\pm$ 45.71  $\mu$ M, PEN-2 için 106.19 $\pm$ 13.83  $\mu$ M ve PEN-3 için 69.944 $\pm$ 14.44  $\mu$ M olarak hesaplandı. hCA II için standart madde olan AZA  $K_i$  0.231 $\pm$ 0.002  $\mu$ M olarak belirlenmiştir. Çalıştığımız maddeler AZA'dan daha fazla etk, göstermemiştir. hCA I enziminde elde edilen sonuçlara benzer bir şekilde bütün bileşikler için inhibisyon türü yarışmalı inhibisyon olarak belirlendi. Aynı şekilde tüm penisilamin molekülleri hCA II enzimini  $\mu$ M seviyesinde etkili bir şekilde inhibe ettiği, PEN-3 molekülü ise bunlar arasında hCA II 'ye karşı en etkili inhibisyon potansiyeline sahip molekül olduğu saptanmıştır.



**Şekil 6.** hCA II enziminin PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 molekülleri için 1/V ve 1/[S] grafikleri (PEN-1, PEN-2, PEN-3)

**Figure 6.** 1/V and 1/[S] graphs for hCA II enzyme's PEN-1, PEN-2 and PEN-3 molecules (PEN-1, PEN-2, PEN-3)

hCA I-II üzerine literatürde yapılmış olan çalışmalara bakıldığında zaman özellikle yeni sentezlenmiş bir çok molekülün inhibisyon parametrelerinin belirlendiği görülmektedir. Bu çalışmalarda, benziliden malonitril türevleri, azido sülfonil karbamat türevleri, tiyofen bazlı sülfonamidler, 2-aminoindan  $\beta$ -laktam türevleri, 1-aminoindanlardan ve anilinlerden türetilen sülfamidler, aminotetralinlerin ve aminoindanların sülfonamid türevleri, benzilsülfamidler, bromofenol türevleri, sülfamid türevleri, fenolik bileşikler, yeni norbomen ile kaynaşmış piridazinler ve pirazolin türevleri gibi birçok sentezlenmiş molekülün hCA I-II enzimlerini etkili bir şekilde inhibe ettiği belirlenmiştir (Akbaba et al., 2013; Akbaba, Akıncıoğlu, et al., 2014; Akbaba, Bastem, et al., 2014; Alm et al., 2020; Genç et al., 2016; Güller, Atmaca, et al., 2021; Güller, Dağalan, et al., 2021; Kocak et al., 2016; Köksal et al., 2019; Kucukoglu et al., 2016). Özellikle organik sentez yapan akademisyenler bu enzimlerin inhibisyonunu hedefleyen moleküllerin dizaynını ve sentezini gerçekleştirmektedir.

Literatürde yeni sentezlenmiş moleküllerin hCA I-II enzimleri üzerine inhibisyon etkilerini belirlemeye yönelik birçok çalışma olmasının yanı sıra bazı hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların inhibisyon etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Durmaz tarafından yapılan bir çalışmada interferon beta-1a (IFN $\beta$ -1a) ilacının insan eritrosit hCA I-II enzimleri üzerine inhibisyon etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma ile hCA I enzimi için  $IC_{50}$  ve  $K_i$  sırasıyla 1.73 ve 0.78  $\pm$  0.21  $\mu$ M olarak hCA II izoenzimi için ise 1.33  $\mu$ M ve 1.46 $\pm$ 0.13  $\mu$ M olarak belirlendiği bildirilmiştir (Durmaz, 2022). Diğer bir çalışmada ise, Argan ve arkadaşları kardiyak ilaçların hCA I ve II enzimleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır.  $IC_{50}$  değerleri, % aktivite- [I] grafiklerinden hesaplanmıştır. En güçlü inhibisyonu Atropin Sülfat (hCA I: 5.86 mM ve hCAI I: 6.59 mM) molekülü gösterdiğini belirlemiştir. Norepinefrin Tartrat (hCA I: 460 mM ve hCA II: 844.45 mM) ise bu moleküller arasında en düşük inhibisyon potansiyeline sahip olduğu rapor edilmiştir (Argan et al., 2022).

PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 moleküllerinin enzim inhibisyonları üzerine yapılmış olan bir çalışmada Özyürek ve arkadaşları sığır sütünden saflaştırılan laktoperoksidaz (LPO) enzimi üzerine bu moleküllerin inhibisyon



parametrelerini belirlemiştir. Yapılan çalışma kapsamında LPO için IC<sub>50</sub> değerleri PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 bileşikleri için sırasıyla 0.584, 0.552 ve 0.207 µM olarak K<sub>i</sub> değerleri ise sırasıyla 1.422±0.288, 1.061±0.462 ve 0.136±0.069 µM olarak hesaplanmıştır. İnhibisyon türleri ise PEN-2 molekülü için yarışmasız iken PEN-1 ve PEN-3 molekülleri için yarışmalı inhibisyon gösterdiği rapor edilmiştir (Özyürek et al., 2020). Sunulan bu makale kapsamında elde edilen sonuçların önceki yapılan çalışmayla hemen hemen benzer sonuçlar gösterdiği görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Sonuç olarak hCA I-II enzimleri öncelikle insan eritrosit hücrelerinden izole edildi. İkinci aşamada ise *in vitro* şartlarda PEN-1, PEN-2 ve PEN-3 molekülleri hCA I-II enzimlerini µM seviyelerde inhibe ettiği belirlendi. İnhibisyon sonuçlarına göre en iyi inhibisyon etkisi gösteren molekül hem hCA I için (IC<sub>50</sub>:106.75; K<sub>i</sub>: 112.52±9.655 µM) hem de hCA II için (IC<sub>50</sub>:136.91; K<sub>i</sub>: 69.944±14.44 µM) PEN-3 molekülü olduğu bulundu. Sonuçlara göre, ileri seviyede *in vivo* ve toksisite çalışmaları ile desteklendikten sonra D-Penisilamin ve türevlerinin CA izozimleri için retina patolojisi, glokom, epilepsi ve beyin ödemi gibi birçok hastalığın tedavisinde faydalı olabileceği düşünülmektedir.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

The manuscript was written by the corresponding author.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

The author declares that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval or legal-specific permission.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Kaynaklar

##### References

- Adem, S., Akkemik, E., Aksit, H., Guller, P., Tüfekci, A. R., Demirtas, İ., & Ciftci, M. (2019). Activation and inhibition effects of some natural products on human cytosolic CAI and CAII. *Medicinal Chemistry Research*, 28, 711-722.
- Akbaba, Y., Akıncioğlu, A., Göçer, H., Göksu, S., Gülçin, İ., & Supuran, C. T. (2014). Carbonic anhydrase inhibitory properties of novel sulfonamide derivatives of aminoindanes and aminotetralins. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 29(1), 35-42.
- Akbaba, Y., Balaydın, H. T., Menzek, A., Göksu, S., Şahin, E., & Ekinci, D. (2013). Synthesis and biological evaluation of novel bromophenol derivatives as carbonic anhydrase inhibitors. *Archiv der Pharmazie*, 346(6), 447-454.
- Akbaba, Y., Bastem, E., Topal, F., Gülçin, İ., Maraş, A., & Göksu, S. (2014). Synthesis and carbonic anhydrase inhibitory effects of novel sulfamides derived from 1-aminoindanes and anilines. *Archiv der Pharmazie*, 347(12), 950-957.
- Akbaba, Y., & Kalin, R. (2022). Design, synthesis, biological evaluation, and *in silico* study of novel urea derivatives as inhibitors of carbonic anhydrase and acetylcholine esterase. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemia*, 67(2).
- Alım, Z., Köksal, Z., & Karaman, M. (2020). Evaluation of some thiophene-based sulfonamides as potent inhibitors of carbonic anhydrase I and II isoenzymes isolated from human erythrocytes by kinetic and molecular modelling studies. *Pharmacological Reports*, 72, 1738-1748.
- Argan, O., Çıkrıkçı, K., & Gencer, N. (2022). Sıvı kardiyak ilaçların karbonik anhidraz I ve II izoenzimleri üzerindeki etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 545-554.

- Bhushan, R., & Kumar, R. (2010). Enantioresolution of dl-penicillamine. *Biomedical Chromatography*, 24(1), 66-82.
- Bibi, S., Javed, T., Alam, F., Ali, A., Ali, S., Ullah, M., Asad, H. Bin, Hassham, M., Hasan, F., & Muhammad, S. (2019). Therapeutic potential of carbonic anhydrase inhibitors. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 32(2).
- Budimir, A. (2011). Metal ions, Alzheimer's disease and chelation therapy. *Acta Pharmaceutica*, 61(1), 1-14.
- Chipiso, K., Duca, T., & Simoyia, R. H. (2019). Kinetics and mechanism of oxidation of N-acetyl-d-penicillamine in acidified iodate and aqueous iodine. *South African Journal of Chemistry*, 72, 1-9.
- Chong, C. R., & Auld, D. S. (2000). Inhibition of carboxypeptidase A by D-penicillamine: mechanism and implications for drug design. *Biochemistry*, 39(25), 7580-7588.
- Durmaz, L. (2022). İnterferon Beta-1a ilacının enzim inhibisyon etkilerinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 2331-2339.
- Friedman, M. (2004). Applications of the ninhydrin reaction for analysis of amino acids, peptides, and proteins to agricultural and biomedical sciences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(3), 385-406.
- Genç, H., Kalin, R., Köksal, Z., Sadeghian, N., Kocyigit, U. M., Zengin, M., ... & Özdemir, H. (2016). Discovery of potent carbonic anhydrase and acetylcholinesterase inhibitors: 2-aminoindan  $\beta$ -lactam derivatives. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1736.
- Gulcin, I., & Beydemir, S. (2013). Phenolic compounds as antioxidants: carbonic anhydrase isoenzymes inhibitors. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(3), 408-430.
- Güller, P., Atmaca, U., Güller, U., Çalışır, U., & Dursun, F. (2021). Antibacterial properties and carbonic anhydrase inhibition profiles of azido sulfonyl carbamate derivatives. *Future Medicinal Chemistry*, 13(15), 1285-1299.
- Güller, P., Dağalan, Z., Güller, U., Çalışır, U., & Nişancı, B. (2021). Enzymes inhibition profiles and antibacterial activities of benzylidenemalononitrile derivatives. *Journal of Molecular Structure*, 1239, 130498.
- Jonsson, B. H., & Liljas, A. (2020). Perspectives on the classical enzyme carbonic anhydrase and the search for inhibitors. *Biophysical Journal*, 119(7), 1275-1280.
- Karioti, A., Carta, F., & Supuran, C. T. (2016). Phenols and polyphenols as carbonic anhydrase inhibitors. *Molecules*, 21(12), 1649.
- Kark, R. A. P., Poskanzer, D. C., Bullock, J. D., & Boylen, G. (1971). Mercury poisoning and its treatment with N-acetyl-D, L-penicillamine. *New England Journal of Medicine*, 285(1), 10-16.
- Kazancı, A., Gök, Y., Kaya, R., Aktaş, A., Taslimi, P., & Gülçin, İ. (2021). Synthesis, characterization and bioactivities of dative donor ligand N-heterocyclic carbene (NHC) precursors and their Ag (I) NHC coordination compounds. *Polyhedron*, 193, 114866.
- Kean, W. F., Howard-Lock, H. E., & Lock, C. J. L. (1991). Chirality in antirheumatic drugs. *The Lancet*, 338(8782-8783), 1565-1568.
- Kocak, R., Akın, E. T., Kalın, P., Talaz, O., Saracoglu, N., Dastan, A., Gülçin, İ., & Durdagi, S. (2016). Synthesis of some novel norbornene-fused pyridazines as potent inhibitors of carbonic anhydrase and acetylcholinesterase. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 53(6), 2049-2056.
- Korkmaz, I. N. (2023). 2-Amino thiazole derivatives as inhibitors of some metabolic enzymes: An in vitro and in silico study. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 70(2), 659-669.
- Köksal, Z., Alım, Z., Bayrak, S., Gülçin, İ., & Özdemir, H. (2019). Investigation of the effects of some sulfonamides on acetylcholinesterase and carbonic anhydrase enzymes. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 33(5), e22300.
- Kucukoglu, K., Oral, F., Aydin, T., Yamali, C., Algul, O., Sakagami, H., Gulcin, I., Supuran, C. T., & Gul, H. I. (2016). Synthesis, cytotoxicity and carbonic anhydrase inhibitory activities of new pyrazolines. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31(sup4), 20-24.

- Kumar, S., Rulhania, S., Jaswal, S., & Monga, V. (2020). Recent advances in the medicinal chemistry of carbonic anhydrase inhibitors. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 112923.
- Laemmli, D. K. (1970). Cleavage of structural proteins during in assembly of the head. *Nature*, 227, 680–683.
- Munro, R., & Capell, H. A. (1997). Penicillamine. *British Journal of Rheumatology*, 36(1), 104–109.
- Özyürek, İ., Kalın, R., & Özdemir, H. (2020). D-Penisilamin, D-Penisilamin disülfid ve N-Asetil-D-penisilamin'in Laktoperoksidaz Enzim Aktivitesi Üzerine İnhibisyon Etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1146–1153.
- Phelps, D. L., Lakatos, L., & Watts, J. L. (2000). D-Penicillamine for preventing retinopathy of prematurity in preterm infants. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD001073–CD001073.
- Supuran, C. T. (2020). An update on drug interaction considerations in the therapeutic use of carbonic anhydrase inhibitors. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*, 16(4), 297–307.
- Verpoorte, J. A., Mehta, S., & Edsall, J. T. (1967). Esterase activities of human carbonic anhydrases B and C. *Journal of Biological Chemistry*, 242(18), 4221–4229.

## Çocuk parklarından toplanan yüzey tozlarında element seviyelerinin ve sağlık risklerinin değerlendirilmesi

*Assessment of element levels and health risks in playgrounds surface dust*

Ayçacan KAYA<sup>1</sup> , Melik KARA<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tinaztepe Yerleşkesi, Buca, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 20.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

### Öz

Çocuk parkları, çocukların zamanlarının önemli bir kısmını geçirdiği, oyun oynadığı ve sosyalleştiği alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak kent merkezlerinde yer alan oyun parkları hem kentteki kirletici kaynaklardan hem de yapılarında kullanılan malzemelerden salınan emisyonlardan etkilenmektedirler. Bu çalışma çocuk parklarında maruz kalınan element seviyelerinin belirlenmesi ve bu elementlerin oluşturduğu potansiyel sağlık risklerinin hesaplanması için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada İzmir'in Buca ilçesindeki çocuk parklarından 28 park seçilerek yüzey tozu örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerde 25 elementin enstrümantal analizleri gerçekleştirilerek konsantrasyonları belirlenmiş ve parkların taban kaplamasına (kauçuk, beton ve kum) göre değerlendirilmiştir. En yüksek element konsantrasyonları kauçuk kaplamalı parklarda ve özellikle Zn, Ba, Cu, Pb, Co ve Sb elementleri için belirlenmiştir. Diğer taraftan çocuk parklarından toplanan yüzey tozundaki toksik özelliklere sahip elementlere maruziyet sonucunda oluşabilecek sağlık etkileri (kanserojen olmayan riskler ve kanser riskleri) ABD Çevre koruma ajansının (EPA) yayınladığı model kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre Co ve As elementleri için kanserojen olmayan sağlık risklerini temsil eden tehlike indeksi değeri sınır değere çok yakın hesaplanırken toplam tehlike indeksi değeri ise sınır değeri aşmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Elementler, İzmir, Oyun parkları, Sağlık risk değerlendirilmesi

### Abstract

Playgrounds are the areas where children spend a significant part of their time, play games and socialize each other. However, playgrounds located in city centers are affected by the emissions released from both the materials used in their structures and pollutant sources in the city. This study was carried out to determine exposed element concentrations and to figure out the potential health risks posed by toxic elements. In the study, surface dust samples were collected from 28 playgrounds in Buca, Izmir. The concentrations of 25 elements were determined and evaluated according to the floor covering (rubber, concrete and sand) of the playgrounds. The highest element concentrations were measured in rubber coated playgrounds and especially for Zn, Ba, Cu, Pb, Co and Sb elements. On the other hand, the health risks (non-carcinogenic risks and cancer risks) were determined using the model published by the US Environmental protection agency (EPA). The non-carcinogenic risks of Co and As were found close to limit value but total Hazard index (HI) of elements was calculated higher than safe limit for children.

**Keywords:** Elements, Izmir, Playgrounds, Health risk assessment

\* Melik KARA; melik.kara@deu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Çevre kirliliği, özellikle gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere bugünün dünyasında fiziksel ve biyolojik ortamları dolayısıyla canlı yaşamını etkileyen en dikkate alınması gereken konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda ortaya çıkan hızlı nüfus artışı, kentleşme oranındaki artış, bireysel ulaşımın artması, sanayileşme ve toplumsal mobilizasyona bağlı olarak özellikle kentsel ortamlarda hava, su ve toprak kirliliği ciddi boyutlara ulaşmaktadır (Onder & Dursun, 2006; Lu vd., 2014; Shi & Lu, 2018; Font vd. 2019; Güzel & Canlı, 2023; Naimoglu & Akal, 2023). Çevre kirliliğine neden olan birçok kirletici madde farklı faaliyetler sonucunda çevresel ortamlara karışmakta ve bu ortamlar arasında geçiş yaparak kirletici miktarlarının ve etkilerinin artmasına neden olmaktadır (Kabata-Pendias, 2000).

Kent merkezlerinde organik ve inorganik kirleticiler özellikle yüzey tozlarında birikim gösterebilmektedir. Yüzey tozları veya cadde tozları olarak adlandırılan bu tozlar, dış mekânlarda ve geçirimsiz malzemelerin yüzeyinde biriken katı, sıvı ve gaz halindeki bileşenlerin etkileşiminden kaynaklanan katı parçacıklardır (Asampson vd., 2011). Kentsel yüzey tozları, yaşam alanlarındaki endüstriyel faaliyetlerden (fosil yakıt yakımı, madencilik faaliyetleri ve sanayi prosesleri), ulaşım ve trafikle ilgili faaliyetlerden (egzoz, yol aşınması, lastik ve fren emisyonları), belediye aktivitelerinden (sosyal etkinlikler, çevre düzenlemesi, çöplerin toplanması ve bertarafı), inşaat faaliyetlerinden (yıkım ve yeniden inşaat çalışmaları) ve günlük evsel faaliyetlerden (ilaçlama, boyama, eşya kullanımı) kaynaklanabilmektedir (Schwarz vd., 2016; Wang vd., 2016; Nezat vd., 2017).

Yüzey tozlarında bulunan toksik ve kalıcı kirleticiler arasında elementler ve ağır metaller de önemli bir yer teşkil etmektedir (Li vd., 2004). Kentlerde yaşayan yerleşimciler yüzey tozları yoluyla sıklıkla elementlere ve ağır metallere maruz kalmakta ve bunun sonucunda sağlıkları olumsuz olarak etkilenmektedir. Yüzey tozundaki elementler insan vücuduna doğrudan soluma, yutma ve cilt teması yolları ile girmektedir (EPA, 2002; RAIS, 2017). Biyolojik, fizyolojik ve sosyal koşullara bağlı olarak toplum içindeki farklı yaş grupları, bireysel olarak element kirliliğinden farklı şekillerde etkilenebilmektedir. Özellikle erken çocukluk, insan organizmasının beyin ve vücut gelişimi en hızlı olduğu dönemdir ve bağışıklık sistemi bu dönemde gelişmeye devam etmektedir (do Nascimento vd., 2014). Buna bağlı olarak oksijen ve besin ihtiyacı daha yüksek olmakta, bu da çocukların yetişkinlerden daha yoğun bir şekilde yediği, içtiği ve nefes aldığı anlamına gelmektedir (WHO, 2006; Mielke vd., 2011).

Çocukların yaşam ve hareket alanları küçük ve kısıtlı alanlar olduğu için sürekli olarak aynı kirlilik seviyelerine maruz kalmaktadırlar (Kumpiemi vd., 2011). Ev dışındaki zamanlarının büyük bölümünü okullarda (ilkokul, anaokulu, kreş) veya bu alanlara yakın çocuk parklarında geçiren çocukların kirli yüzeylerle ve yüzey tozlarıyla temas etme riski daha yüksektir (Tepanosyan vd., 2017). Boylarının kısa olmasından dolayı zemine daha yakın olmaları, oyunları esnasında yüzey toprağını ve tozu sık sık el-ağız hareketleri ile yutmaları ve/veya yerle temas eden yiyecekleri yedikleri için önemli miktarda günlük element alımına maruz kalmaktadırlar (Staneek III & Calabrese, 1995; Ottesen vd., 2008).

Biyolojik olarak parçalanmayan ve toksik etkisi olan Pb, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd gibi elementler insan sağlığı üzerinde etkili olabilmektedir (EPA, 1996). Bu elementler insan vücudundaki yağ dokularında birikerek merkezi sinir sistemini etkileyebilir ya da dolaşım sistemine girerek iç organlarımızda işlevi bozukluklarına sebep olabilmektedirler (Knasmüller vd., 1998; Denier vd., 2009). Ayrıca bu elementler DNA hasarına neden olarak, özellikle As, Cd, Cr elementleri, mutajenik ve kanserojen etkiler oluşturabilmektedirler (Valko vd., 2006; Yang vd., 2022; Florez-Garcia vd., 2023).

Toksiklik potansiyeli bulunan elementlerin kimyasal türlerine ve ortamdaki seviyelerine bağlı olarak kirlilik ve ekolojik risk değerlendirmeleri için farklı yaklaşımlar birçok çalışmada kullanılmaktadır (Liu vd., 2019). Zenginleştirme faktörü (EF), kirlilik indeksi (Zc) (Demetriades, 2011), jeobirikim indeksi (Igeo) (Ma & Singhirunnusorn, 2012; Pan vd., 2017) ve ekolojik risk indeksi (Er) elementlerin kirlilik ve ekolojik risk değerlendirmeleri için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Diğer taraftan toksik maddelere maruziyet sonucunda oluşan sağlık etkilerinin belirlenmesine yönelik ABD Çevre koruma ajansı tarafından geliştirilen Risk Değerlendirme Bilgi Sistemi (RAIS) modeli de yaygın olarak kullanılmaktadır. Model sonucunda elementlerin toksikolojik profillerine göre insanlar üzerinde oluşturabilecekleri hem kanserojen olmayan hem de kanserojen riskler belirlenmektedir (WHO, 2011; RAIS, 2017).

Elementlerin olumsuz sağlık risklerinden etkilenmeyi azaltmak ve maruz kalmayı önlemek için kirlilik etkisinde kalan alanlarda seviyelerin izlenmesi ve potansiyel risklerin değerlendirilerek iyileştirme programlarının uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada sağlık açısından daha hassas olan çocukların sıklıkla vakit geçirdiği çocuk parklarından toplanan yüzey tozlarındaki element seviyeleri incelenmiş, farklı özelliklere sahip parklardaki değişimler değerlendirilmiştir. Ayrıca elementlerin oluşturduğu çevresel birikim ve risk değerlendirmesi analizleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Çalışma alanı

##### 2.1. Study area

Çalışma Türkiye'nin üçüncü büyük kenti olan İzmir ilinin en yoğun merkez ilçelerinden Buca ilçesi kent merkezinde gerçekleştirilmiştir. Buca ilçesi İzmir'in en hızlı gelişen ilçeleri arasında olup son yıllardaki yoğun göçler nedeniyle nüfusu 517963 kişiye ulaşarak en kalabalık ilçe konumuna ulaşmıştır. Gerek kırsal gerekse kentsel yaşamın iç içe geçtiği bölge aldığı göçler nedeniyle birçok farklı bölgesel kültürü bünyesinde barındırmaktadır. Ayrıca ilçe İzmir'in en büyük üniversitelerinden birinin birçok kampüsünü de içermektedir. İzmir'in güneydoğusunda Nif dağı eteklerinde yer alan ilçe 221 km<sup>2</sup> yüzölçümüne ve 38 m rakıma sahiptir. Hafif engebeli bir bölgede yer alan ilçede tipik Akdeniz iklimi etkisini göstermektedir (Buca, 2023).

#### 2.2. Örnekleme ve element analizleri

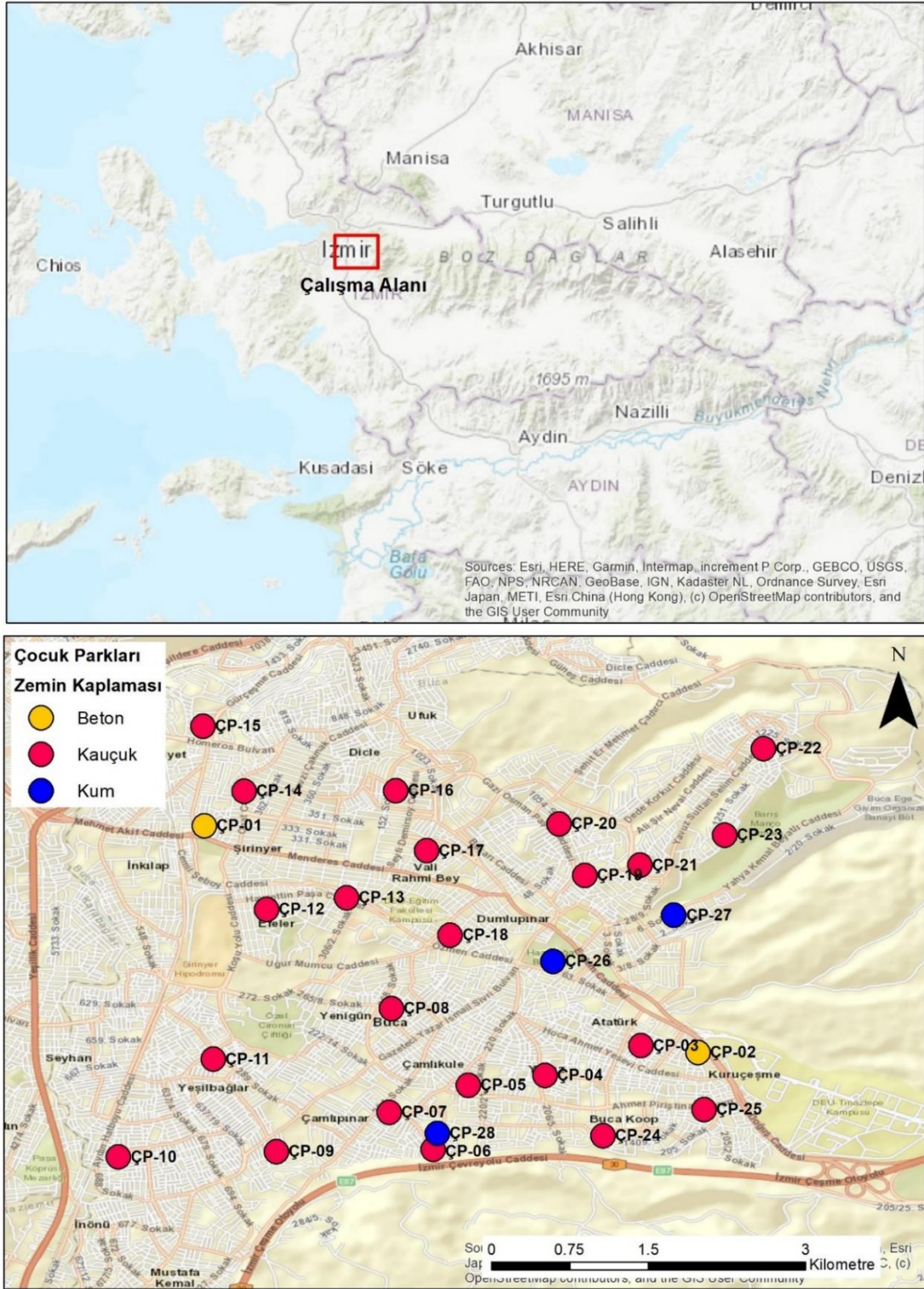
##### 2.2. Sampling and analysis

Çalışmada Buca ilçesinde yer alan yaklaşık 90 çocuk parkı arasından yerel dağılımları, büyüklükleri ve kullanım yoğunlukları dikkate alınarak 28 park seçilmiş olup bu parklar kaplamalı ve kaplamasız zemin olarak iki kategoriye ayrılmıştır. Örnekleme yapılan parklardan 3 park kum zemine, 2 park beton zemine ve kalan 23 park ise sentetik kauçuk kaplamalı zemine sahiptir.

Türkiye genelinde yaygın olarak kullanıldığı gibi örnekleme yapılan çocuk parklarında da kullanılan kaplama malzemesi SBR (Stiren Bütadien Rubber) modüler veya dökme sentetik kauçuk malzemedir. Darbe emici ve esneklik özelliğinin yanı sıra travmatik yaralanmaların etkisini de azalttığı için çocuk oyun alanlarında, spor alanlarında, bisiklet yollarında, koşu ve yürüyüş parkurlarında sıklıkla kullanılmaktadır. SBR kauçuk genellikle kauçuk ürünlerin (otomobil lastiği, araç kaplamaları, konveyör bantları, ayakkabı tabanları vb.) geri dönüşümden elde edilen hammaddeler kullanılarak üretilmektedir. Gerek dökme gerekse modüler olarak üretimi esnasında SBR yapıştırıcı maddeler kullanılmaktadır. SBR kauçuk aşınmaya, ışığa ve ısıya karşı daha düşük dirence sahip olduğu için bazı uygulamalarda yüzeyi diğer bir sentetik kauçuk olan EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) kauçuk ile kaplanarak hem renklendirilmekte hem de dış etkilere karşı direnci artırılmaktadır (Martin-Martinez, 2002). SBR üretiminde fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzenlemek için bazı ilave katkı maddeleri ve yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu amaçla yoğunluk artırıcı olarak barit (BaSO<sub>4</sub>), renk oluşturmak için titanyum dioksit, demir oksitler, antimon, selenyum ve kadmiyum bileşikler, dolgu maddesi olarak kalsiyum karbonat, alüminyum florit ve silisyum, viskozite düzenleyici ve aşınmalara karşı direnç artırıcı olarak çinko oksit (ZnO), sabitleyici olarak fosfor bazlı bileşikler ve kürlenmeyi hızlandırmak için çinko, kurşun, magnezyum, kalsiyum, kadmiyum, bizmut veya bunların oksitleri kullanılmaktadır (Zou vd., 2016; Li vd., 2019; Sun vd., 2019).

Çalışmada element seviyelerinin belirlenmesi için toplanan yüzey tozu örnekleri uzun dönem birikimin sağlanması için henüz yağışların başlamadığı Ekim 2022 tarihinde toplanmıştır. Şekil 1'de çalışma alanı ve örnekleme yapılan parkların yerleşimi, Şekil 2 de ise örnekleme yapılan bazı parklara ait görseller verilmektedir.





**Şekil 1.** Çalışma alanı ve örnekleme yapılan çocuk parkları  
*Figure 1.* Study area and the playgrounds which in collecting samples



**Şekil 2.** Örneklemeye yapılan bazı parklara ait görseller  
**Figure 2.** The images from some playgrounds

Yüze tozu örnekleri park alanının büyük bir kısmını kapsayacak şekilde yaklaşık 100-250 gr toz park tabanından ve park oyuncaklarının yüzeylerinden plastik fırça ve kürek yardımıyla süpürülerek kompozit olarak toplanmıştır. Sahada örnek içinde bulunan bitki kökleri, dallar ve taşlar gibi maddeler ayıklanarak polipropilen poşetler içine konulup laboratuvara taşınmıştır. Alınan örnekler içeriklerinin bozulmaması için buzdolabında 4 °C'de analiz edilinceye kadar muhafaza edilmiştir. Toz örnekleri nem içeriklerinin uzaklaştırılması için etüvde 48 saat boyunca 40 °C'de kurutulmuş ve ardından 0.5 mm çapında plastik elekten geçirilmiştir. Elenmiş örnekten analiz için 0.5 gr numune 0.1 mg hassasiyetle hassas terazi (GEC Avery, Model VA-304) kullanılarak tartılmıştır. Tartılan örnekler teflon kaplara alınıp üzerine 9 ml nitrik asit, 3 ml hidroklorik asit, 0.5 ml hidroflorik asit eklenerek kapalı sistem mikrodalga çözünürleştirme ünitesi kullanılarak parçalanmıştır (EPA, 2007; Kara vd., 2014). Parçalanmış örnekler deiyonize su (18,2 MΩ/cm) ile 50 ml'ye seyreltilmiştir. Örnekler analiz öncesi 0,45 µm PTFE filtreden süzülmüştür. 30 adet elementin enstrümental analizleri Agilent 7700x (HMI, High Matrix Introduction modüllü) model ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi) cihazında gerçekleştirilmiştir.

Analizler öncesinde cihazın optimum ayarlamalarının sağlanması için ayarlama çözeltisi (Tune solution) kullanılarak yüksek hassasiyet değerlerinin oluşması sağlanmıştır. Her bir element için en az 7 noktalı kalibrasyon eğrileri çizilmiştir; kalibrasyon eğrisinin doğruluğunu ve analizler sırasında herhangi bir kirlilik bulaşmasını kontrol etmek amacıyla da kalibrasyon sonrası ve her on örnekte bir Sürekli Kontrol Doğrulama (Continuing Check Verification (CCV), High Purity Standarts) standardı cihazda okunmuştur. Bunun yanı sıra analizlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak amacıyla sertifikalı referans malzeme de (CRM030-50G Trace Metal-Sandy Loam Sigma-Aldrich RTC, Inc.) analizlerin hazırlanmasında kullanılan prosedür ile parçalanarak okumaları yapılmıştır. Tablo 1'de sertifikalı referans malzeme analiz sonuçları ve geri kazanım oranları verilmiştir. Eş zamanlı olarak kör numuneler de hazırlanmış ve elementlerin hem reaktiflerdeki değerlerini belirlemek için hem de her bir elementin gözlenebilirlik (LOD) ve tayin sınırını (LOQ) hesaplamak



için kör numunelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. [Wenzl vd. \(2016\)](#) ya göre hesaplanmış her bir elementin gözlenebilme ve tayin sınırı değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Sertifikalı referans malzeme analiz sonuçları (mg/kg) ve geri kazanım oranları  
*Table 1.* The analysis results of certificated reference material (mg/kg) and recovery values

Element	Sertifika değeri	Analiz değeri	Geri kazanım oranı	Element	Sertifika değeri	Analiz değeri	Geri kazanım oranı
Al	4810	4151.2 ± 96.2	%86.3 ± 2.0	Mg	2470	2616 ± 126	%105.9 ± 5.1
As	13.1	13.4 ± 0.2	%102.3 ± 1.8	Mn	127	133.7 ± 1.5	%105.3 ± 1.2
Ba	56.1	61.9 ± 3.6	%110.3 ± 6.4	Mo	8.78	9.3 ± 0.2	%105.6 ± 1.9
Ca	14200	13379 ± 179	%94.2 ± 1.3	Na	997	896.7 ± 32.1	%89.9 ± 3.2
Cd	58.4	53.6 ± 0.2	%91.8 ± 0.4	Ni	6.63	6.6 ± 0.2	%100.1 ± 3.1
Cr	43.8	49.1 ± 1.2	%112.2 ± 2.8	Pb	7.13	8.0 ± 0.3	%112.1 ± 4.8
Cu	5.68	5.8 ± 0.2	%102.0 ± 2.8	Se	18.5	18.5 ± 0.4	%99.7 ± 1.9
Fe	8320	9337 ± 434	%112.2 ± 5.2	V	29	32.1 ± 1.6	%110.8 ± 5.5
K	1480	1373.3 ± 50.3	%92.8 ± 3.4	Zn	74.8	72.1 ± 1.7	%96.4 ± 2.3

**Tablo 2.** Her bir element için hesaplanan gözlenebilme (LOD) ve tayin sınırını (LOQ) değerleri (mg/kg)  
*Table 2.* The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) for the analyzed elements (mg/kg)

Element	LOD	LOQ	Element	LOD	LOQ	Element	LOD	LOQ
Al	7.37	24.32	K	1.89	6.25	Sb	0.02	0.07
As	0.31	1.02	Mg	1.90	6.28	Se	0.07	0.22
Ba	0.53	1.74	Mn	2.75	9.08	Si	530.5	1750.6
Ca	24.5	81.0	Mo	0.05	0.17	Sn	0.05	0.18
Cd	0.02	0.06	Na	7.92	26.13	Sr	0.72	2.37
Co	0.14	0.45	Ni	0.34	1.12	Tl	0.06	0.19
Cr	0.47	1.56	P	2.80	9.25	V	0.38	1.25
Cu	0.42	1.40	Pb	0.42	1.38	Zn	0.80	2.64
Fe	20.2	66.8						

### 2.3. İstatiksel analizler, kirlilik ve sağlık riskleri değerlendirme yöntemleri

#### 2.3. Statistical analysis, methods of pollution and health risk assessments

Örnekleme ve analizler sonucunda elde edilen analitik verilerin işlenmesi için istatistiksel yöntemler kullanılarak veriler değerlendirilmiştir. Ortalama, medyan, standart sapma gibi standart istatistiksel parametreler hesaplanmıştır. Toz örneklerindeki element konsantrasyonlarının istatistiksel analizleri için IBM SPSS v25 yazılımı kullanılmıştır.

Farklı ortamlarda belirlenen elementlerin doğal (yer kabuksal) veya antropojenik kökenlerini tanımlamak ve antropojenik etkilerin derecesini değerlendirmek için Zenginleşme Faktörü (EF) kullanılmaktadır ([Sakan vd., 2009](#); [Malvandi, 2017](#); [Vlasov vd., 2021](#)). Zenginleşme faktörü, ölçümü yapılan element seviyelerinin doğal olarak yer kabuğunda bulunan seviyeleri ile Al ve Fe gibi ([Karbassi vd., 2008](#); [Amin vd., 2009](#)) referans elementlere oranlanmasıyla belirlenir.

$$EF = \frac{(C_{\text{element}}/C_{\text{Referans}})_{\text{numune}}}{(C_{\text{element}}/C_{\text{Referans}})_{\text{kabuk}}} \quad (1)$$

Denklem 1’de  $(C_{\text{element}}/C_{\text{Referans}})_{\text{numune}}$ , ölçülen element konsantrasyonunun, toz örneğindeki referans elementin konsantrasyonuna oranıdır.  $(C_{\text{element}}/C_{\text{Referans}})_{\text{kabuk}}$  ise aynı elementin doğal olarak yer kabuğundaki referans elementin konsantrasyonuna oranıdır. Yer kabuğunun üst kabuk değerleri ([Taylor & McLennan, 1995](#)) referans değerler olarak kullanılıp toz örnekleri için EF değerleri hesaplanmıştır. Yaygın olarak kullanıldığı için zenginleştirme faktörü hesaplarında Alüminyum referans element olarak seçilmiştir. Toz örneklerine antropojenik katkıların derecesini değerlendirmek için beş kategori kullanılmaktadır. Bu kategoriler; minimum zenginleşme ( $EF < 2$ ), orta zenginleşme ( $2 < EF \leq 5$ ), şiddetli zenginleşme ( $5 < EF \leq 20$ ), çok yüksek zenginleşme ( $20 < EF \leq 40$ ) ve son derece yüksek zenginleşme ( $40 < EF$ )’dir ([Kara vd., 2014](#)).

Çocuk parklarından toplanan yüzey tozundaki toksik özelliklere sahip elementlere maruziyet sonucunda oluşabilecek sağlık etkilerinin (kanserojen olmayan riskler ve kanser riskleri) belirlenmesi için ABD Çevre koruma ajansının (EPA) Maruz Kalma Faktörleri El Kitabı'ndan verilen model kullanılmıştır (EPA, 2011). Model sonucunda elementlerin toksikolojik profillerine göre çocuklar üzerinde oluşturabilecekleri hem kanserojen olmayan hem de kanserojen riskler belirlenmektedir (WHO, 2011; RAIS, 2017). Bu modele göre elementlere maruziyet potansiyel olarak üç yolla gerçekleşebilmektedir. Bu yollar; toz parçacıklarının doğrudan yutulması, havada süspansiyon haline gelmiş parçacıkların ağız ve burun yoluyla solunması ve açıkta kalan cilt yüzeylerine yapışan parçacıklardan elementlerin dermal yolla emilmesidir.

Kümülatif kanserojen olmayan riskler için, olası maruz kalma yollarındaki maruziyet dozunun hesaplanmasına dayalı olarak her bir maruz kalma yolu (yutma, soluma ve deri teması) için tehlike katsayısı (HQ) hesaplanmaktadır. Tehlike indeksi (HI), birden fazla madde ve/veya çoklu maruz kalma yolları için tehlike katsayılarının (HQ) toplamıdır (EPA, 1989). HI değerinin 1'den küçük olması kanserojen olmayan etki riskinin olmadığını gösterirken, HI değerinin 1'den büyük olması kanserojen olmayan risk etkilerinin ortaya çıkabileceğini gösterir. Kanserojen riskler ise bireyin yaşamı boyunca kanserojen tehlikelere maruz kalması sonucu herhangi bir kanser türünün gelişme olasılığıdır. IARC (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı) tarafından tanımlanan sınıflandırma gruplarına göre arsenik (As), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), krom (Cr) ve bunların bileşikler sınıf I kanserojen elementlerdir (IARC, 2011). Bu nedenle bu çalışmada bu elementler dikkate alınarak kanserojen riskler hesaplanmıştır. Genel olarak EPA risk yönetimi için hesaplanan kanser risk değeri  $10^{-6}$ 'nın altında ise kanserojen riskin önemsiz olarak değerlendirilebileceğini ve  $10^{-4}$ 'ün üzerinde ise kanserojen riskin insanlar üzerinde etkili olabileceğini öngörmektedir (EPA, 1989, 2004, 2009).

Çalışmada çocuklar için kanserojen olmayan riskler ve kanserojen risklerin hesaplanmasında kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmektedir. Parametreler için literatür değerleri kullanılırken, maruziyet ile ilgili değerler için ise bölgesel olarak 2-12 yaş arası çocukların ortalama yılın 9 ayı ve maksimum günlük 6 saat zaman geçirdiği kabul edilmiştir. Sağlık risklerinin hesaplanmasında elementlerin maruziyet konsantrasyonu, "makul maksimum maruz kalmanın" bir tahmini olarak kabul edilmektedir (EPA, 1989, 2002) ve ortalamanın %95 güven aralığının üst sınırınıdır. Bu çalışmada bu konsantrasyonlar USEPA (EPA, 2015) tarafından desteklenen ProUCL 5.2 yazılımı kullanılarak her element için %95 üst güven sınırı (UCL) olarak hesaplandı (Barnett vd., 2022).

Bu çalışmada Zn, As, Pb, Co, Mn, Ni, Mo, Cu, Sn, Sb, Se ve Cd insan sağlığı açısından potansiyel tehlikeli maddeler olarak belirlenmiştir. Bu elementlerin toksikolojik profillerine göre (US DOE, 2011; EPA, 2011a), hepsinin insanlar üzerinde toksikolojik sağlık etkileri vardır ve bazıları kanserojendir (Cd, Cr, Ni, As ve Pb hem kanserojen olmayan hem de kanserojen risklere neden olur) (EPA, 2002, 2011b; WHO, 2011).

**Tablo 3.** Toksik elementlerin potansiyel sağlık risklerini tahmin etmek için kullanılan parametreler  
*Table 3. The parameters using to estimate the potential health risks of elements*

Parametre	Açıklama	Değer	Referans
Konsantrasyon	C (concentration of elements)	95%UCL	Bölgesel Değer
Yutma Oranı	IngR (ingestion rate)	200 mg/gün	EPA (2002)
Soluma Oranı	InhR (inhalation rate)	7.6 m <sup>3</sup> /gün	Van den Berg (1995)
Maruziyet Sıklığı	EF (exposure frequency)	270 gün/yıl	Bölgesel Değer
Maruziyet Süresi	ED (exposure duration)	10 yıl	Bölgesel Değer
Oyun zamanı	ET (event time)	6 saat	Bölgesel Değer
Maruz kalan cilt alanı	SA (exposure skin area)	2800 cm <sup>2</sup>	EPA (2001)
Cilt yapışma faktörü	SL (skin adherence factor)	0.2 mg/cm <sup>2</sup> gün	EPA (2001)
Dermal absorpsiyon faktörü	ABS (dermal absorption factor)	0.001 0.03 (arsenik için)	RAIS (2017)
Partikül emisyon faktörü	PEF particle emission factor	1.36 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /kg	EPA (2001)
Ortalama vücut ağırlığı	BW average body weight,	15 kg	EPA (1989)
Ortalama zaman	AT average time	ED x 365	RAIS (2017)

### 3. Bulgular

#### 3. Results

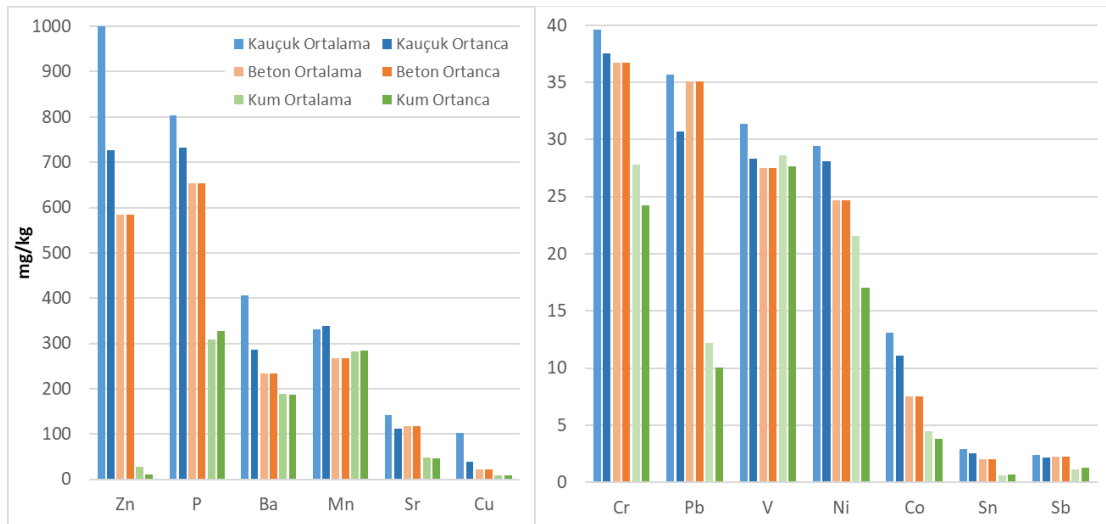
#### 3.1. Yüzey tozu örneklerinde element konsantrasyonları

##### 3.1. Element concentrations in surface dust samples

Çocuk oyun alanlarından toplanan yüzey toz örneklerinde element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik bilgileri (ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum) parkların kaplama durumuna göre ayrı ayrı olarak Tablo 4'te verilmiştir. Ca, Si, Fe, Al, K, Mg ve Na gibi doğal olarak toprakta yüksek miktarlarda bulunan elementler en yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüş ve tabanın kaplama durumuna göre büyük farklılıklar göstermemiştir. Bu elementleri yüksek konsantrasyonlar açısından sırasıyla yüksek seviyeden daha düşük seviyeye Zn, P, Ba, Mn, Sr, Cu, Cr ve Pb izlemiştir. Bu elementler arasında P ve Sr gibi doğal kaynaklı elementlerin yanı sıra Zn, Ba ve Mn gibi antropojenik kaynaklardan gelen elementler de yer almaktadır.

Yüzey tozlarında ölçülen Ca, Si, Fe, Al, K, Mg ve Na konsantrasyonları tabanın kaplamalı veya kaplamasız olmasına bağlı olarak herhangi bir değişiklik göstermezken; Zn, Ba, Cu, Pb, Co, Sb, Mo ve Cd elementlerine ait konsantrasyonlar kaplamalı oyun parklarından toplanan toz örneklerinde beton kaplamalı ve kaplamasız kum oyun parklarından alınan örneklerden daha yüksek ölçülmüştür. Tablo 4'te toprak kirlenmesinin canlılar üzerine etkisi ve ekotoksikolojik etkileri üzerine yapılan çalışmalara dayanan Hollanda toprak kılavuzlarında belirtilen hedef değerler de (VROM, 2000) verilmektedir. Bu hedef değerler toprağın insanlar, bitkiler ve hayvanlar için işlevsel özelliklerinin bozulmadığı ve kirlenmenin başladığı sınır değerler olarak değerlendirilmektedir. Buna göre Zn için kauçuk kaplamalı parkların tamamında hedef değer aşılrken, Ba, Cu, V, Ni, Co, Sb, Tl, Se ve Cd elementleri için bazı kauçuk kaplamalı parklarda hedef değerler aşılmıştır. Diğer taraftan, kaplamasız kum tabanlı oyun parklarında ise sadece Ba ve Se hedef değerleri aşılmıştır.

Taban kaplamasında kullanılan SBR kauçuk malzeme özellikle ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin geri kazanımından elde edilen ürünlerin katkısı ile üretilmektedir. Bu nedenle bu kaplamadan açığa çıkan element emisyonları, trafikten oluşan element emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturan yol ve lastik partikülleri ile benzer özellik göstermektedir (Baensch-Baltruschat vd., 2020). Literatürde özellikle Zn, Ba, Cd, Cu, Pb, Ti, Sb ve Sn elementleri trafik kaynaklı emisyonlar olarak belirtilmektedir (Wang vd., 2016; Shi & Lu, 2018; Liu vd., 2019; Vlasov vd., 2021). Parklardan toplanan yüzey tozu örneklerinde ölçülen element konsantrasyonlarının ortalama ve ortanca değerleri farklı yüzey özelliklerine göre Şekil 3'te verilmektedir. Örnekleme yapılan parkların tamamı kent merkezinde olduğu için büyük oranda kent trafiğinden benzer olarak etkilenmesine rağmen oyun parklarının taban özelliklerine göre trafik kaynaklı element konsantrasyonları büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca örnekleme sırasında gözlemlenen eskimiş ve bozulmaya başlamış kauçuk kaplamaların olduğu parklarda bu değerler daha da artmaktadır.



**Şekil 3.** Yüzey tozu örneklerinde ölçülen element konsantrasyonlarının farklı yüzey özellikleri için ortalama ve ortanca değerleri

**Figure 3.** The median and average values of concentrations in surface dust samples for different surface coatings

**Tablo 4.** Kaplama durumuna göre parklarda ölçülen yüzey tozunda element konsantrasyonları (mg/kg; \*g/kg)  
**Table 4.** Element concentrations in surface dust samples from playgrounds according to coating type

Element	Kauçuk kaplama		Beton		Kum		<sup>1</sup> Hedef değer
	Ort ± SS	Min - Mak	Ort ± SS	Min - Mak	Ort ± SS	Min - Mak	
Ca*	66.5 ± 19.0	26.7 – 106.0	57.6 ± 8.0	51.8 – 63.0	30.3 ± 14.0	14.3 – 42.0	-
Si*	30.0 ± 7.4	18.3 - 42.9	27.4 ± 1.0	26.8 – 28.0	21.6 ± 2.6	18.6 - 23.5	-
Fe*	14.8 ± 4.9	9.6 - 31.8	12.0 ± 3.0	10.3 - 13.8	11.2 ± 1.5	9.5 - 12.2	-
Al*	14.5 ± 3.6	9.0 - 25.3	13.0 ± 1.0	12.2 - 13.9	12.4 ± 2.1	10.0 - 14.1	-
K*	6.0 ± 1.3	3.9 – 9.2	5.3 ± 0.1	5.0 - 5.5	5.0 ± 0.8	4.1 - 5.7	-
Mg*	5.0 ± 1.1	3.5 - 7.1	5.8 ± 1.0	4.8 - 6.8	2.9 ± 1.2	2.0 - 4.2	-
Na*	3.1 ± 1.2	1.5 - 7.6	3.2 ± 1.0	2.8 - 3.6	2.0 ± 0.1	1.9 - 2.1	-
Zn	1005.0 ± 884.5	152.4 – 4047.9	584.2 ± 303.3	369.7 – 798.7	26.8 ± 31.5	6.5 - 63.2	140
P	802.6 ± 209.7	502.5 – 1261.7	653.9 ± 48.9	619.4 – 688.5	308.5 ± 38.2	264.5 – 333.7	-
Ba	405.5 ± 296.9	160.2 – 1329.9	232.9 ± 28.4	212.8 – 253.0	188.6 ± 14.7	175.0 – 204.2	160
Mn	331.0 ± 81.6	216.2 – 535.0	268.3 ± 94.7	201.3 – 335.2	281.7 ± 23.7	256.5 – 303.7	-
Sr	141.7 ± 138.0	62.1 - 768.5	117.0 ± 16.0	106.0 – 128.0	48.6 ± 13	37.0 - 62.7	-
Cu	42.7 ± 20.1	15.3 – 85.4	22.2 ± 6.4	15.8 - 28.5	9.0 ± 1.9	7.0 - 11.6	36
Cr	39.6 ± 8.8	28.5 - 60.7	36.7 ± 4.0	33.6 - 39.8	27.8 ± 7.0	23.3 - 35.8	100
Pb	35.7 ± 14.9	20.3 – 82.0	35.1 ± 14.0	25.3 - 44.9	12.2 ± 4.9	8.8 - 17.8	85
V	31.4 ± 6.2	20.9 - 45.2	27.5 ± 6.0	23.6 - 31.4	28.6 ± 4.1	25.1 - 33.2	42
Ni	29.5 ± 7.2	18.5 - 44.2	24.7 ± 4.0	22.2 - 27.2	21.6 ± 9.7	15.0 - 32.6	35
As	18.4 ± 4.7	12.0 - 29.6	16.5 ± 7.0	11.3 - 21.8	21.5 ± 7.2	13.3 - 26.9	29
Co	13.1 ± 6.0	6.8 - 34.2	7.5 ± 1.0	6.6 - 8.4	4.5 ± 1.4	3.5 - 6.1	9
Sn	2.91 ± 1.36	1.32 - 7.22	2.00 ± 0.24	1.83 - 2.18	0.65 ± 0.16	0.46 - 0.76	-
Sb	2.40 ± 1.02	0.91 - 4.95	2.28 ± 0.41	1.99 - 2.57	1.11 ± 0.46	0.59 - 1.43	3
Tl	1.84 ± 1.00	0.44 - 5.26	1.12 ± 0.55	0.73 - 1.51	0.60 ± 0.37	0.23 - 0.97	1
Mo	1.02 ± 0.36	0.49 – 2.00	1.21 ± 0.23	1.05 - 1.38	0.29 ± 0.09	0.19 - 0.36	3
Se	0.96 ± 0.22	0.57 - 1.63	0.87 ± 0.13	0.78 - 0.96	0.80 ± 0.13	0.65 - 0.91	0.7
Cd	0.43 ± 0.32	0.17 - 1.78	0.59 ± 0.34	0.34 - 0.83	0.12 ± 0.01	0.11 - 0.14	0.8

<sup>1</sup> Hollanda toprak kılavuzlarında belirtilen hedef değerler

### 3.2. Kirlilik değerlendirilmesi

#### 3.2. Pollution assessments

Çocuk parklarında ölçülen elementlerin farklı yüzey özellikleri için belirlenen zenginleşme faktörü oranları Şekil 4'te verilmektedir. Buna göre son derece yüksek zenginleşme oranına sahip elementler Se, Zn, Sb, As, Cd, Pb ve Tl olarak sıralanmıştır. Bu elementler arasında Se, Sb ve As tüm parklarda yakın değerlere sahip iken Zn, Cd, Pb, Tl özellikle kauçuk kaplanmış yüzeylerde daha yüksek belirlenmiştir. Diğer taraftan Cu, Sn, Ba, Mo elementleri ise yüksek zenginleşme oranına sahip hesaplanmıştır. Bu elementler arasında da Cu, Sn ve Mo yine kauçuk kaplamalı yüzeylerde diğer yüzeylere göre daha yüksek bir orana sahiptir. K, Fe, Mg, Na ve Si gibi elementler ise minimum ve orta zenginleşme oranına sahiptir. Bu sonuçlar Se, Zn, Sb, Cd, Pb, Tl, Cu, Sn, Mo ve Co gibi elementlerin doğal olarak tozun yapısında bulunmadığını parkların yüzey kaplamasından veya trafikle ilgili ve endüstriyel kaynaklardan geldiğini ortaya koymaktadır.

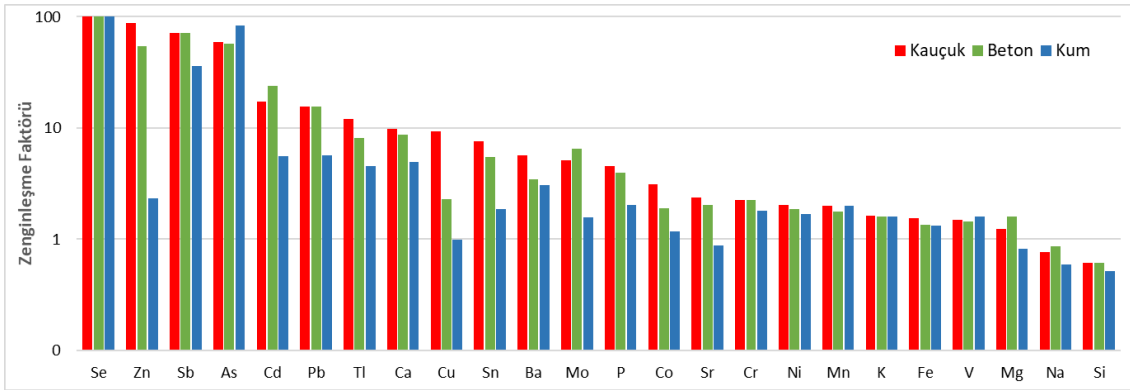
### 3.3. Sağlık riskleri değerlendirilmesi

#### 3.3. Health risk assessment

Oyun çağındaki çocukların parklardan toplanan yüzey tozundaki elemental toksisiteye maruz kalma düzeyini belirlemek için EPA tarafından geliştirilen yaklaşıma göre hem kanserojen olmayan riskler hem de kanser riskleri hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinde her bir element ve maruziyet yolu için belirlenen risk değerleri Tablo 5'te verilmektedir. Öncelikle kanserojen olmayan riskler göz önüne alındığında çocuklar için elementlere temel maruz kalma yolu olarak sindirim sistemine girme yani yutma ortaya çıkmaktadır. Bu durum



daha önce yapılan çalışmalarda bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Olatunde vd., 2018; Safiur Rahman vd., 2019; İpek & Ünlü, 2020; Yeşilkat & Kobyay, 2021; Ivaneev vd., 2023).



Şekil 4. Elementlerin farklı yüzey özellikleri için belirlenen zenginleşme faktörü oranları  
Figure 4. Enrichment factor values of elements for different surface coatings

Tablo 5. Çocuklar için hesaplanan kanserojen olmayan riskler ve kanser risk değerleri  
Table 5. The non-carcinogenic and carcinogenic health risk assessments for children

Element	Konsantrasyon 95% UCL (mg/kg)	Kanserojen olmayan riskler				Kanser riskleri
		HQ <sub>Yutma</sub>	HQ <sub>Dermal</sub>	HQ <sub>Soluna</sub>	HI	
As	20.1	$5.1 \times 10^{-01}$	$6.1 \times 10^{-02}$	$9.4 \times 10^{-04}$	$5.7 \times 10^{-01}$	$2.97 \times 10^{-05}$
Cd	0.54	$6.9 \times 10^{-02}$	$6.5 \times 10^{-03}$	$3.8 \times 10^{-05}$	$7.5 \times 10^{-02}$	$2.55 \times 10^{-10}$
Co	15.2	$6.4 \times 10^{-01}$	$1.5 \times 10^{-03}$	$1.7 \times 10^{-03}$	$6.5 \times 10^{-01}$	$3.59 \times 10^{-08}$
Cu	48.9	$1.5 \times 10^{-02}$	$3.7 \times 10^{-05}$	-	$1.5 \times 10^{-02}$	-
Mo	1.15	$2.9 \times 10^{-03}$	$6.9 \times 10^{-06}$	$4.0 \times 10^{-07}$	$2.9 \times 10^{-03}$	-
Ni	32	$2.0 \times 10^{-02}$	$1.2 \times 10^{-03}$	$2.5 \times 10^{-04}$	$2.2 \times 10^{-02}$	$2.18 \times 10^{-09}$
Pb	41	$1.5 \times 10^{-01}$	$3.5 \times 10^{-04}$	-	$1.5 \times 10^{-01}$	$5.03 \times 10^{-07}$
Sb	2.7	$8.6 \times 10^{-02}$	$1.3 \times 10^{-03}$	$6.3 \times 10^{-06}$	$8.7 \times 10^{-02}$	-
Se	1.04	$2.6 \times 10^{-03}$	$6.3 \times 10^{-06}$	$3.6 \times 10^{-08}$	$2.6 \times 10^{-03}$	-
Sn	3.4	$7.2 \times 10^{-05}$	$1.7 \times 10^{-07}$	-	$7.2 \times 10^{-05}$	-
Zn	1322	$5.6 \times 10^{-02}$	$1.3 \times 10^{-04}$	-	$5.6 \times 10^{-02}$	-
<b>Toplam Risk/HI</b>	-	$1.5 \times 10^{+00}$	$7.2 \times 10^{-02}$	$3.0 \times 10^{-03}$	$1.6 \times 10^{+00}$	$3.02 \times 10^{-05}$

\*Risk değerinin üzerindeki değerler koyu yazılmıştır.

Çocuklarda en yüksek yutma tehlike katsayısı (HQ<sub>yutma</sub>) değeri Co için  $6.4 \times 10^{-01}$  olarak hesaplanırken As ve Pb'nin HQ<sub>yutma</sub> değerleri de yüksek hesaplanmıştır. Sb, Cd, Zn, Ni ve Cu elementlerine ait değerler ise risk değerini aşmasa da nispeten yüksek belirlenmiştir. En düşük değer ise Sn için  $7.2 \times 10^{-05}$  olarak bulunmuştur. Diğer taraftan elementlerin HQ<sub>yutma</sub> değerleri parklardaki yüzey tozunun solunmasından ve dermal temasından 100 ila 1000 kat daha yüksek olarak belirlenmiştir. Elementlerin tehlike indeksi (HI) değerleri sırasıyla Co > As > Pb > Sb > Cd > Zn > Ni > Cu > Mo > Se > Sn olarak hesaplanmıştır. Her bir element için ayrı ayrı tehlike indeksi (HI) değerleri güvenli sınır olan 1 değerini aşmamasına rağmen As ve Co için HI değerleri güvenli sınıra yakın olarak hesaplandı ve toplam HI değeri  $1.6 \times 10^{+00}$  ile sınır değeri aştı.

Toplanan yüzey tozu örneklerinde belirlenen kanserojen olmayan riskler çoğunlukla As ve Co düzeyi ile yüksek belirlendi. Çocuklarda yetişkinlere göre daha fazla sağlık riski oluşturması söz konusu olan Arsenik, solunum yolu tahribatına, mide bulantısına, kardiyovasküler rahatsızlıklara, ishale, cilt üzerinde olumsuz etkilere, hematopoetik ve gastrointestinal sistem hastalıklarına neden olmaktadır (Hjortenkrans vd., 2006). Diğer taraftan kobalt ise, ciltte tahriş ve alerjiye, solunum yolu rahatsızlıklarına ve astıma sebep olabileceği gibi kalp, tiroit bezi, karaciğer ve böbrek gibi organları etkilemektedir (Lauwerys & Lison, 1994; Yoshihisa & Shimizu, 2012).

## 4. Tartışma

### 4. Discussion

Çocuk parklarında zaman geçiren çocukların maruz kaldığı element seviyelerinin ve bu elementlerin çocuklar üzerinde oluşturduğu sağlık risklerinin belirlenmesi amacıyla İzmir'in Buca ilçesinde yer alan çocuk parklarının 28'inden yüzey tozu toplanmıştır. Örnek alınan parklar taban kaplamasına göre gruplandırılarak değerlendirilmiştir. En yüksek element konsantrasyonları özellikle Zn, Ba, Cu, Pb, Co ve Sb için yapay kauçuk malzeme olan SBR kauçuk ile kaplı parklarda en yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Bu elementlere ait en düşük değerler ise kaplamasız kum tabana sahip parklarda belirlenmiştir. Kauçuk kaplamalı parklarda yüzey malzemesinin deforme olmasına bağlı olarak konsantrasyonların artış gösterdiği de tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçların dünyanın çeşitli ülkelerindeki çocuk parklarında ve kamusal park alanlarında ölçülen değerler ile kıyaslaması Tablo 6'da verilmektedir. Çalışma yapılan parkların özelliklerinin ve kullanım amaçlarının farklılık göstermesinin yanı sıra etkilendikleri kirletici kaynakların çeşitliliği nedeniyle birebir kıyaslama yapmak zor olsa da merteye olarak değerlendirmek mümkün olmaktadır. Buna göre bu çalışmada ölçülen değerler genel olarak Avrupa kentleri ile benzerlik gösterirken, Çin gibi endüstriyel faaliyetlerin ve nüfus yoğunluğunun çok yüksek olduğu ülkelerden daha düşük ölçülmüştür. Diğer taraftan, ağırlıklı olarak bu çalışmada kauçuk kaplamalı parklardan örnek toplandığı için Zn ve Ba kauçuğun özelliğinden dolayı neredeyse diğer tüm bölgelerden daha yüksek belirlenmiştir. Bir diğer yüksek ölçülen element ise As olmuştur. As tüm bölgelerde ölçülen seviyelerden daha yüksek ölçülmüş ve çalışma alanındaki parklar arasından da değişim göstermemiştir. Bu durum İzmir genelinde yüzey tozunda arsenik düzeylerinin yüksek olması ile ilişkilendirilmiştir (Kara, 2020). Ayrıca bölgede yapılan diğer çevresel ortamlardaki çalışmalarda da arsenik konsantrasyonlarının yüksek olduğu ve bölgenin jeolojik yapısı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Kucuksezgin vd., 2014; Anton-Culver vd., 2016; Baba vd., 2021; Tarhan vd., 2023)

**Tablo 6.** Parklardan toplanan yüzey tozu örneklerindeki element konsantrasyonlarının (mg/kg) diğer bölgelerdeki parklardaki konsantrasyonlar ile karşılaştırılması

**Table 6.** Comparison of concentrations in playgrounds with in parks in other regions

Çalışma Alanı	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb	Referans
İzmir, Türkiye	30.8	38.1	321.2	11.8	28.3	36.6	870.2	18.6	0.4	370.0	33.1	Bu çalışma
İstanbul, Türkiye		51.7			18.3	73.7	66.9	8.1			14.3	Guney vd. (2010)
Washington, ABD		25.8				12.5	54.0	8.3	0.1	99.0	19.0	Nezat vd. (2017)
Fransa	10.0	14.0	99.0			49.0		2.2	<0.8		32.0	Glorennec vd. (2012)
Barselona, İspanya	40.0	19.0	887.0	3.7	9.3	26.0	166.0	12.0	1.0	561.0	62.0	Valido vd. (2018)
Kuzeydoğu İngiltere								14.1			298.0	Elom vd. (2013)
São Paulo, Brezilya		49.0					81.5	9.6		683.3		Figueiredo vd. (2011)
Rio Grande, Brezilya					14.5	88.4	392.4				223.6	Penteado vd. (2021)
Erivan, Ermenistan	98.7	66.4	830.0	15.2	31.4	57.9	195.0	0.7	0.6	430.0	2.4	Tepanosyan vd. (2017)
Maha Sarakham, Tayland						12.0	43.8		0.1		6.4	Ma ve Singhirunnusorn (2012)
Xi'an, Çin	60.3	178.6	343.8	10.0	30.3	42.8	161.1			350.0	110.5	Shi ve Lu (2018)
Pekin, Çin	48.6	78.9	521.7	8.8	22.3	52.1		10.0			80.3	Jin vd. (2019)
Nanjing, Çin	43.3	133.0	602.0	11.5	115.0	141.0	585.0	17.3	1.9		119.0	Wang vd. (2016)

Çalışmada parklardan toplanan yüzey tozlarında ölçülen element konsantrasyonlarının ortalamasının %95 güven aralığının üst sınırı dikkate alınarak yüzey tozunun potansiyel sağlık riskleri için belirlenmiştir. Tüm elementler dikkate alınarak hesaplanan toplam HI değeri sınır değerinin üzerinde belirlenirken, her bir element tekil olarak sınır değeri aşmasa da en yüksek HI değerleri Co ve As için hesapladı. Diğer taraftan As için kanser riski seviyesi eşik değeri aralığında belirlendi.

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Bu çalışma hayatımızı kolaylaştıran bazı uygulamaların sağlık etkilerinin araştırılmasının ve özellikle küçük yaşta çocukların sağlık açısından daha fazla etkilendiği spesifik kirletici emisyonlarının azaltılması yönünde önlemler alınmasının gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Çocukların uzun saatler geçirdiği ve oyun oynadığı çocuk parklarında kullanılan kaplama malzemelerinin doğal malzemelerle değiştirilmesi veya daha az emisyon yayan kaliteli malzemeler kullanılması oluşabilecek sağlık risklerini azaltacaktır.

Diğer taraftan hızlı şehirleşme, nüfus artışı ve ekonomik gelişmelerden kaynaklanan elementler ve kalıcı organik kirleticiler gibi spesifik ve öncelikli kirleticilere yönelik sağlık risk değerlendirme çalışmaları halk sağlığının korunması amacıyla gerçekleştirilmelidir. Risk değerlendirme çalışmalarının sonuçlarına göre maruziyetin azaltılması için ihtiyati tedbirlerin ve kontrol stratejilerinin gerekli olup olmadığı konusunda da kararlar alınmalıdır.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Bu çalışmada örneklerin toplanması, analize hazırlanması ve ICP-MS analizleri için Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kirliliği Laboratuvarı alt yapısı kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında, örneklerin toplanmasında ve analize hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Ersan Günel'e teşekkür ederiz.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Örneklerin toplanması, analize hazırlanması, sonuçların hesaplanması Aycacan Kaya; çalışmanın planlanması, örneklerin toplanması, analizlerin yapılması, sonuçların hesaplanması ve değerlendirilmesi Melik Kara tarafından gerçekleştirilmiştir.

## 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

- Anton-Culver, H., Chang, J., Bray, F., Znaor, A., Stevens, L., Eser, S., Silverman, B., Nimri, O., Pavlou, P., Charalambous, H., Demetriou, A., Ward, K., & Ziogas, A. (2016). Cancer burden in four countries of the Middle East Cancer Consortium (Cyprus; Jordan; Israel; Izmir (Turkey)) with comparison to the United States surveillance; epidemiology and end results program. *Cancer Epidemiology*, 44, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2016.06.004>
- Amin, B., Ismail, A., Arshad, A., Yap, C. K., & Kamarudin, M. S. (2009). Anthropogenic impacts on heavy metal concentrations in the coastal sediments of Dumai, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148(1-4), 291-305. 10.1007/s10661-008-0159-z

- Asampson, A., Ofosu, G., Kuranchie-Mensah, H., Tutu, A., Palm, L., & Blankson-Arthur, S. (2011). Contamination Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Selected Roads in Accra, Ghana. *Research Journal Of Environmental And Earth Sciences*, 3.
- Baba, A., Uzelli, T., & Sozibilir, H. (2021). Distribution of geothermal arsenic in relation to geothermal play types: A global review and case study from the Anatolian plate (Turkey). *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125510. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125510>
- Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F., & Reifferscheid, G. (2020). Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. *Science of The Total Environment*, 733, 137823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>
- Barnett, F., Carson, P., Linscome-Hatfield, T., & Brittingham, H. (2022). *ProUCL 5.2*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Buca Kaymakamlığı. (2023, 20 Ağustos). <http://www.buca.gov.tr/ilce-ve-kaymakamligimiz-kisa-bir-tarihcesi-14-02-2012>
- Demetriades, A. (2011). Hazard and Exposure Assessment in Contaminated Land Investigations and Environmental Management. In *Mapping the Chemical Environment of Urban Areas*, pp. 151-172.
- Denier, X., Hill, E. M., Rotchell, J., & Minier, C. (2009). Estrogenic activity of cadmium, copper and zinc in the yeast estrogen screen. *Toxicology in Vitro*, 23(4), 569-573. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.01.006>
- do Nascimento, S. N., Charão, M. F., Moro, A. M., Roehrs, M., Paniz, C., Baieler, M., Brucker, N., Gioda, A., Barbosa, F., Jr., Bohrer, D., Ávila, D. S., & Garcia, S. C. (2014). Evaluation of toxic metals and essential elements in children with learning disabilities from a rural area of southern Brazil. *Int J Environ Res Public Health*, 11(10), 10806-10823. 10.3390/ijerph111010806
- Elom, N. I., Entwistle, J. A., & Dean, J. R. (2013). How safe is the playground? An environmental health risk assessment of As and Pb levels in school playing fields in NE England. *Environmental Chemistry Letters*, 11(4), 343-351. 10.1007/s10311-013-0413-7
- EPA, U. S. (1989). *Risk assessment guidance for Superfund. Volume I: human health evaluation manual (Part A), Interim Final. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response (EPA/540/1-89/002)*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (1996). *U.S. Environmental Protection Agency, Soil Screening Guidance: Technical Background Document (EPA/540/R-95/128)*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2001). *Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites*. OSWER 9355.4-24. Office of Solid Waste and Emergency Response: Washington, DC.
- EPA, U. S. (2002). *Supplemental Guidance for Developing Soil Screening*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2004). *Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human health evaluation manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2007). *Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2009). *Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human health evaluation manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2011). *Exposure factors handbook 2011 edition (Final Report)*. Washington, DC.
- EPA, U. S. (2015). *ProUCL Version 5.1.002 user guide, statistical software for environmental applications for data sets with and without nondetect observations*. EPA/600/R-07/041. Washington, DC.
- Figueiredo, A. M. G., Tocchini, M., & dos Santos, T. F. S. (2011). Metals in playground soils of Sao Paulo city, Brazil. *Urban Environmental Pollution 2010*, 4, 303-309. 10.1016/j.proenv.2011.03.035

- Florez-Garcia, V. A., Guevara-Romero, E. C., Hawkins, M. M., Bautista, L. E., Jenson, T. E., Yu, J., & Kalkbrenner, A. E. (2023). Cadmium exposure and risk of breast cancer: A meta-analysis. *Environmental Research*, 219, 115109. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115109>
- Font, A., Guiseppin, L., Blangiardo, M., Ghersi, V., & Fuller, G. W. (2019). A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? *Environmental Pollution*, 249, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.040>
- Glorennec, P., Lucas, J. P., Mandin, C., & Le Bot, B. (2012). French children's exposure to metals via ingestion of indoor dust, outdoor playground dust and soil: Contamination data. *Environment International*, 45, 129-134. [10.1016/j.envint.2012.04.010](https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.04.010)
- Guney, M., Zagury, G. J., Dogan, N., & Onay, T. T. (2010). Exposure assessment and risk characterization from trace elements following soil ingestion by children exposed to playgrounds, parks and picnic areas. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 656-664. [10.1016/j.jhazmat.2010.06.082](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.082)
- Güzel, B., & Canlı, O. (2023). Pollution profile, source identification, and risk assessments of persistent organic pollutants (POPs) and toxic elements in the sediments of one of the water supply areas (Sultanbahçedere lake) to Istanbul, Türkiye. *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103146. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103146>
- Hjortenkrans, D., Bergback, B., & Haggerud, A. (2006). New metal emission patterns in road traffic environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1-3), 85-98. [10.1007/s10661-006-7706-2](https://doi.org/10.1007/s10661-006-7706-2)
- IARC. (2011). *International agency for research on cancer. Agents Classified by the IARC Monographs*.
- Ivaneev, A. I., Brzhezinskiy, A. S., Karandashev, V. K., Ermolin, M. S., & Fedotov, P. S. (2023). Assessment of sources, environmental, ecological, and health risks of potentially toxic elements in urban dust of Moscow megacity, Russia. *Chemosphere*, 321, 138142. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138142>
- İpek, M., & Ünlü, K. (2020). Development of human health risk-based Soil Quality Standards for Turkey: Conceptual framework. *Environmental Advances*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100004>
- Jin, Y. L., O'Connor, D., Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Liu, A., & Hou, D. Y. (2019). Assessment of sources of heavy metals in soil and dust at children's playgrounds in Beijing using GIS and multivariate statistical analysis. *Environment International*, 124, 320-328. [10.1016/j.envint.2019.01.024](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.024)
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants (3rd ed.)*: CRC Press.
- Kara, M. (2020). Assessment of sources and pollution state of trace and toxic elements in street dust in a metropolitan city. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(10), 3213-3229. [10.1007/s10653-020-00560-z](https://doi.org/10.1007/s10653-020-00560-z)
- Kara, M., Dumanoğlu, Y., Altıok, H., Elbir, T., Odabası, M., & Bayram, A. (2014). Spatial distribution and source identification of trace elements in topsoil from heavily industrialized region, Aliaga, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(10), 6017-6038. [10.1007/s10661-014-3837-z](https://doi.org/10.1007/s10661-014-3837-z)
- Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. R., Nouri, J., & Nematpour, K. (2008). Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147(1), 107-116. [10.1007/s10661-007-0102-8](https://doi.org/10.1007/s10661-007-0102-8)
- Knasmüller, S., Gottmann, E., Steinkellner, H., Fomin, A., Pickl, C., Paschke, A., Göd, R., & Kundi, M. (1998). Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 420(1), 37-48. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(98\)00145-4](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(98)00145-4)
- Kumpiene, J., Brännvall, E., Taraškevičius, R., Aksamitauskas, Č., & Zinkutė, R. (2011). Spatial variability of topsoil contamination with trace elements in preschools in Vilnius, Lithuania. *Journal of Geochemical Exploration*, 108(1), 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.08.003>
- Kucuksezgin, F., Gonul, L. T., & Tasel, D. (2014). Total and inorganic arsenic levels in some marine organisms from Izmir Bay (Eastern Aegean Sea): A risk assessment. *Chemosphere*, 112, 311-316. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.071>
- Lauwerys, R., & Lison, D. (1994). Health risks associated with cobalt exposure — an overview. *Science of The Total Environment*, 150(1), 1-6. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90125-2)

- Li, S., Luo, Y., Yongjun, C., Xu, T., Zhong, B., Jia, Z., & Jia, D. (2019). Enhanced Mechanical and Processing Property of Styrene-butadiene Rubber Composites with Novel Silica-supported Reactive Processing Additive. *Fibers and Polymers*, 20(8), 1696-1704. 10.1007/s12221-019-9013-x
- Li, X., Lee, S.-I., Wong, S.-c., Shi, W., & Thornton, I. (2004). The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, 129(1), 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.09.030>
- Liu, E., Wang, X., Liu, H., Liang, M., Zhu, Y., & Li, Z. (2019). Chemical speciation, pollution and ecological risk of toxic metals in readily washed off road dust in a megacity (Nanjing), China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 381-392. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.019>
- Lu, X., Wu, X., Wang, Y., Chen, H., Gao, P., & Fu, Y. (2014). Risk assessment of toxic metals in street dust from a medium-sized industrial city of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.022>
- Ma, J., & Singhirunnusorn, W. (2012). Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Dusts of Maha Sarakham Municipality. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50, 280-293. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.034>
- Malvandi, H. (2017). Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 547-553. 10.1016/j.marpolbul.2017.02.035
- Martin-Martinez, J. M. (2002). Chapter 13 - Rubber base adhesives. In D. A. Dillard, A. V. Pocius, & M. Chaudhury (Eds.), *Adhesion Science and Engineering* (pp. 573-675). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Mielke, H. W., Alexander, J., Langedal, M., & Ottesen, R. T. (2011). Children, Soils, and Health: How Do Polluted Soils Influence Children's Health? In *Mapping the Chemical Environment of Urban Areas* (pp. 134-150).
- Naimoglu, M., & Akal, M. (2023). The relationship between energy technology, energy efficiency, renewable energy, and the environment in Türkiye. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138144. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138144>
- Nezat, C. A., Hatch, S. A., & Uecker, T. (2017). Heavy metal content in urban residential and park soils: A case study in Spokane, Washington, USA. *Applied Geochemistry*, 78, 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.12.018>
- Olatunde, S. D., Joshua, N. E., Oluseun, E. P., & John, O. O. (2018). Health Risk Assessment of Heavy Metals on Primary School Learners from Dust and Soil within School Premises in Lagos State, Nigeria. In M. S. Hosam El-Din & F. A. Refaat (Eds.), *Heavy Metals* (pp. Ch. 18). Rijeka: IntechOpen.
- Onder, S., & Dursun, S. (2006). Air borne heavy metal pollution of Cedrus libani (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40(6), 1122-1133. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.006>
- Ottesen, R. T., Alexander, J., Langedal, M., Haugland, T., & Høygaard, E. (2008). Soil pollution in day-care centers and playgrounds in Norway: national action plan for mapping and remediation. *Environmental Geochemistry and Health*, 30(6), 623-637. 10.1007/s10653-008-9181-x
- Pan, H., Lu, X., & Lei, K. (2017). A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: Contamination, source apportionment and spatial distribution. *Science of The Total Environment*, 609, 1361-1369. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.004>
- Penteado, J. O., Brum, R. D., Ramires, P. F., Garcia, E. M., dos Santos, M., & da Silva, F. M. R. (2021). Health risk assessment in urban parks soils contaminated by metals, Rio Grande city (Brazil) case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208. Artn 11173710.1016/J.Ecoenv.2020.111737
- RAIS. (2017). *Risk assessment information system in the Risk Exposure Models for Chemicals User's Guide*. Washington, DC. [https://rais.ornl.gov/tools/rais\\_chemical\\_risk\\_guide.html](https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_risk_guide.html)
- Safiur Rahman, M., Khan, M. D. H., Jolly, Y. N., Kabir, J., Akter, S., & Salam, A. (2019). Assessing risk to human health for heavy metal contamination through street dust in the Southeast Asian Megacity: Dhaka, Bangladesh. *Science of The Total Environment*, 660, 1610-1622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.425>



- Sakan, S. M., Dordević, D. S., Manojlović, D. D., & Predrag, P. S. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *J Environ Manage*, 90(11), 3382-3390. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.013>
- Schwarz, K., Pouyat, R. V., & Yesilonis, I. (2016). Legacies of Lead in Charm City's Soil: Lessons from the Baltimore Ecosystem Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2). doi:10.3390/ijerph13020209
- Shi, D., & Lu, X. (2018). Accumulation degree and source apportionment of trace metals in smaller than 63 µm road dust from the areas with different land uses: A case study of Xi'an, China. *Science of The Total Environment*, 636, 1211-1218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.385>
- Stanek III, E. J., & Calabrese, E. J. (1995). Daily estimates of soil ingestion in children. *Environmental Health Perspectives*, 103(3), 276-285. <https://doi.org/10.1289/ehp.95103276>
- Sun, Y., He, J., Zhong, B., Zhu, L., & Liu, F. (2019). A synthesized multifunctional rubber additive and its improvements on the curing and antioxidative properties of styrene-butadiene rubber/silica composites. *Polymer Degradation and Stability*, 170, 108999. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.108999>
- Tarhan, İ., Çelikten, Ş., Derin, Z., & Çelik, Ö. (2023). Comparison of different analysis methods applied in archaeological soil analysis with chemometric techniques in the interpretation of past human activity: A case study from the Yassitepe Höyük in İzmir, Turkey. *Microchemical Journal*, 185, 108268. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108268>
- Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics*, 33, 241-265.
- Tepanosyan, G., Maghakyan, N., Sahakyan, L., & Saghatelian, A. (2017). Heavy metals pollution levels and children health risk assessment of Yerevan kindergartens soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 257-265. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.013>
- Valido, I. H., Padoan, E., Moreno, T., Querol, X., Font, O., & Amato, F. (2018). Physico-chemical characterization of playground sand dust, inhalable and bioaccessible fractions. *Chemosphere*, 190, 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.101>
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1-40. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.12.009>
- Van den Berg, R. (1995). *Human Exposure to Soil Contamination: A Qualitative and Quantitative Analysis towards Proposals for Human Toxicological Intervention Values*. RIVM Report No. 725201011. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), The Netherlands.:
- Vlasov, D., Kosheleva, N., & Kasimov, N. (2021). Spatial distribution and sources of potentially toxic elements in road dust and its PM10 fraction of Moscow megacity. *Science of The Total Environment*, 761, 143267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143267>
- VROM. (2000). *Circular on target values and intervention values for soil remediation Annex A: target values, soil remediation intervention values and indicative levels for serious contamination*.
- Wang, C., Ye, Z., Wang, W., & Jin, M. (2016). Traffic-Related Heavy Metal Contamination in Urban Areas and Correlation with Traffic Activity in China. *Transportation Research Record*, 2571(1), 80-89. <https://doi.org/10.3141/2571-09>
- Wang, J., Li, S., Cui, X., Li, H., Qian, X., Wang, C., & Sun, Y. (2016). Bioaccessibility, sources and health risk assessment of trace metals in urban park dust in Nanjing, Southeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128, 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.02.020>
- Wenzl, T., Johannes, H., Schaechtele, A., Robouch, P. and Stroka, J., (2016). *Guidance Document on the Estimation of LOD and LOQ for Measurements in the Field of Contaminants in Feed and Food*, EUR 28099 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-61768-3, [https://doi.org/10.2787/8931\\_JRC102946](https://doi.org/10.2787/8931_JRC102946).

- WHO. (2006). Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals. In (Vol. 237). Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2011). *Agents Classified by the IARC Monographs*. Geneva: World Health Organization.
- Yang, Y., McDonald, A. C., Wang, X., Pan, Y., & Wang, M. (2022). Arsenic exposures and prostate cancer risk: A multilevel meta-analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 72, 126992. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.126992>
- Yesilkanat, C. M., & Kobya, Y. (2021). Spatial characteristics of ecological and health risks of toxic heavy metal pollution from road dust in the Black Sea coast of Turkey. *Geoderma Regional*, 25, e00388. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00388>
- Yoshihisa, Y., & Shimizu, T. (2012). Metal allergy and systemic contact dermatitis: an overview. *Dermatol Res Pract*, 2012, 749561. <https://doi.org/10.1155/2012/749561>
- Zou, Y., Sun, Y., He, J., Tang, Z., Zhu, L., Luo, Y., & Liu, F. (2016). Enhancing mechanical properties of styrene-butadiene rubber/silica nanocomposites by in situ interfacial modification with a novel rare-earth complex. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 87, 297-309. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.05.006>

## İzmit Körfezi manyetik verilerine kenar tespit yöntemlerinin uygulanması

### *Application of edge detection methods to İzmit Gulf magnetic data*

Gülten AKTAŞ\*<sup>1</sup> , A. Sinan DEMİREL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği, 34134, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 23.10.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

### Öz

Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan İzmit Körfezi Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu üzerinde olması nedeniyle sismik tehlike tahminleri açısından oldukça önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada İzmit Körfezi'nin yapısal çizgisellikleri yüksek çözünürlüklü manyetik veriler kullanılarak tanımlanmıştır. Başlangıçta verilere günlük düzeltme işlemi yapılmış ve gürültü etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla filtreler uygulanmıştır. Ayrıca, İzmit Körfezi'nin çizgiselliklerini ve yapısal unsurların sınırlarını çıkarmak için verilere birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı, yatay gradyanın tilt açısı (TAHG), softsign fonksiyonu (SF) yöntemleri uygulanmıştır. Manyetik anomalilere neden olan yapısal unsurların belirlenmesinde TAHG ve SF filtreleri keskin ve net kenarlar oluşturmuştur. Tespit edilen çizgiselliklerin ana eğilimi körfezde D-B ve KD-GB yönündedir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular sismik yansıma kesitleriyle değerlendirilerek kesitlerdeki faylar ile çizgiselliklerin oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Böylece İzmit Körfezi'nin tektonik ve yapısal çerçevesinin daha iyi anlaşılması açısından manyetik sonuçlar güvenilir bir yapısal harita sunmaktadır. Çalışmadan elde edilen bölgenin çizgisellik haritası gelecekte yapılacak yeni araştırmalara katkı sağlayacağı açıktır.

**Anahtar kelimeler:** İzmit Körfezi, Manyetik, Softsign fonksiyonu, TAHG, Tilt açısı

### Abstract

The Gulf of İzmit, which is in the northeast of the Marmara Sea, has significant implications for seismic hazard predictions due to its location on the northern branch of the North Anatolian Fault. The structural lineaments of the Gulf of İzmit were defined using high-resolution magnetic data. Initially, the data were corrected diurnal correction and filters were applied to remove noise effects. In addition, first vertical derivative, analytical signal, tilt angle, tilt angle of horizontal gradient (TAHG), softsign function (SF) filter methods were applied to the data to extract the lineaments of İzmit Gulf, and the boundaries of structural elements. TAHG and SF filters produced sharp and clear edges in the identification of structural elements causing magnetic anomalies. The main trend of the obtained lineaments is in the E-W and NE-SW directions in the gulf. The findings obtained from this study were also evaluated with seismic reflection sections and it was observed that the faults and lineaments in the sections were quite compatible. Thus, magnetic results provide a reliable structural map for a better understanding of the tectonic and structural framework of the İzmit Gulf. Thus, it is clear that the linearity map of the region obtained from the study will contribute to new research to be carried out in the future.

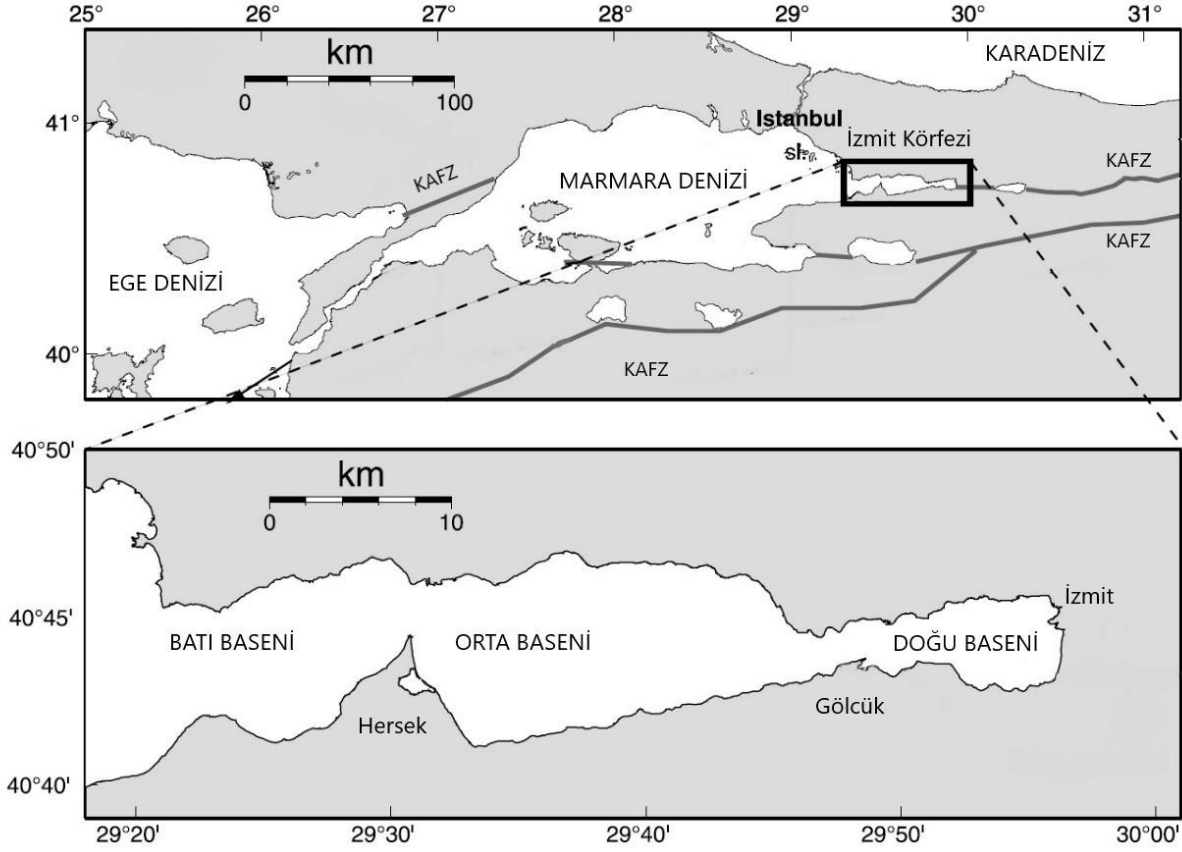
**Keywords:** İzmit Gulf, Magnetic, Softsign function, TAGH, Tilt angle

\*Gülten AKTAŞ; gultensimsek4@yahoo.com.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

İzmit körfezi, Marmara Denizi'nin kuzey doğusunda yer alan yaklaşık 50 km uzunluğunda, 2 ile 10 km arasında genişliğe ve 261 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir (Şekil 1). İzmit Körfezi kıyılarında, Marmara bölgesinin en önemli sanayi tesisleri de yer alması bakımından bölge araştırmacıların özellikle 1999 da meydana gelen depremden sonra daha fazla dikkatini çekmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı (Cormier vd., 2006' dan değiştirilerek).

Figure 1. Study area (modified from Cormier et al. 2006).

Arap levhasının Miyosen döneminde Avrasya levhasına çarpması sonucunda, Anadolu levhası kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu aracılığı ile batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şengör 1979; Şengör vd., 1985, 2005; Yaltırak 2002). KAFZ, doğuda Bingöl Karlıova'dan başlayıp batıda Saroz Körfezi üzerinden Ege Denizi'ne kadar uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir fay sistemidir (Ketin 1968; Şengör vd., 1985, 2005; Barka & Kadinsky-Cade 1988; Gurbuz vd., 2000). KAFZ, İzmit Körfezi'ne varmadan önce üç kola ayrılır ve coğrafi konuma göre kuzeyde olan kolu İzmit Körfezi üzerinden, orta kolu Gemlik Körfezi üzerinden Marmara Denizine girer (Şekil 1). Bu kollardan kuzeyde olanı üzerinde tarihsel dönemde ve günümüzde de yıkıcı deprem üretmesi yer bilimcilerin özellikle ilgisini çekmektedir (Görür vd., 1997; Yaltırak vd., 2002). Özellikle 1999 yılında meydana gelen depremden sonra (moment büyüklüğü 7.6) ilgi daha da artmıştır. Bölgede yapılan çalışmalarda, araştırmacılar çalışma alanı ile ilgili bazı tektonik ve kinematik modeller ileri sürmüşlerdir (Ozhan vd., 1985; Kavukçu 1990; Bargu & Yüksel, 1993; Barka & Kuşçu 1996; Şengör vd., 1999; Gökaşan vd., 2001; Kuşçu vd., 2002; Alpar & Yaltırak, 2002; Cormier vd., 2006; Okyar vd., 2008; Kurt & Yücesoy, 2009; Gasperini vd., 2011; Demirel vd., 2020; Ediger vd., 2021). Ozhan vd., (1985) ile Kavukçu (1990) önerdikleri modelde İzmit Körfezi'ni KAFZ tarafından kontrol edilen D-B uzanımlı bir graben olarak yorumlamışlardır. Barka & Kuşçu (1996) KAFZ' nin kademeli doğrultu atımlı bir yapıya sahip olduğu ve bölgenin şekillenmesini çek-ayır sistemi ile açıklamışlardır. Şengör vd., (1999) yaptıkları çalışmada iki farklı fay grubundan bahsetmişler ve ana fayın kabaca D-B uzanımlı KAFZ devamı niteliğinde olduğunu, ikincil fayların ise genellikle oblik sağ yönlü kesme fayları olarak yorumlamışlardır. Gökaşan vd., (2001) çalışmalarında yüksek ayrımlı sığ sismik ve batimetri verilerini kullanarak körfez için D-B uzanımlı üç doğrultu atımlı fay modelini önermişlerdir. Alpar & Yaltırak (2002)

yüksek ayrımlı sığ sismik verileri kullanarak D-B uzanımlı tek bir ana fayın varlığını savunmuşlar ve negatif çiçek yapısının körfezin batısında hâkim olduğu yorumunda bulunmuşlardır. Cormier vd., (2006) Chirp kayıtlarını inceleyerek, körfezde deprem sonrası oluşan yüzey kırıkları ile sismik çalışmalardan elde edilen deniz tabanı altındaki izleri karşılaştırmışlar ve deniz tabanı fay geometrisi inceleyerek güney fay bloğuna ait Holosen yaşlı graben yapısına sahip bir alan saptamışlardır.

Tüm bu yapılan çalışmalarda birbirinden ayrı fay grupları belirlenmiş ve ayrı ayrı sismik veri setleri ile analiz edilerek farklı fay modelleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar çeşitli jeofizik veri setlerinin kullanılmasının yorumlamaya getirdiği zenginlik açısından gerekli ve önemli olduğunu açıkça göstermektedir. Manyetik çalışmalarda manyetik özelliğe sahip kayaların oluşumu tektonik evrim ile bağlantılıdır. Bu nedenle manyetik anomalilerin yorumlanması büyük önem taşımaktadır (Lei vd., 2022). Bunun yanı sıra manyetik alan haritaları, temel kayaları etkileyen derin ve eski tektonik özellikleri ve üstteki çökelleri, kalınlıkları ve dağılımları yansıtır. MTA Genel Müdürlüğü'nün Türkiye'nin havadan manyetik çalışmaları dışında bölgesel olarak İzmit Körfezi'nde daha önce manyetik çalışmalar yapılmamıştır. Hatta Marmara Denizi genelinde manyetik çalışmalar çok azdır. Oysa Demirel vd., (2020); Vardar vd., (2021), Aktaş vd., (2021) ve Aktaş vd., (2023) gibi güncel çalışmalar KAFZ'a ait yapısal unsurları başarıyla ortaya koymuşlardır.

Bölge için ileri sürülen tüm modellerde dayanan veri bu alanda yapılan sığ sismik çalışmalardan elde edilen verilerdir. Ancak, Demirel vd., (2020) çalışmalarında bölgede bir ilk olarak yüksek duyarlıklı manyetik veriler kullanılmış ve bu veriler yardımıyla toplam manyetik alan haritası çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra çeşitli noktalardan profiller alınarak iki boyutlu modeller üretilmiş ve KAFZ'ın körfez içindeki uzanımı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmadaki temel amaç; çalışma alanında daha önceden alınan sismik yansıma kesitleri çok ışınli batimetri profilleri ile birlikte ayrıca SeaSPY proton manyetometresi yardımı ile toplanan deniz manyetik verilerine daha önce uygulanmayan çeşitli sınır belirleme yöntemleri uygulanarak KAFZ'ın körfez içindeki kollarının daha net biçimde belirlemektir. Bu çalışmada manyetik verilerde anomaliye neden olan yapının sınırlarının belirlenmesinde birinci düşey türev (Elkins, 1951; Oruç & Keskinsezer, 2008), analitik sinyal (Roest vd., 1992), tilt açısı (Miller & Singh, 1994), yatay gradyanın tilt açısı (TAHG) (Cordell & Grauch, 1985), softsign fonksiyonu (SF) (Pham vd., 2022) yöntemleri kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler ile son zamanlarda kullanılan yeni sınır belirleme yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Benzer sonuçlar vermesine rağmen yöntemler arasında farklılıklarda önemli detayları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin sığ yapıların araştırılmasında birinci düşey türev etkilidir. TAHG ve SF yöntemleri ise farklı derinliklerdeki yapıların neden olduğu anomalileri dengeleme özelliğine sahiptir. Bu önemli detaylar araştırma alanındaki yapısal unsurların tespitinde büyük öneme sahiptir.

## 2. Bölgenin Batimetrisi ve Jeolojisi

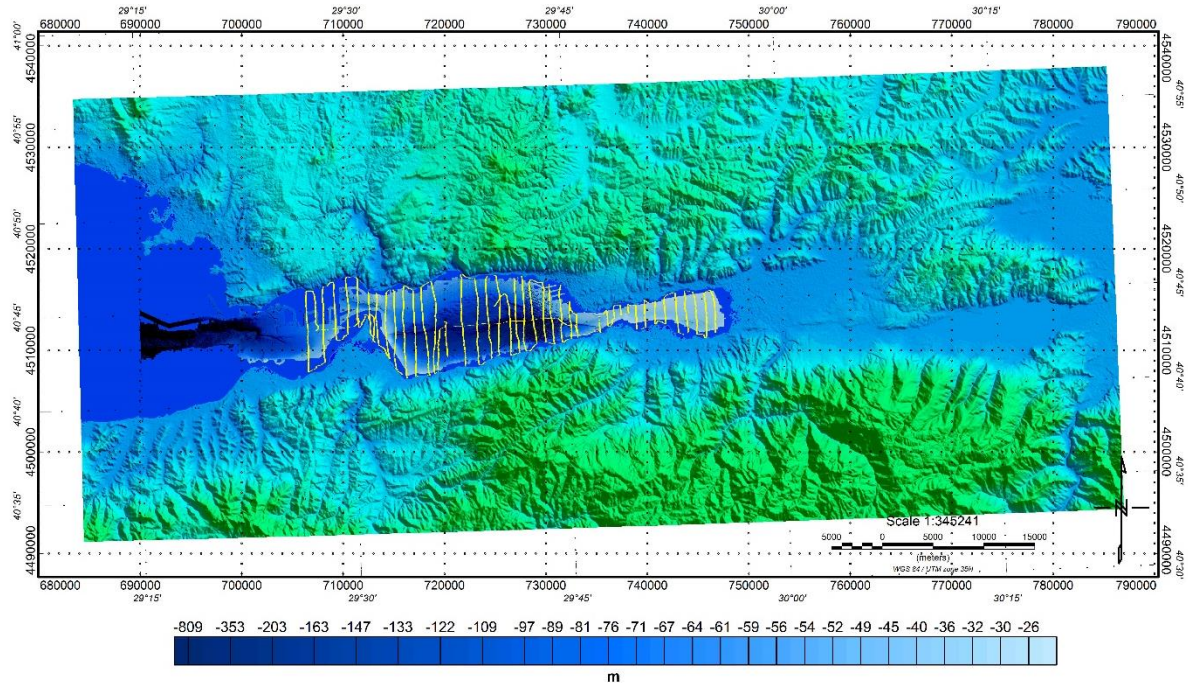
### 2. Bathymetry and Geology of the Region

İzmit Körfezi, KAFZ'ın kuzey kolu üzerinde ve Marmara Denizinin doğusunda yer almaktadır. İzmit Körfezi'nin morfolojik ve batimetrik özellikleri bakımından doğu, orta ve batı olmak üzere 3 havzaya ayrılmaktadır (Şekil 1, 2). Körfez içerisinde derinlikler doğudan batıya doğru artmaktadır. Doğu havzası körfezin en sığ derinliğini oluşturmaktadır. Yaklaşık en derin kısmı 30 m'dir. Körfezin en derin ve dik çukurluğu orta havzasıdır. Orta havza yaklaşık 20 km uzunluğunda 3-10 km genişliğinde olup 60 m derinliğinde dar bir açıklıkla batı havzasına bağlanmaktadır (Tugrul vd., 1989). Orta havzada yaklaşık 207 m derinliğine kadar çöküntü Şekil 2' de görülmektedir. Bu havzanın kuzey kıyısından ve Hersek deltasından dolayı sediman birikimi oldukça fazladır (Algan vd., 1999). Bu nedenle bu alanlarda derinlik azalmaktadır. Batı havzası Marmara denizi ile bağlantılı olup maksimum derinlik 129 m'dir. Batı havzası, Marmara Denizi'nden, Hersek Deltası'ndan ve kısmen de Orta Havza'dan çökelti almaktadır (Algan vd., 1999).

İzmit Körfezi ve civarında Neotektonik döneme ait çökeltme ve aşınma rejimiyle ilişkili birimler Neojen ve sonrası yaşlıdır. Alüvyal çökeller İzmit Körfezi'nin kıyı ve iç kesimlerinde bulunmaktadır (Şekil 3). Kıyı alanları çoğunlukla delta çökelleri ile karakterizedir. Delta çökelleri daha çok İzmit Körfezi'nin güney kıyısı boyunca görülmektedir (Okyar vd., 2008). Ayrıca İzmit Körfezi'nin doğusunda Sapanca Gölü- İzmit Körfezi arasındaki alüvyal düzlük alanı bulunmaktadır. Kuzeyde İzmit yakınları Üst-Kretase – Alt Eosen yaşlı bazalt, andezit, granitik kayalardan oluşmaktadır. Kısmen de Triyas yaşlı ofiyolit kayalar gözlenmektedir. Paleozoik

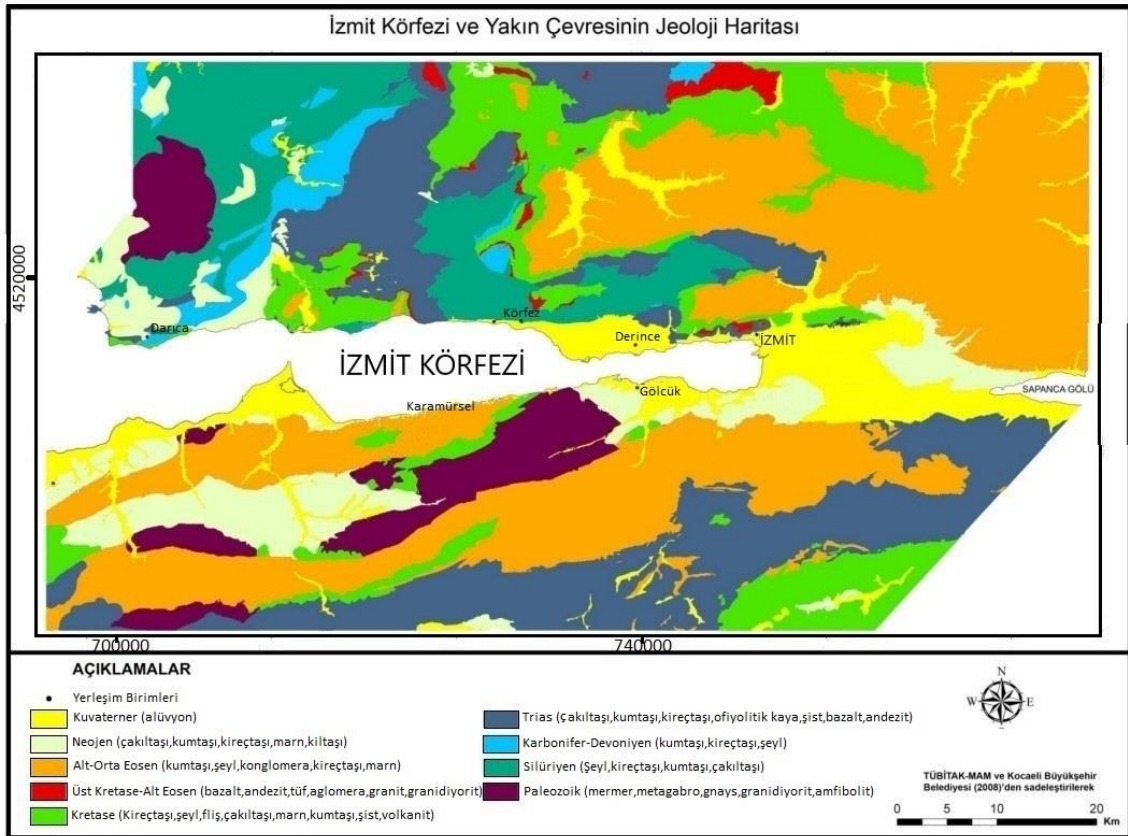


yaşlı metagabro, metakumtaşı, granidiorit birimler İzmit Körfezi'nin güneyinde yaygın şekilde görülmektedir (Uzun, 2013).



Şekil 2. Çalışma alanının batimetri haritası (Demirel vd., (2020) 'den değiştirilerek, sarı çizgiler manyetik ölçüm hatlarını göstermektedir)

Figure 2. Bathymetry map of the study area (modified from Demirel et al., (2020), yellow lines indicate magnetic measurement lines)



Şekil 3. İzmit Körfezi ve çevresinin jeoloji haritası (Uzun, 2013)

Figure 3. Geological map of the Gulf of İzmit and its surroundings (Uzun, 2013)

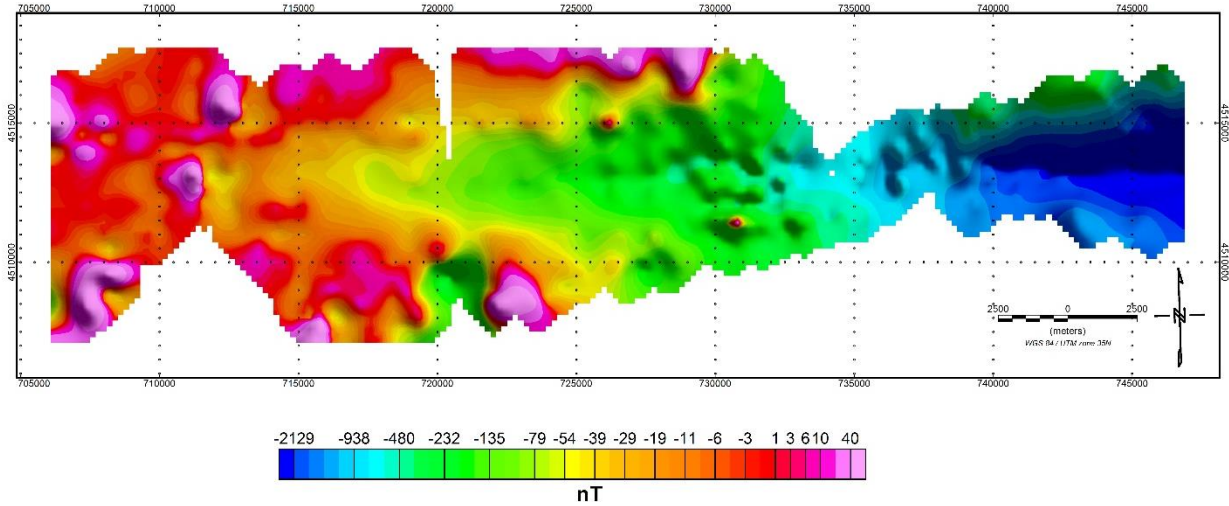


### 3. Materyal ve Metod

#### 3. Material and Method

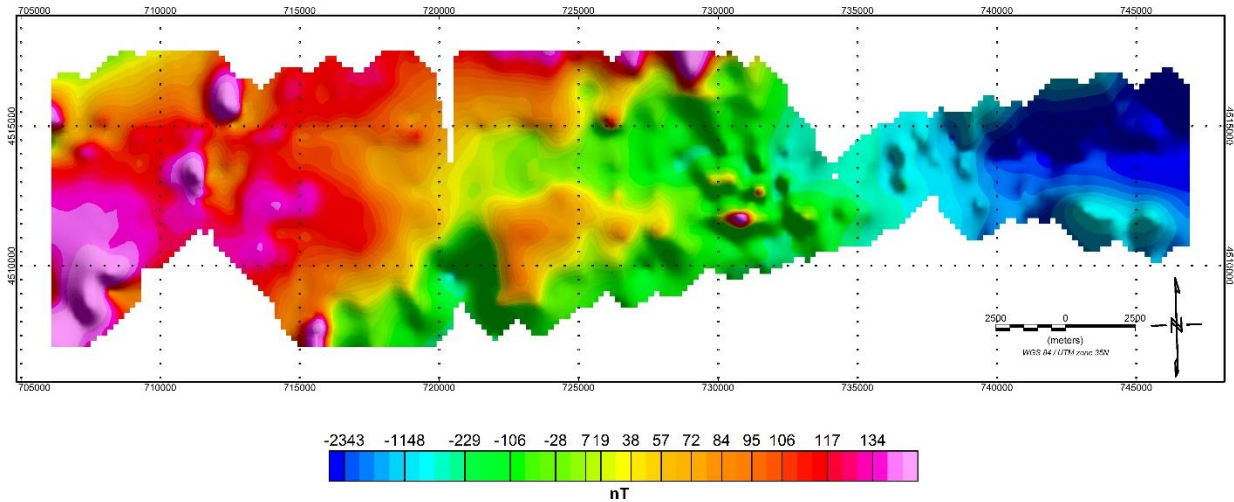
Çalışma alanında alınan manyetik ölçümler, 2014 yılında SeaSPY proton manyetometresi kullanılarak alınmıştır. Ölçümler tekneden 30 m uzaklıkta ve yaklaşık olarak deniz seviyesinin 3-5 m altından çekilerek toplanmıştır (Demirel vd., 2020). Manyetik ölçümlerde 43 profil K-G ve 2 profil D-B olmak üzere 1 km aralıklarla toplanmıştır (Şekil 2). Ölçümler esnasında profiller boyunca gürültüye neden olabilecek durumlar ve metal içeren yapılar elimine edilmiştir. Verilerin işlenmesi, analizi ve yorumlanmasında Oasis Montaj (Geosoft) yazılımı kullanılmıştır.

Manyetik alandaki değişimler manyetik ölçümlere etki edeceğinden verilere Kandilli Rasathanesi'ne bağlı İznik manyetik gözlemeviden alınan günlük değişim değerleri alınarak düzeltme uygulanmıştır. Çalışma alanının manyetik verisine IGRF (Uluslararası Jeomanyetik Referans Alanı) düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonrasında geminin yapmış olduğu gürültüleri ortadan kaldırmak amacıyla microleveling düzeltmesi ile veriler gürültülerden arındırılmıştır. Microleveling, araştırma profilleri boyunca uzun dalga boylu gürültülerin neden olduğu ve kaynağı jeolojik olmayan etkileri ortadan kaldırmak amacıyla gridlenmiş verilere uygulanan bir filtredir. Elde edilen manyetik alan verileri 500×500 m grid aralıklarıyla gridlenerek toplam alan manyetik anomali haritası oluşturulmuştur. Manyetik anomali haritası Şekil 4' de verilmiştir. Toplam alan değerleri -2129-40 nT arasındadır. Toplam alan manyetik anomali daha sonra kutba indirgenmiştir. Kutba indirgeme işlemi için inklınasyon açısı değeri 58° ve denklinasyon açısı değeri 5° olarak alınmıştır.



Şekil 4. Toplam alan manyetik anomali haritası

Figure 4. Total field magnetic anomaly map



Şekil 5. Kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası

Figure 5. Reduce to pole magnetic anomaly map

Kutba indirgenmiş anomali haritası -2343 ile 134 nT arasında değişen yüksek ve düşük değerlerde anomaliler göstermektedir (Şekil 5). Yüksek değerler pembe ve kırmızı ağırlıklı olarak çalışma alanının batı kesiminde bulunurken, ortalarında yer yer yeşil renkler kümelenmiştir. Düşük değerler mavi renkte gösterilmiş olup çalışma alanının doğusunda daha baskın olduğu görülmektedir.

### 3.1. Birinci düşey türev

#### 3.1. First vertical derivative

Düşey türevler, sığ kaynakların ortaya çıkarılıp daha derin kaynakların bastırılmasında oldukça etkilidir. Nedensel kaynakların kenarlarını tespit etmek için de kullanılır (Elkins, 1951; Oruç & Keskinsezer, 2008). Kutba indirgenmiş toplam alan verilerine birinci düşey türev yöntemi uygulanmıştır. Birinci düşey türevden elde edilen sonuçlar ile çalışma alanındaki yapı sınırlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 3.2. Analitik sinyal

#### 3.2. Analytic signal

Nabighian (1972) tarafından iki boyutlu analitik sinyal yöntemi geliştirilmiştir. Analitik sinyal (AS), toplam manyetik alanın düşey (z) ve iki yatay türevlerinin (x ve y) karelerinin toplamının karekökü olarak tanımlanır (Nabighian, 1972, 1974). AS yöntemi, Roest vd., 1992 tarafından

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

denklemleri ile tanımlanmıştır. Burada T manyetik alanı, x, y, z yatay ve düşey yönleri tanımlamaktadır.

AS yönteminin jeomanyetik alan ve mıknatıslanma yönlerine bağımlılığı yoktur (Blakely 1996; Roest vd., 1992). Manyetik kaynakların bulunduğu yerlerde maksimum değer elde eder.

### 3.3. Tilt açısı

#### 3.3. Tilt angle

Tilt açısı yöntemi (Miller & Singh, 1994), potansiyel alanın düşey türevinin, yatay türevine oranı olarak tanımlanmıştır. Tilt açısı şu şekilde verilir:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}} \quad (2)$$

Bu denklemlerde,  $\partial T/\partial x$ ,  $\partial T/\partial y$ ,  $\partial T/\partial z$  potansiyel alanın sırasıyla x, y, z yönündeki türevlerini, tilt açısını T potansiyel alanı gösterir. Tilt açısının konturları pozitif ise kaynağın kendisini tanımlarken, negatif olduğunda kaynağın dışını ve sıfır konturu ise kaynağın sınırlarını temsil etmektedir.

### 3.4. Yatay gradyanın tilt açısı (TAHG)

#### 3.4. Tilt angle of the horizontal gradient (TAHG)

Ferreira vd., (2013) tarafından kaynak kenarlarını haritalanmasında ve sığ ve derin kaynaklı anomalilerin genliklerini dengeleyebilen faz tabanlı bir filtredir. TAHG filtresini;

$$TAHG = \text{atan} \frac{\frac{\partial THDR}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THDR}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THDR}{\partial y}\right)^2}} \quad (3)$$

bağıntısıyla vermiştir.

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

THDR bu bağıntıda potansiyel alanın toplam yatay gradyanını göstermektedir (Cordell & Grauch, 1985).  $\frac{\partial THDR}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial THDR}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial THDR}{\partial z}$  sırasıyla x, y, z yönlerinde T alanının yatay gradyanının türevleridir.

Bu yöntemde maksimum değerlerin jeolojik yapıların sınırlarını temsil etmektedir. Ferreira vd., (2013) teorik modelleri, bu yöntemin derinliğe daha az duyarlı olduğunu ve kaynak sınırlarını doğru bir şekilde sağlayabildiğini göstermiştir.

### 3.5 Softsign Fonksiyonu (SF)

#### 3.5 Softsign Function (SF)

Yanal sınırların tespit edilmesi için Pham vd., (2022) tarafından softsign fonksiyonu(SF);

$$SF = \frac{k \times THDR_z - (k+2) \sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2}}{\sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2} + \left| k \times THDR_z - (k+1) \sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2} \right|} \quad (5)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada k pozitif bir gerçektek sayı olup kenar çözünürlük faktörünü temsil etmektedir. Potansiyel alan kaynaklarının kenarlarını üreten SF yönteminde k değeri 1 ve 10 arasında en iyi sonuçları sağlar (Pham vd., 2022).  $THDR_x$ ,  $THDR_y$ ,  $THDR_z$  denkleminde sırasıyla yatay gradyanın x, y, z türevleridir (Cordell & Grauch, 1985).

SF yönteminin dezavantajı gürültüye diğer yöntemlere göre daha duyarlı olmasıdır. Yöntemin avantajı kaynakların yanal uzantıları hassas bir şekilde elde edilir, sonuçta sahte kenarların oluşması önlenir ve kenarlar daha yüksek çözünürlükte tanınır (Pham vd., 2022).

## 4. Bulgular ve tartışma

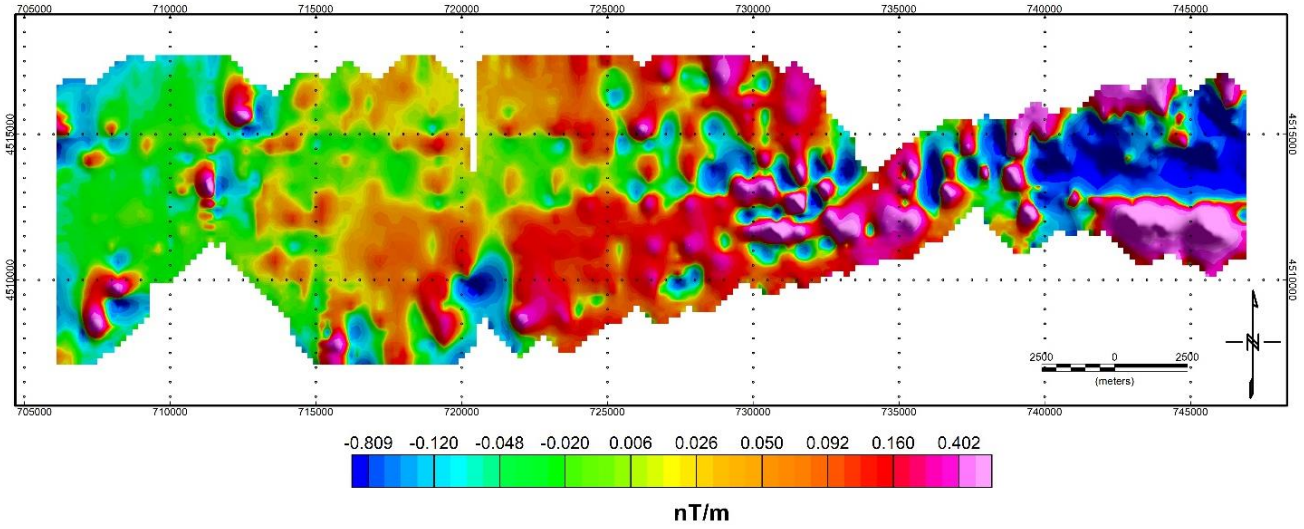
### 4. Results and discussion

Gelişmiş yapı sınır analiz yöntemlerini uygulamadan önce manyetik verilere bazı düzeltmeler uygulanmıştır. Bu düzeltmeler IGRF ve microleveling düzeltmeleridir. Ayrıca elde edilen toplam alan manyetik anomali haritasına kutba indirgeme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 4, Şekil 5). Kutba indirgenmiş anomali haritası ana pozitif ve negatif anomalilerin kuzeye doğru çekildiğini gösteriyor. 134 nT büyüklüğündeki maksimum pozitif anomali çalışma alanının batıya yakın kısmındadır. Orta ve doğu kısımlarında daha düşük anomali değişimlerinin yer aldığı görülmektedir.

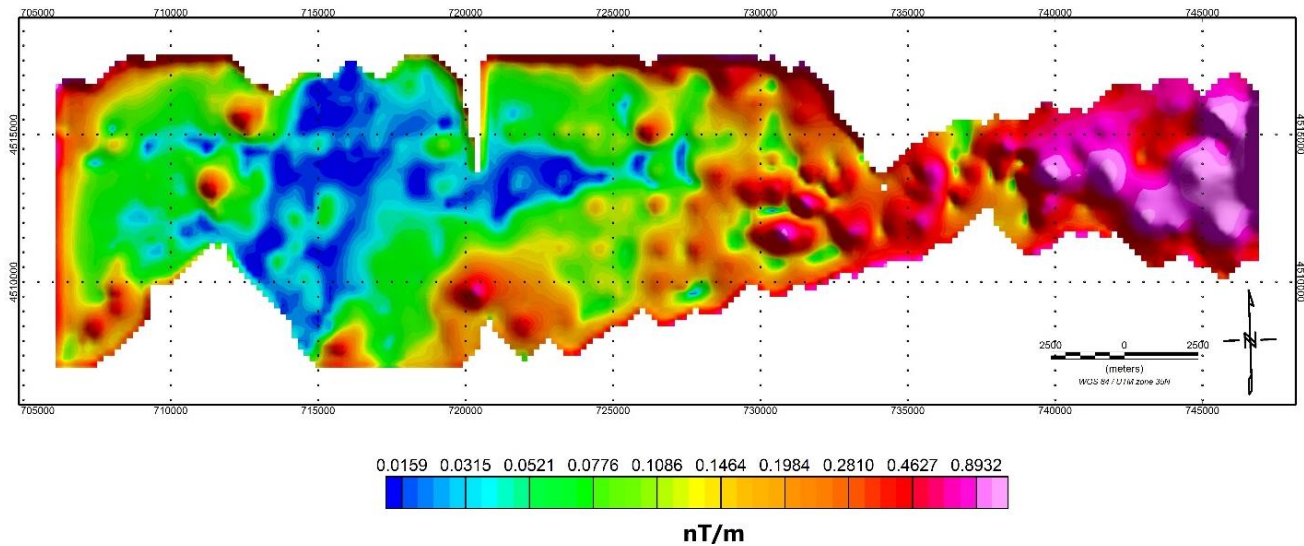
Kutba indirgenmiş anomali haritasına birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı, TAHG ve SF sonuçları Şekil 6-10 arasında gösterilmiştir. Çalışma alanının manyetik verilerine uygulanan filtreler manyetik anomali haritasını anomalilere kaynak olan yapıların kenarlarının ayırt edilebilmesi bakımından önemli ölçüde iyileştirmiştir.

Çalışma alanının kutba indirgenmiş toplam alan manyetik verisinden elde edilen birinci düşey türev haritası Şekil 6'da verilmiştir. Anomalilerin düşey türevi daha çok yüzeye yakın sığ yapılardan kaynaklı anomalileri belirginleştirmek için uygulanmıştır. Birinci düşey türev haritasında D-B ve K-G yönündeki ana yapıları oldukça iyi ortaya çıkarmaktadır. Bilindiği gibi AS'nin yüksek genliklerinin konumları manyetik bir kaynağı veya bir yapıyı göstermektedir. AS haritasında bakıldığında değerler 0.0159 ile 0.8932 nT/m arasındadır (Şekil 7). Çalışma alanının doğusunda ve kısmen de güney kıyılarında yüksek genlik ile açıkça bir yapının varlığı karakterize edilmiştir. Diğer bir sınır analiz yöntemi olan Tilt açısı haritasında değerler -1.427 ile 1.367 arasında değişmektedir (Şekil 8). Kaynağın sınır konumunda eğim açısı sıfırdır (Salem vd., 2008; Oruç & Selim, 2011). Jeolojik yapıların sınırlarının belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bu yöntem çalışma alanında iyi sonuçlar vermiştir. Tilt açısının sıfır konturu jeolojik yapının körfezin içerisinde D-B uzantılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte birden fazla sınır analizi yöntemlerinin uygulanması ve bunlardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticelerin güvenilirliğini sağlamaktadır. Fakat yöntemlerin avantaj ve dezavantajları da gözden kaçırılmamalıdır. Uygulanan filtrelerin sonuçlarında gözlemlenen benzerliklere rağmen önemli farklılıklar da olabilmektedir. Bu amaçla çalışma alanına son zamanlarda uygulanan yeni yöntemlerde kullanılmıştır.

Elde edilen haritalar incelendiğinde AS, birinci düşey türev, Tilt açısı, TAHG ve SF haritaları benzer sonuçlar göstermektedir. AS sinyal haritasında doğuda belirgin yapılar gözlenirken batıya doğru gidildiğinde daha düşük genlikli anomaliler yapı sınırlarını belirgin yansıtmamaktadır. Bu yöntemlerden en iyi sonuçlar TAHG ve SF yöntemleri için gözlenmiştir. TAHG, SF ve Tilt açısı haritaları incelendiğinde İzmit Körfezi'nin doğudan batıya uzanımında orta kısımlarda D-B uzanımlı anomaliler belirgin yapı sınırlarını yansıtmaktadır (Şekil 9,10). TAHG, SF, Tilt açısı yöntemlerinin sonuçları oldukça benzerdir ancak TAHG ve SF yöntemleri çalışma alanındaki yapısal sınırları ve jeolojik dokunakları daha net bir şekilde göstermiştir. Böylelikle yapı sınır analiz yöntemlerinden elde edilen haritalar olası yapıların bölgenin batısında daha derinlerde olabileceğini düşündürmektedir. Yapı sınır analizleri birlikte değerlendirilirken birden fazla analiz tekniğinin birlikte yorumlanması çalışma alanının yapı sınırlarının belirlenmesinde oldukça büyük katkılar sunmakta ve ayrıntılı bilgiler vermektedir. Tek bir yöntem jeolojik sınırların belirlenmesinde en iyi yöntem olarak seçilemez. Yöntemlerin birlikte entegre yaklaşımıyla çalışma alanında daha net bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada da yorumlama açısından elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

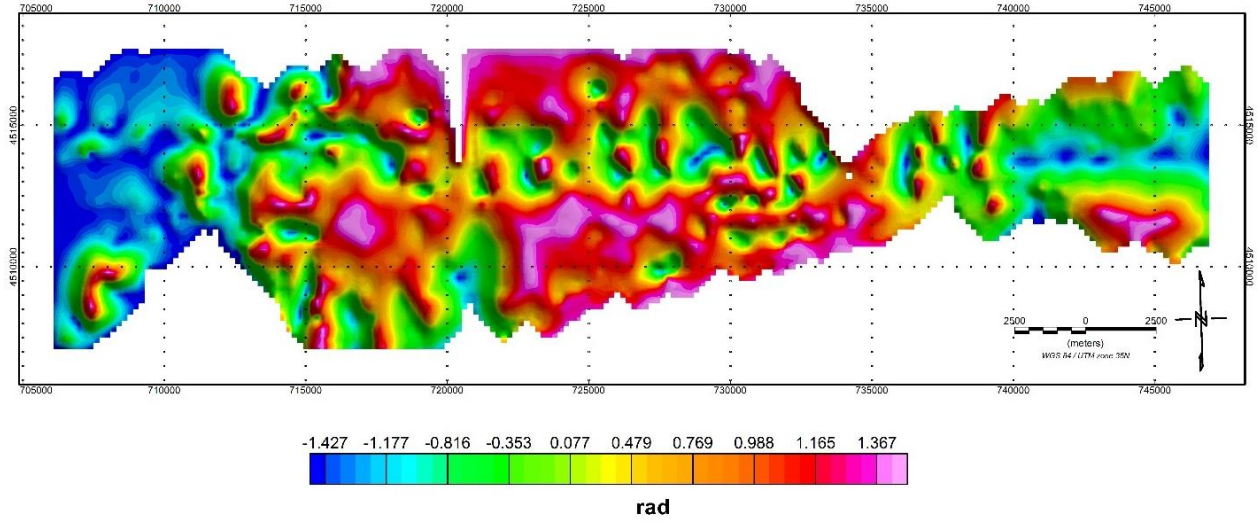


Şekil 6. Birinci düşey türev haritası  
Figure 6. First vertical derivative map

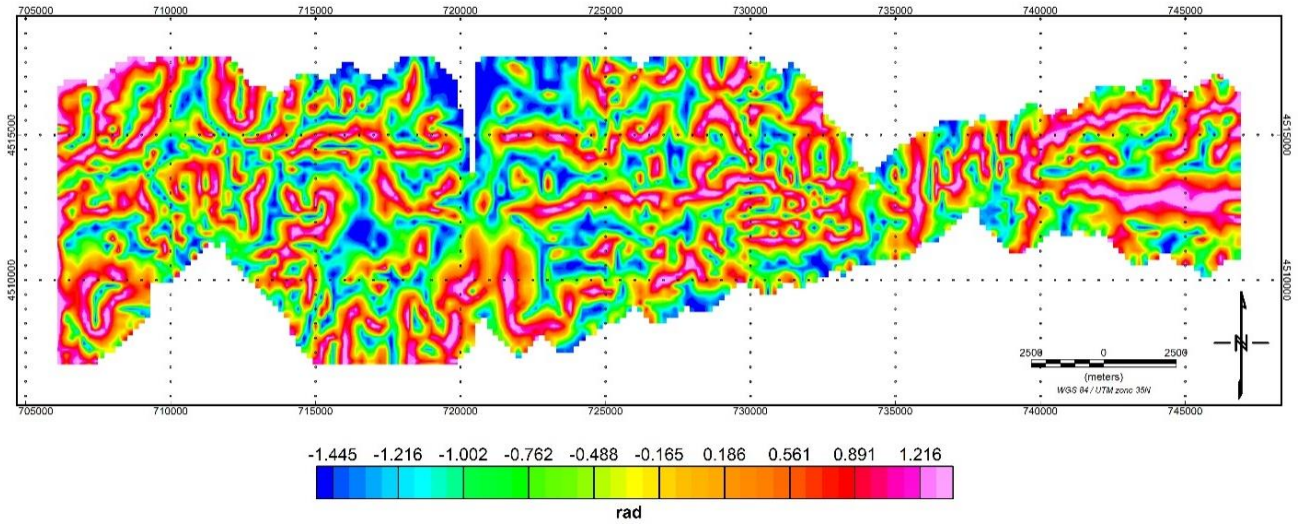


Şekil 7. Analitik sinyal haritası  
Figure 7. Analytic signal map

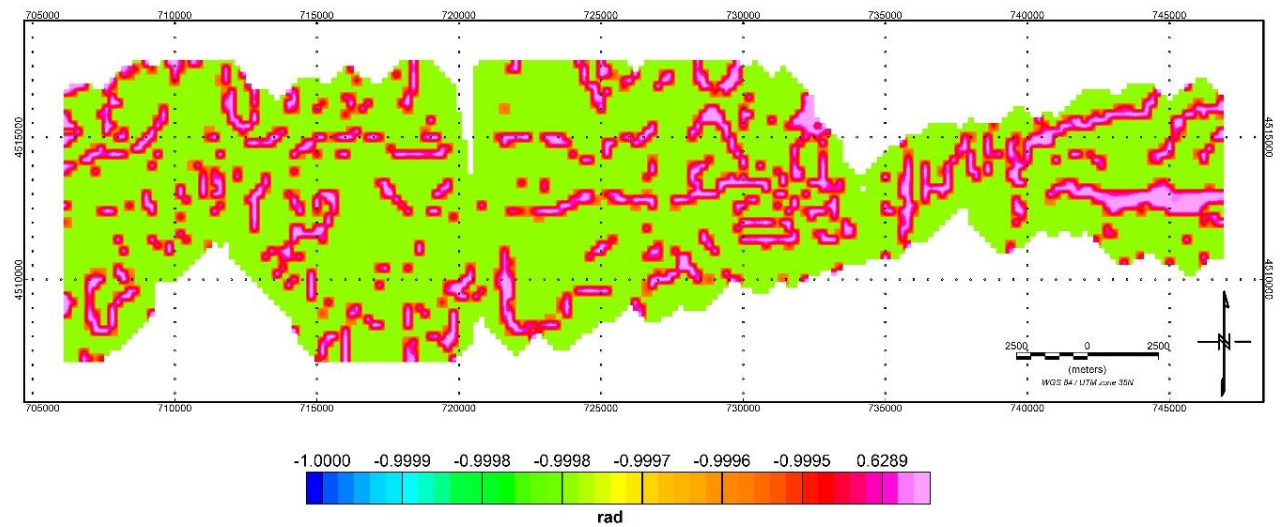




Şekil 8. Tilt açısı haritası  
Figure 8. Tilt angle map



Şekil 9. Çalışma alanının TAHG haritası  
Figure 9. TAHG map of study area

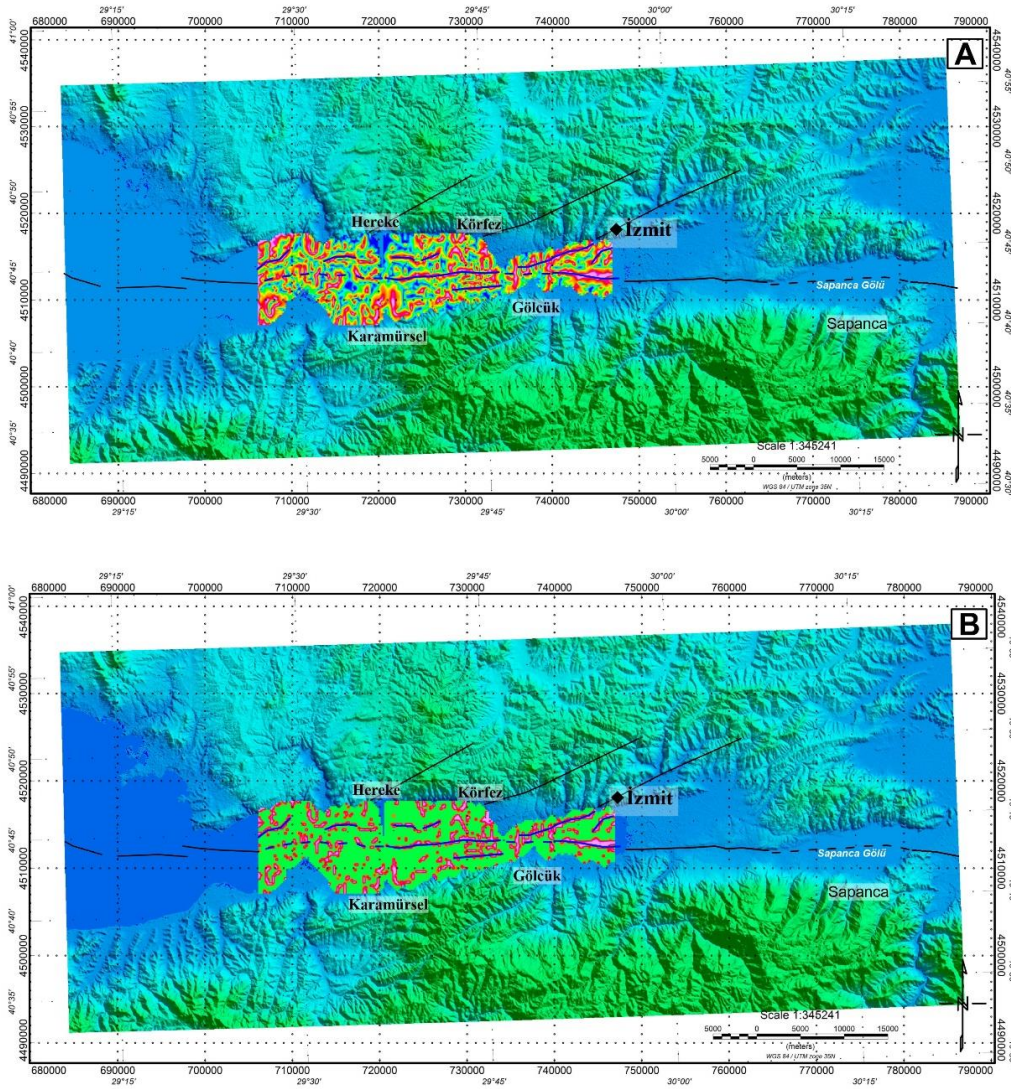


Şekil 10. Çalışma alanının SF haritası (k=5)  
Figure 10. SF map of study area (k=5)

Tilt açısında sıfır kontur çizgileri faylar, kırılma gibi jeolojik dokunaklara karşılık gelmektedir (Salem vd., 2008). Tilt açısı yapı sınırlarını çalışma alanında ortaya koymaktadır. TAHG ve SF çizgisellik haritasıyla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. TAHG bölgesel olarak daha iyi olduğundan grid noktalarını bazı yerlerde bağlamıştır (Şekil 9,10). Buna karşılık SF bu konuda daha iyi TAHG haritasından farklı olarak bu yerlerde kesikli sonuçlar vermiştir. İzmit Körfezi'ndeki yapısal özelliklerin görüntülenmesi için tilt açısı, TAHG ve SF yapı sınırlarının tespitinde oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Geliştirilmiş yapı sınır analiz teknikleri ile elde edilen haritaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlarla birlikte çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 11). Körfez içerisinde genel bölgesel tektonik gidış D-B yönlü olduğu açıkça Şekil 11' de görülebilmektedir. Tilt açısıyla gözlemlenemeyen başka birçok jeolojik yapıların olduğu görülmektedir. Tanımlanan çizgiselliklere ek olarak da birkaç çizgisellik de SF haritasında gözlenmektedir. Körfezin doğusunda KD-GB yönlü çizgisellik kenar tespit yöntemleriyle tespit edilmiştir (Şekil 9,10). SF filtresinin jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede hassasiyetini de ortaya koymaktadır.

Bu çalışma neticesinde gelişmiş kenar algılama teknikleri ile bölgenin manyetik verilerinden elde edilen çizgisellik haritaları bölgenin öne çıkan yapısal unsurları ile uyumludur. Bununla birlikte elde edilen haritalar bilinen yapısal unsurların yanı sıra pek çok farklı yeni çizgisellikler de sunması bölgenin tektonik ve jeolojik bilgilerinin ileriki çalışmalarda güncellenmesine katkı sağlayacaktır.



**Şekil 11.** Çalışma alanı çizgisellik haritası **A.** TAHG **B.** SF (siyah çizgiler MTA diri fay haritasından çizilmiş ve mavi renkteki çizgiler manyetik verilerden elde edilen yeni önerilen çizgiselliklerdir).

**Figure 11.** Lineament map of the study area (faults shown with black line are taken from the MTA fault map and the new lineaments are drawn in blue colour from magnetic data).



## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Bu çalışmada manyetik veriler İzmit Körfezi'nin manyetik verileri bölgenin çizgiselliklerini tanımlamak için kullanıldı. İzmit Körfezi manyetik anomalilerinden yapısal çizgiselliklerin haritalanması amacıyla birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı gibi geleneksel yöntemler ve ayrıca son zamanlarda TAHG ve SF gibi çözünürlüğü yüksek yeni sınır belirleme teknikleri kullanılmıştır. Uygulanan analiz teknikleri benzer sonuçlar vermiştir. SF' nin çözümü ile TAHG' nin çözümü oldukça benzer olmakla birlikte SF' nin yapı sınırlarında daha keskin sonuçlar verdiği açıktır. Ayrıca yakın zamanda önerilen SF filtresinin bölgesel tektonikle ilgili diğer tekniklerin uygulamasından elde edilen çizgiselliklerin analizindeki benzer tutarlılıkta ve daha yüksek hassasiyetle tanımlanmasını sağlaması bu tekniğin yararlı bir teknik olduğunu göstermektedir. Yapı sınır analiz teknikleri ile bölgeyi etkileyen D-B, KD-GB yönlerinde çeşitli yapısal eğilimler tanımlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 11). Bu çizgisellikler bölgesel tektonikle oldukça uyumludur. Çalışma alanında manyetik verilerin analizinden elde edilen sonuçlardaki D-B yönündeki çizgiselliklerin KAFZ' nun kuzey kolunun olduğunu göstermektedir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 48218 numaralı proje ile desteklenmiştir. Değerli yorumları için Prof. Dr. Z. Mümtaz HİSARLI' ya teşekkür ederiz. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Birinci yazar veri-işlem adımlarının hazırlanmasında, makalenin yazımında ve verilerin değerlendirilmesinde, ikinci yazar arazi çalışmaları ve veri analizinde 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 beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Aktaş, G., Hisarlı, Z. M., & Demirel, A. S. (2021). High-resolution total field magnetic anomaly maps of Lake İznik (NW Turkey): assessment of faults which play important roles in tectonics of the lake. *Marine Geophysical Research*, 42(3), 20. <https://doi.org/10.1007/s11001-021-09442-0>
- Aktaş, G., Hisarlı, Z. M., & Demirel, A. S. (2023). Interpretation of the tectonic structure of Gemlik Bay using magnetic data. *Tectonophysics*, 863, 230021. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230021>
- Algan, O., Altıok, H., & Yüce, H. (1999). Seasonal variation of suspended particulate matter in two-layered İzmit Bay, Turkey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(2), 235-250.
- Alpar B., & Yalıtırak C. (2002) Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution. *Marine Geology*, 190(1-2):329-350.

- Bargu S, & Yüksel A. (1993) Stratigraphic and structural features of the Quaternary sea bottom sediments of the Gulf of İzmit and distribution of their thickness (in Turkish). *Geological Bulletin of Turkey*, 8, 169–187.
- Barka A.A, & Kadinsky-Cade K. (1988) Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663–684.
- Barka A, & Kuşçu I (1996) Extends of the North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma bays. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 2, 93–106.
- Blakely, R.J. (1996), Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cordell, L., & Grauch, V. J. S. (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. *Society of Exploration Geophysicists*, pp. 181-197.
- Cormier, M. H., Seeber, L., McHugh, C. M., Polonia, A., Çağatay, N., Emre, Ö., ... & Newman, K. R. (2006). North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit (Turkey): Rapid vertical motion in response to minor bends of a nonvertical continental transform. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B4). <https://doi.org/10.1029/2005JB003633>.
- Demirel, S., Alpar, B., Yaltırak, C., Vardar, D., & Kurt, H. (2020). Northern segment of the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit inferred from marine magnetic anomalies. *Marine Geophysical Research*, 41, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11001-020-09399-6>.
- Ediger, V., Cankurtaranlar, A., & Akyol, O. (2021). Sea bottom features of eastern İzmit Bay and entrance zone of the North Anatolian Fault in the northeastern Marmara Sea. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1).
- Elkins, T.A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29-50. <https://doi.org/10.1190/1.1437648>
- Ferreira, F. J., de Souza, J., de B. e S. Bongiolo, A., & de Castro, L. G. (2013). Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), J33-J41.
- Gasperini L, Polonia A, Bortoluzzi G, Henry P, Le Pichon X, Tryon M, Çağatay N, & Géli L. (2011) How far did the surface rupture of the 1999 İzmit earthquake reach in Sea of Marmara? *Tectonics* 30, 1–20. <https://doi.org/10.1029/2010TC002726>.
- Göktaşan E, Alpar B, Gazioğlu C, Yücel Z.Y., Tok B., Doğan E., & Güneysu C. (2001) Active tectonics of the İzmit Gulf (NE Marmara Sea): from high resolution seismic and multi-beam bathymetry data. *Marine Geology*, 175, 273–296. doi: 10.1016/S0025-3227(01)00133-5.
- Görür, N., Çağatay, M. N., Sakinc, M., Sümengen, M., Sentürk, K., Yaltırak, C., & Tchapylyga, A. (1997). Origin of the Sea of Marmara as deduced from Neogene to Quaternary paleogeographic evolution of its frame. *International Geology Review*, 39(4), 342-352.
- Gurbuz, C., Aktar, M., Eyidogan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., ... & Yoruk, A. (2000). The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment. *Tectonophysics*, 316(1-2), 1-17.
- Kavukçu, S. (1990). Active fault investigation in İzmit Bay, Bandırma Bay and Erdek Bay of Marmara sea. *Proceedings Historical Seismicity and Seismotectonics of the Mediterranean Region, Turkish Atomic Energy Authority*, 238-266.
- Ketin İ (1968) Relations between general tectonic features and the main earthquake regions in Turkey (in Turkish). Ankara, *General Directorate of Mineral Research and Exploration Bulletin*, 71, 129–134
- Kurt, H., & Yücesoy, E. (2009). Submarine structures in the Gulf of İzmit, based on multichannel seismic reflection and multibeam bathymetry. *Marine Geophysical Researches*, 30, 73-84.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., & Awata, Y. (2002). Active faults in the Gulf of İzmit on the North Anatolian Fault, NW Turkey: a high-resolution shallow seismic study. *Marine Geology*, 190(1-2), 421-443.

- Lei, Y., Jiao, L., Tu, J., Zhao, J., & Huang, Q. (2022). Magnetic structure and its tectonic implication around Longmenshan fault zone revealed by EMAG2v3. *Frontiers in Earth Science*, 10, 848824.
- Miller H.G., Singh V. (1994) Potential field tilt-a new concept for location of potential field source. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).
- Nabighian M.N. (1972) The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517. <https://doi.org/10.1190/1.1440276>.
- Nabighian M.N. (1974) Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39, 85-92. <https://doi.org/10.1190/1.1440416>.
- Okyar M., Pinar A., Tezcan D., Kamacı Z. (2008) Late quaternary seismic stratigraphy and active faults of the Gulf of Izmit (NE Marmara Sea). *Marine Geophysical Research*, 29, 89–107. doi:10.1007/s11001-008- 9049-6.
- Oruç, B., & Keskinsezer, A. (2008). Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure and applied geophysics*, 165(9), 1913-1927. <https://doi.org/10.1007/s00024-008-0407-8>.
- Oruç, B., & Selim, H. H. (2011). Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet transform. *Journal of Applied Geophysics*, 74(4), 194-204.
- Ozhan, G., Kavukçu, S., Çete, M., & Kurtulus, C. (1985). Marmara Denizi Izmit Körfezi Yüksek Ayırmımlı Sığ Sismik Etüdü Raporu.
- Pham, L.T., Oksum, E., Le, D.V., Ferreira, F.J.F., Le, S.T., (2022). Edge detection of potential field sources using the softsign function. *Geocarto International*, 14. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1882007>.
- Roest W.R., Verhoef J., Pilkington M. (1992) Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 116-125. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Smith, R., Ravat, D.J. (2008). Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives; *Geophysics*, 73, L1–L10.
- Şengör, A.M.C. (1979), The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance, *Journal of the Geological Society*, 136, 269 – 282.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.
- Şengör, A.M.C., Demirbag, E., Tuysuz, O., Kurt, H., Gorur, N., & Kuscu, I. (1999). A preliminary note on the structure of the Gulf of Izmit: implications for the westerly prolongation of the North Anatolian Fault.
- Şengör A.M.C, Tüysüz O, Imren C, Sakıncı M, Eyidoğan H, Görür N, Le Pichon X, Rangin C. (2005) The North Anatolian Fault: a new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37–112.
- Tugrul, S., Morkoç, E., Okay, O., & Balkaú, T. (1989). The determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of the Izmit Bay. Wastewater treatment and disposal studies: NATO-TU WATERS. Final Report, TUBITAK Marmara Scientific and Industrial Research Center, Department of Chemical Engineering, Gebze, Istanbul, 193-259.
- Uzun, S. M. (2013). *İzmit Körfezi Kıyılarının Jeomorfolojisi ve Kıyı Alanı Kullanımı* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi,].
- Vardar, D., Alp, H., Demirel, S., Aykurt Vardar, H., & Alpar, B. (2021). Offshore/onshore correlation of the North-Anatolian fault deformations in the Western Sea of Marmara. *Natural Hazards*, 107, 1905-1923.
- Yalıtırak 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).

## Sıçanlarda tüm vücut PEMF cihaz etkisi için in-silico çalışma

*In-silico study for whole-body PEMF device effect in rats*

Miraç Dilruba GEYİKOĞLU\* 

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 25040, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 06.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

### Öz

Darbeli elektromanyetik alan (PEMF) stimülasyonu, cilt yara iyileşmesini, doku rejenerasyonu, kan damarı rejenerasyonu, kaynamayan kemik kırıklarının onarımı, dental tedavi gibi birçok uygulamada kullanılmaya başlanmış invazif olmayan bir terapötik modalitedir. Fakat bildiğimiz kadarıyla terapötik etkilerinin yanı sıra elektromanyetik alanın dokular üzerinde oluşturacağı olası yan etkiler detaylı olarak araştırılmamıştır. Bu çalışmada tüm vücut üzerinde kullanılan PEMF cihazlarının, dokular üzerinde oluşturacağı yan etkiler incelenmiştir. Simülasyonlar için elektromanyetik alan simülasyon yazılımı CST Studio Suite kullanılmıştır. Simülasyonlarda kullanılmak üzere farklı frekans (100 Hz, 100 kHz ve 27 MHz) ve farklı manyetik alan (0.25mT, 0.5mT ve 1mT) çıkışları verebilen RF bobini tasarlanmıştır. CST kütüphanesinde bulunan gerçekçi sıçan modeli kullanılmıştır. Simülasyonun gerçekçi bir ortamda yapılabilmesi için sıçan elektrik ve termal özellikleri ilgili frekans değerine göre Debye denklemleri aracılığıyla hesaplanmıştır. Simülasyon EM ve termal analiz olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. EM simülasyon ile dokular üzerinde oluşan özgül soğurma oranı, termal analiz ile dokular üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Farklı frekans ve manyetik alan yoğunluk değerlerine göre PEMF cihazının oluşturduğu etkiler kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Sonuçlara göre 27 MHz frekansında üç farklı manyetik alan yoğunluğu için de en yüksek SAR değeri oluşumu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla en yüksek sıcaklık farkı 0.7 °C ile yine bu frekansta oluşmuştur. Bu çalışmanın amacı farklı frekans ve farklı manyetik alan değerlerine göre simülasyon ortamında (a) sıçan üzerinde oluşan EM etkilerini belirlemek ve (b) oluşturacağı termal etkilerin yan tepki üretip üretmeyeceğini belirlemektir. Bu sayede invazif olmayan klinik PEMF cihazlarının iyileştirilmeleri mümkün hale gelecek ve elektromanyetik alanların dokularla etkileşimi hakkında ek bilgi sağlayacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Darbeli elektromanyetik alan, Kanser, RF bobin, Özgül soğurma oranı, Termal analiz

### Abstract

Pulsed electromagnetic field (PEMF) stimulation is a non-invasive therapeutic modality that has been employed in a variety of applications, including skin wound healing, tissue regeneration, blood vessel regeneration, repair of nonunion bone fractures, and dental treatment. Currently, the potential side effects of electromagnetic fields on tissues have not been comprehensively explored, despite their established therapeutic benefits. In this study, we examined the side effects of PEMF devices on whole-body tissues using simulations. The electromagnetic field simulation software CST Studio Suite was utilized, and an RF coil that could output different frequencies (100 Hz, 100 kHz, and 27 MHz) and magnetic fields (0.25 mT, 0.5, and 1 mT) was designed for the purpose of simulations. A realistic rat model, available from the CST library, was employed. Using the Debye equations according to the relevant frequency value, the electrical and thermal properties of the rat were calculated, and the simulation was carried out in two stages: EM and thermal analysis. The specific absorption rate in the tissues with EM simulation and the temperature distribution in the tissues with thermal analysis were examined. The effects created by the PEMF device at different frequencies and magnetic field intensities were presented comparatively. According to the results, the highest SAR value was observed for three different magnetic field intensities at a frequency of 27 MHz, resulting in a temperature difference of 0.7 °C. This study aims to determine the EM effects on rats in a simulated environment according to different frequencies and magnetic field values, as well as to determine whether the thermal effects created can produce a side response. By doing so, it will be possible to improve noninvasive clinical PEMF devices and provide additional information about the interaction of electromagnetic fields with tissues.

**Keywords:** Pulsed Electromagnetic Field, Cancer, RF Coil, Specific absorption rate, Thermal Analysis

\*Miraç Dilruba GEYİKOĞLU; miracg@atauni.edu.tr



epidemiyolojik bulgulara dayanarak, aşırı düşük frekanslı manyetik alanlar, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından insanlar için kanserojen (kategori 2B) olarak sınıflandırılmıştır (Repacholi, 2012). PEMF tüm vücut cihazlarının genellikle yalnızca kısa süreler için uygulanmasına rağmen, günlük uygulamalar toplam manyetik alan maruziyet seviyesini önemli ölçüde artırabilir ve bu da zaman ağırlıklı ortalama maruziyetin 0,4 mT'nin üzerinde olmasına neden olabilir. Ayrıca, elektrikli battaniyeler, saç kurutma makineleri veya elektrikli tıraş makineleri gibi elektrikli cihazların kullanımı ile yetişkinlerde kanser riskleri arasındaki ilişkileri gösteren bazı epidemiyolojik çalışmalar vardır (Abel vd., 2007; Kleinerman vd., 2005). Genel olarak PEMF ile yapılan çalışmalara bakıldığında terapötik etkiler sunulmuş, bunun dışında vücut üzerinde veya içerisinde oluşan özgül soğurma oranı (SAR) veya sıcaklık etkisi belirtilmemiştir. Bu sebeple terapötik etkilerin yanı sıra mutlaka SAR ve sıcaklık değişimi üzerindeki etkilerinde incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada tüm vücut PEMF cihazının sıçan üzerinde oluşturacağı muhtemel yan etkiler SAR ve sıcaklık değişimi bakımından incelenmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere farklı frekans ve farklı manyetik alan yoğunluk çıkış değeri sağlayabilen RF bobin tasarımı yapılmıştır. Biyolojik doku olarak sıçan fantomu kullanılmış ve doku parametreleri ilgili frekans değerleri için Debye denklemi kullanılarak elde edilmiştir. In silico ortamda yapılan çalışmalarda, 100 Hz, 100 kHz ve 27 MHz değerleri için sırasıyla 0.25 mT, 0.5 mT ve 1 mT manyetik alan yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Çalışmaların tamamı CST Studio Suite programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm II'de PEMF, sıçan doku modelleme ve RF bobin tasarımı sunulmaktadır. Bölüm III, EM ve termal simülasyon sonuçlarını açıklanmaktadır. Son olarak, bölüm IV'te elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Darbeli elektromanyetik alan

##### 2.1. Pulsed electromagnetic field

Darbeli elektromanyetik alan tedavisi, temel olarak düşük ve yüksek frekanslardan oluşturulan bir manyetik alanın terapötik amaçlarla uygulanması anlamına gelmektedir. PEMF tedavisi, enzim kinetiğini iyileştirerek ve hücre zarlarını yeniden polarize ederek, ağrıyı hafifletmek, iyileşme süreçlerini hızlandırmak, hücresel metabolizmayı uyarmak, doku beslenmesini ve oksijenlenmesini iyileştirmek, iltihabı azaltmak, ödem emilimini artırmak, kılcal akışı iyileştirmek ve kemik tedavilerinde kullanılmaktadır (Biermann vd., 2020; Choi vd., 2018; Feldman, 2018). PEMF tedavilerinde solenoid, radyant devreler veya antenler kullanılabilir. PEMF cihazında manyetik alan yoğunlukları, frekansları ve diğer sinyal özellikleri tedavide değişiklik oluşturmaktadır. Frekans ile ilgili olarak, tek değerlerden veya 1 ile 3000 Hz arasındaki aralıklardan bahsedilmiştir (Biermann vd., 2020; Choi vd., 2018; Feldman, 2018). Uygulamalar, manyetik akı yoğunluğu, sinyal tipi, frekans, süre ve tedavi seans sayısı açısından yüksek bir değişkenlik göstermiştir. Hem in vivo hem de in vitro modellerde, birkaç mT ile birkaç on mT arasında değişen manyetik alan yoğunlukları ile çok çeşitli PEMF sinyalleri ve konfigürasyonları kullanılmıştır. İki farklı PEMF terapi cihazı kategorisi vardır, birincisi terapötik kullanım için yüksek frekanslı, düşük yoğunluklu bir elektromanyetik alan oluşturmak üzere kısa radyo dalgaları yayan cihazlardır. Diğeri ise cilde temas eden solenoidleri kullanarak darbeli elektromanyetik alanlar yayan cihazlardır. Bu durumda cihazlar terapötik kullanım için düşük frekanslı, yüksek yoğunluklu bir alan yaymaktadır.

#### 2.2. Sıçan doku modelleme

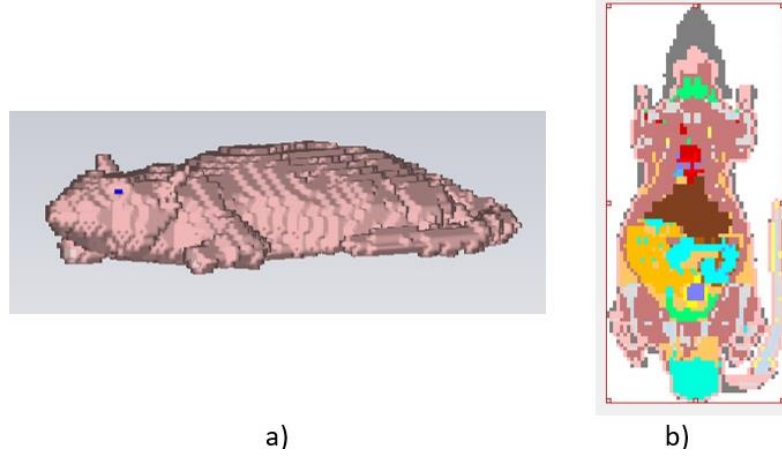
##### 2.2. The rat tissue modeling

Canlı dokusu bir dağılım ortamı olduğundan, vücut dokuları ilgili frekanslar için çift Debye modeli kullanılarak modellenilebilir (Lin, 2012). Biyolojik dokuların dağılıma doğası, Maxwell denklemleri (Balanis, 2016) kullanılarak uygulanabilir. Özellikle Ampere yasası dokulardaki akım yoğunluğunun hesaplanması için önemlidir. Dokuların ilgili frekans değeri için elektriksel özelliklerinin elde edilmesinde 1'nolu çift debye denklemi kullanılmaktadır (Mustafa vd., 2014):

$$\epsilon_T = \epsilon_\infty + \frac{\omega \tau_1 \Delta \epsilon_1 + \Delta \epsilon_2}{1 + (j\omega \tau_1)^a} + \frac{\Delta \epsilon_3}{1 + j\omega \tau_2} + \frac{\sigma}{j\omega \epsilon_0} \quad (1)$$



Burada  $\varepsilon_{\infty}$ ,  $\varepsilon_T$ ,  $\varepsilon_n$ ,  $\alpha$ ,  $\omega$  ve  $\tau_n$  sırasıyla sonsuz frekansta geçirgenlik, statik iletkenlik, geçirgenlik dağılımı, n'inci dağılımın genişlemesi, açılmal frekans ve gevşeme süresidir. CST kütüphanesinde bulunan sıçan modelin doku modeli Şekil 1'de görülmektedir. Sıçan doku modeli ( $3.827 \times 10.015 \times 4.75 \text{cm}^3$ ) boyutlarındadır. Sıçan doku modelinin sistematik oluşumunu sağlamak için Maxwell denklemleri ve Debye modelleme parametreleri birlikte kullanılmaktadır. Çalışma boyunca CST programı kullanılmıştır. Çalışan ağ hücrelerinin sayısı, çalışma frekansı aralığı ve doku boyutları referans alınarak belirlenmiştir. Mesh hücrelerinin sayısı, simülasyon doğruluğunu belirlemek için çok önemlidir.



**Şekil 1.** Gerçekçi sıçan modeli a) genel görüntü, b) üst görünüşe ait kesit görüntüsü.  
**Figure 1.** The realistic rat model is a) a general view, and b) a cross-section view of the top view.

### 2.3. RF bobin tasarımı

#### 2.3. The RF coil design

Tüm vücut PEMF tedavisinin sıçan modeli üzerinde oluşan SAR ve sıcaklık etkisini değerlendirmek için manyetik alan üretici olarak RF bobini tasarlanmıştır. Bu sistem 14 kanaldan oluşmakta ve çeşitli tedavi alanlarında PEMF'yi uyarmak için stimülasyon parametrelerini kontrol etmektedir. Manyetik alan yoğunluğu 1 ila 5 mT aralığındadır, çekirdeğe uygulanan voltaja göre kontrolü sağlanabilmektedir. Çalışma frekansı 100 Hz ila 30 MHz aralığında değiştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. PEMF uyarıcıları ve solenoit bobin görselleri Şekil 2'de verilmektedir. Tam sarılmış her bobinin ortalama çapı 35 cm'dir. Bobinler 5 mm'lik bir mesafe ile ayrılmaktadır. Bobin çiftlerinde zamanla değişen akımlar sağlanmıştır. Bu bobinler, zamanla değişen akımı maruz kalınan dokularda indükleyerek belirli zamanla değişen elektromanyetik alanlara dönüştürmektedir. Akım tarafından rastgele bir noktada üretilen manyetik alanı hesaplamak için Biot-Savart yasası kullanılmıştır. Yasa, artan manyetik alanı, toplam uzunluğa doğru akan akımla ilişkilendirilmektedir. Biot-Savart yasası 2'nolu denklem ile verilmektedir (Karaman vd., 2018);

$$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0 i \Delta \vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (2)$$

$\Delta B$  vektörü, merkezi eksene göre paralel ve dik bileşenlere ayrılabilir, böylece:

$$\Delta \vec{B} = \Delta B_{\parallel} \hat{i} + \Delta B_{\perp} \hat{j} \quad (3)$$

burada  $\Delta B_{\parallel}$ , x ekseni boyunca bir bileşendir ve  $\Delta B_{\perp}$ , x eksenine dik bir bileşendir.  $\Delta B_{\parallel}$  ve  $\Delta B_{\perp}$ , Denk-4 ve Denk-5 ile ilişkilidir.

$$\Delta \vec{B}_{\parallel} = \Delta \vec{B} \cos \alpha \quad (4)$$

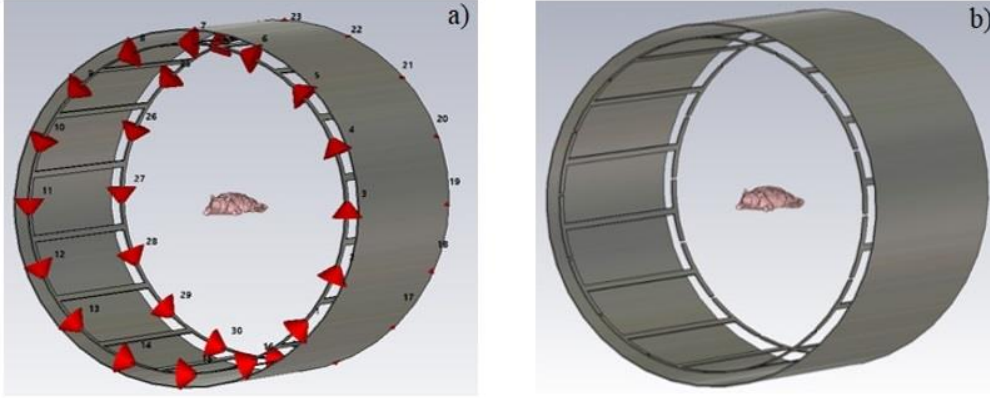
$$\Delta \vec{B}_{\perp} = \Delta \vec{B} \sin \alpha \quad (5)$$

Toplam manyetik alan Denk-6 yardımıyla bulunur.

$$\vec{B} = \sum \Delta \vec{B} = \sum \Delta B_{\parallel} \hat{i} + \sum \Delta B_{\perp} \hat{j} \quad (6)$$

Simülasyon çalışmaları için sıçan fantomu bobin sisteminin merkezine yerleştirilecektir. Bu sayede mesafeye bağlı oluşacak etkinin minimaliz edilmesi beklenmektedir. Bu sebeple, bobin sisteminin merkezindeki manyetik alan değeri oldukça önemlidir ve şu şekilde hesaplanmıştır (Denk-7) (Karaman vd., 2018):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{R}{(R^2+x^2)^{3/2}} 2\pi R = \frac{\mu_0 i}{2} \frac{R^2}{(R^2+x^2)^{3/2}} \quad (7)$$



**Şekil 2.** RF Bobin tasarımı a) uyarıcılar, b) solenoid bobinleri.  
**Figure 2.** The RF Coil design is a) exciters, b) solenoid coils.

### 3. Bulgular

#### 3. Results

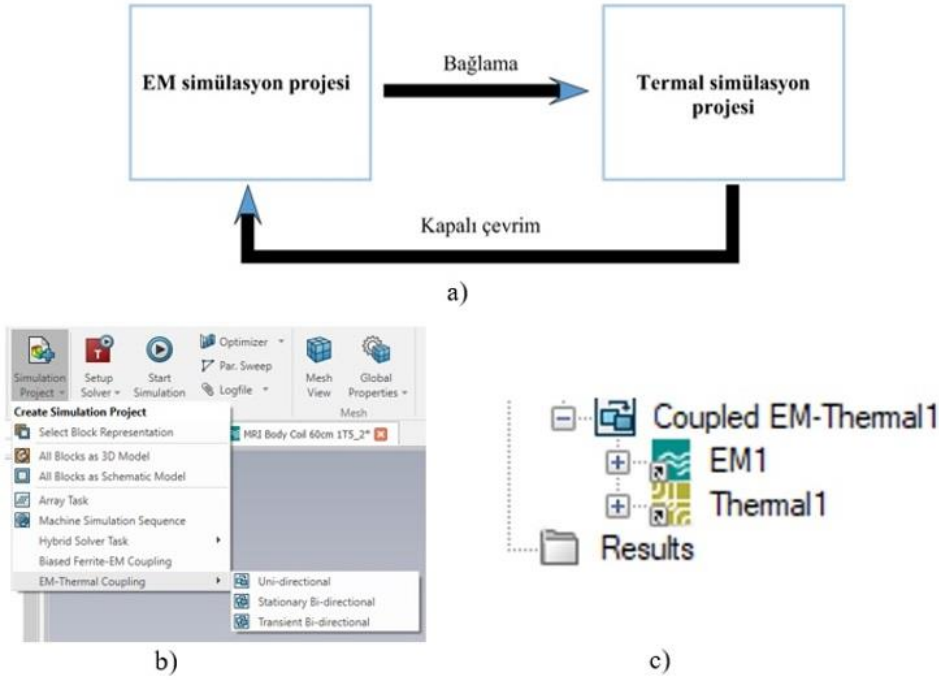
Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı, epidemiyolojik bulgulara dayanarak, aşırı düşük frekanslı manyetik alanları insanlar için kanserojen (kategori 2B) olarak sınıflandırmıştır (Smith, 2003). Bu bakımdan tüm vücut PEMF cihazlarının terapötik kullanımının yanı sıra olası yan etkileri için EM ve termal analiz bakımından araştırılması gerekmektedir. Bu cihazlar tarafından üretilen manyetik akı yoğunlukları da nispeten yüksektir. Dokularda manyetik olarak indüklenen elektrik alanların titiz bir şekilde hesaplanması için simülasyonların gerçekçi bir ortamda yapılması gerekmektedir. Dokuların gerçekçi bir yapıya sahip olabilmesi için heterojen ve çok katmanlı olarak tanımlanmalıdır. Bu durumda doku içerisindeki sıvı miktarı, kan perfüzyonu ve dokuların elektriksel termal özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. İlaveten EM simülasyon ile termal analiz bir döngü içinde ele alınmalıdır (Şekil 3(a)). EM simülasyondan elde edilen SAR değer sonuçları termal analiz için girdi olarak kullanılmaktadır. İki analiz programının birlikte ele alınabilmesi için CST programında döngü ayarlamalarının yapılması gerekmektedir. Şekil 3 (b) ve Şekil 3(c)'de döngü için ara yüzde yapılan ayarlamalara ait görseller verilmektedir. Simülasyon programında Boundary Conditions - Open, Background Properties- Material Type/Normal, Mesh Properties – Hexahedral (Near to model:15, Far from Model:15, Meshcells = 8.5246.402) olarak ayarlanmıştır ve Time Domain Solver kullanılarak çözümlenmiştir. Simülasyonlar için Intel® Core™ i9-10900KF CPU @3.7 GHz, 128 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayar kullanılmıştır. SAR değeri frekansa bağlı olarak değişen ve sıcaklık dağılımını etkileyen temel unsurdur. Simülasyon çalışmaları için RF bobin merkezine yerleştirilen sıçan görseli Şekil-2'de verilmektedir. Bütün simülasyonlar süresince sıçan bobin merkezine konumlandırılarak, bobin sıçan arasındaki mesafe sabit kabul edilmiştir. Bu şekilde mesafeye bağlı olarak elde edilecek etki bütün simülasyonlarda eşit kabul edilmiştir.

#### 3.1. EM simülasyon analizi

##### 3.1. The EM simulation analysis

EM simülasyon analizleri ile dokular üzerinde oluşan özgül soğurma oranı tespiti yapılmaktadır. Özgül soğurma oranı, elektromanyetik alana maruz kalındığında dokular tarafından soğrulan enerji oranının bir ölçüsüdür. Bu, doku üzerinde algılanabilir bir sıcaklık artışının meydana gelmesini sağlayan esas parametredir. Uluslararası güvenlik standartlarına göre vücut için 1 gr doku üzerinde 1.6 W/kg SAR seviyesinin oluşmasına izin verilmektedir (Lin, 2012). Doğru analiz için dokuların elektriksel özelliklerinin ilgili çalışma frekansına

göre hesaplanarak tanımlanması gerekmektedir. RF bobin içerisine yerleştirilen sıçana ait tüm vücut dokuları sırasıyla 100 Hz, 100 kHz ve 27 MHz frekans değerleri için çift debye denklemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplanan bazı parametreler ile ilgili elde edilen veriler Tablo 2’de verilmektedir.



**Şekil 3.** Çalışma döngüsü ve CST ara yüz a) Simülasyon çalışma döngüsü, b) EM-termal birleşim CST arayüzü-1 c) EM-termal birleşim CST arayüzü-2.

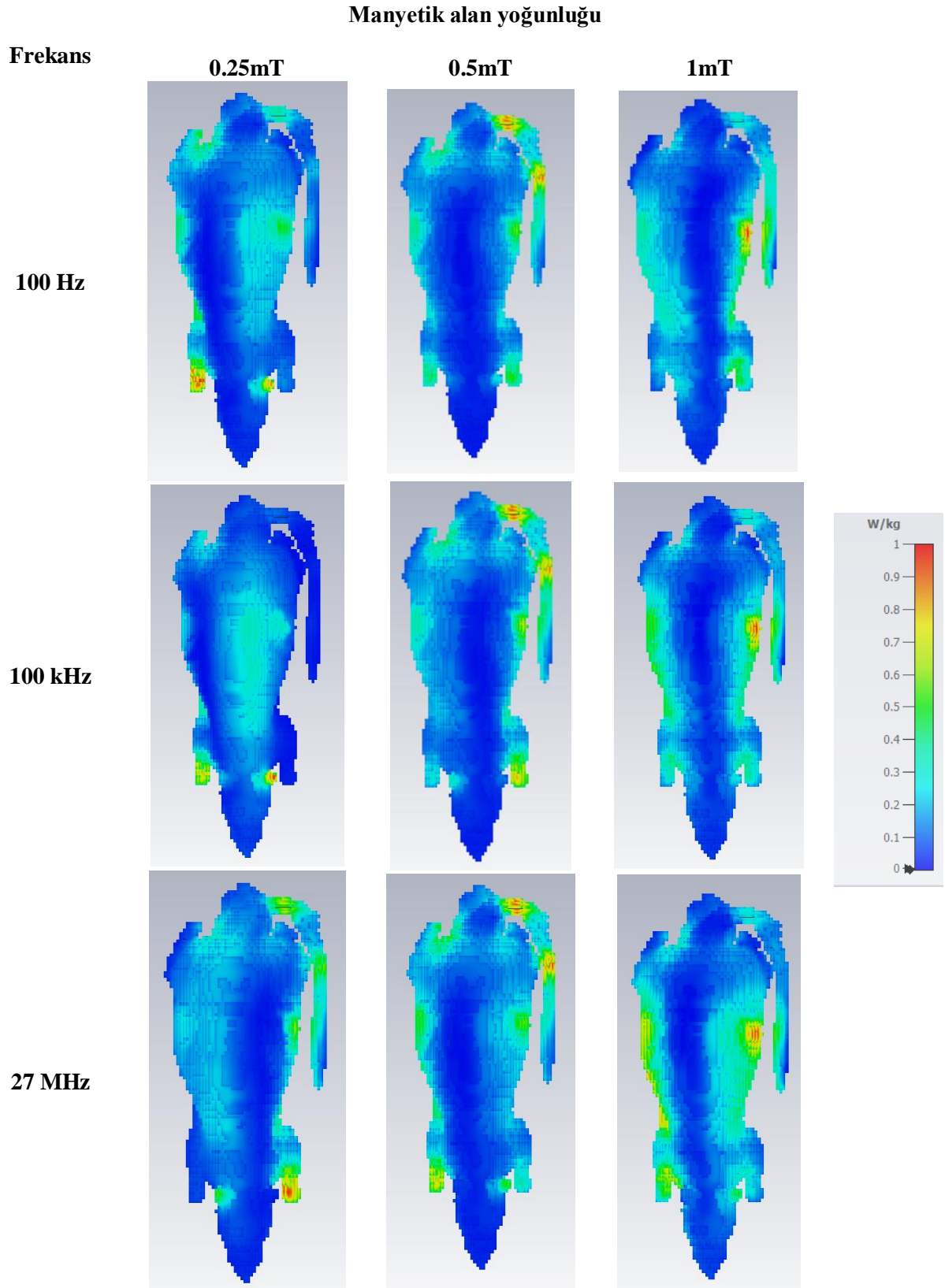
**Figure 3.** The closed loop and CST interface are a) Simulation closed loop, b) EM-thermal junction CST interface-1, and c) EM-thermal junction CST interface-2.

**Tablo 2.** 27 MHz için bazı dokulara ait Debye parametreleri (Peyman vd.,2001)

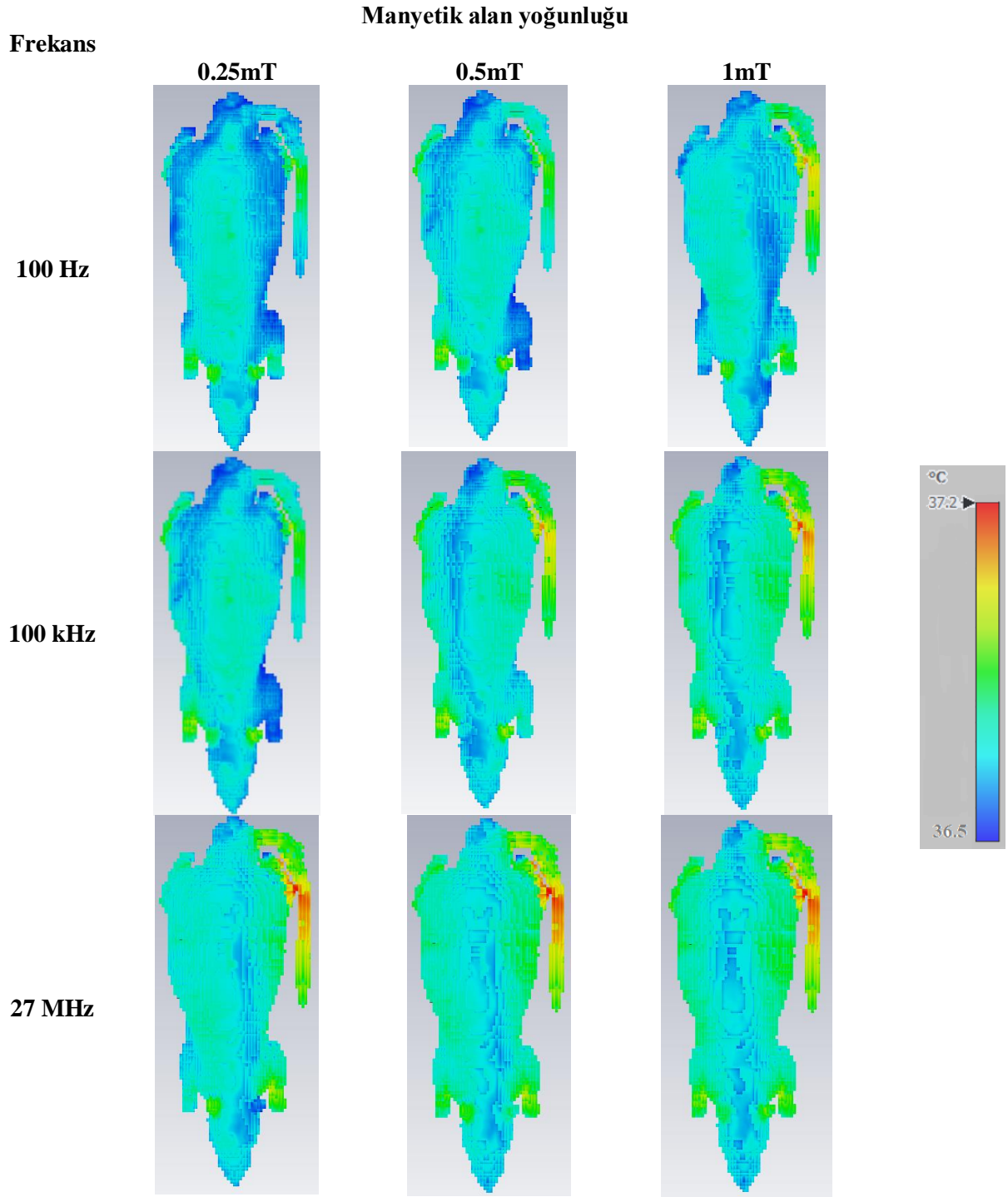
**Table 2.** The Debye parameters of some tissues for 27 MHz. (Peyman vd.,2001)

Dokular	$\epsilon_{\infty}$	$\Delta\epsilon_n$	$\tau_n$ (ps)	$\sigma_s$ (S/m)
Yağ-1	15.93	23.83	12	4.34E-2
Yağ-2	3.110	1.592	12	2.44E-2
Deri	12	2.7	0.3	4.51E-4
Kas	11.20	40.49	11.7	3.62E-1

Simülasyon çalışmaları farklı frekans ve farklı manyetik alan yoğunluk değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Tüm vücut için elde edilen SAR<sub>1g</sub> sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4’te verilmektedir. Frekansın artışına göre dokular üzerinde oluşan SAR değeri de artmaktadır. Tüm vücut sonuçlarına göre 27 MHz frekansında vücut yüzeyi üzerinde en yüksek SAR değeri ve en yüksek SAR değerine sahip doku bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Manyetik alan yoğunluğundaki lineer artış, SAR dağılımı üzerinde de görülmektedir. Özellikle belirli bölgelerde daha yoğun SAR oluşumu görülmüştür. Bunun, bölgedeki sıvı akışı ve kan perfüzyon oranına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.



**Şekil 4.** Tüm vücut üzerinde oluşan SAR dağılımı.  
*Figure 4.* The SAR distribution over the whole body.



**Şekil 5.** Tüm vücut üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı.  
**Figure 5.** The temperature distribution over the whole body.

### 3.2. Termal simülasyon analizi

#### 3.2. The thermal simulation analysis

Sıçan üzerinde termal analiz yapılabilmesi için EM simülasyon sonuçları termal analiz simülasyonuna girdi olarak kullanılmaktadır. Çünkü termal analizi belirleyen temel unsur doku üzerinde oluşan SAR değeridir. İlaveeten, kan akış hızı ve dokuların metabolik ısısı oldukça önemlidir. RF bobini içerisine yerleştirilen sıçan üzerinde oluşan termal etkileri incelemek için, dokuların termal özellikleri 100 Hz, 100 kHz ve 27 MHz için sırasıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bazı dokulara ait veriler Tablo 3'te verilmektedir.



**Tablo 3.** 27 MHz için bazı dokulara ait termal özellikler**Table 3.** The thermal properties of some tissues for 27 MHz.

Dokular	$C_p$ (J/kg ° C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$K$ (W/m° C)	$A_0$ (W/m <sup>3</sup> )	$B$ (W/m <sup>3</sup> ° C)
Yağ-1	2348	1125	0.31	1620	5320
Yağ-2	3791	911	0.27	370	2435
Deri	2274	1178	0.34	270	1840
Kas	1256	752	0.3	790	2300

Simülasyon çalışmaları farklı frekans ve farklı manyetik alan yoğunluk değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen termal analiz sonuçları tüm vücut üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı için Şekil 5'te verilmektedir. Tüm vücut sonuçlarına göre, genel olarak en yüksek sıcaklık 37.2 °C olarak kaydedilmiştir. Vücut sıcaklığı çalışma süresince 36.5°C sabit değerde alındığı için arada oluşan 0.7 °C 'lık sıcaklık farkı azımsanmayacak derece önemlidir. Kontrolsüz sıcaklık artışı dokularda tahribata sebebiyet verebilmektedir. 100 Hz frekansında 5 mT manyetik alan uygulamasında maksimum 36.8 °C sıcaklık gözlemlenirken, 100 kHz ve 27 MHz de maksimum sıcaklık gözlemlenmiştir. Manyetik alan yoğunluğunun artmasına bağlı olarak sıcaklık değişiminde de artış gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklık farkının ve dokular üzerindeki sıcaklık değişiminin 27MHz'de olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Tüm vücut PEMF tedavisinin akut yan etkileri bildirilmezken, uzun süreli uygulamalardan sonra ortaya çıkan yan etkiler şimdiye kadar çalışılmamıştır. PEMF tedavisi, cilt yara iyileşmesini, doku rejenerasyonu, kan damarı rejenerasyonu, kaynamayan kemik kırıklarının onarımı, dental tedavi gibi birçok uygulamada kullanılmaya başlanmış invazif olmayan bir terapötik modalitedir. Fakat terapötik etkilerinin yanı sıra elektromanyetik alanın dokular üzerinde oluşturacağı olası yan etkilerinde detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada tüm vücut üzerinde kullanılan PEMF cihazlarının, dokular üzerinde oluşturacağı yan etkiler incelenmiştir. Simülasyonlarda kullanılmak üzere farklı frekans (100 Hz, 100 kHz ve 27 MHz ,) ve farklı manyetik alan (0.25mT, 0.5mT ve 1mT) çıkışları verebilen RF bobini tasarlanmıştır. Simülasyon EM ve termal analiz olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. EM simülasyon ile dokular üzerinde oluşan özgül soğurma oranı, termal analiz ile dokular üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Sonuçlara göre 27 MHz frekansında üç farklı manyetik alan yoğunluğu içinde en yüksek SAR değeri oluşumu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla en yüksek sıcaklık farkı 0.7 °C ile yine bu frekansta oluşmuştur. Tasarlanan PEMF düzeneği ile elde edilen SAR değeri ve sıcaklık farkı uluslararası güvenlik standartlarına göre sınır değerlerin altındadır.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Miraç Dilruba GEYİKOĞLU: literatür taraması, metodoloji, in silico çalışmalar, ilgili tabloların/şekillerin hazırlanması ve yorumlanması, bulgular ve sonuç kısmının şekillendirilmesi, makalenin düzenlenmesi ve tüm süreçlerin yürütülmesi.

#### 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*

- Abel, E. L., Hendrix, S. L., Mcneely, G. S., O'leary, E. S., Mossavar-Rahmani, Y., Johnson, S. R., & Kruger, M. (2007). Use of electric blankets and association with prevalence of endometrial cancer. In *European Journal of Cancer Prevention* (Vol. 16). Lippincott Williams & Wilkins. <http://journals.lww.com/eurjancerprev>.
- Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., Linet, M., McBride, M., Michaelis, J., Olsen, J. H., Tynes, T., & Verkasalo, P. K. (2000). A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*, 83(5), 692–698. <https://doi.org/10.1054/bjoc.2000.1376>.
- Balanis, C. A. (n.d.). *Antenna Theory Analysis and Design Third Edition*. www.copyright.com.
- Biermann, N., Sommerauer, L., Diesch, S., Koch, C., Jung, F., Kehrer, A., Prantl, L., & Taeger, C. D. (2020). The influence of pulsed electromagnetic field therapy (PEMFT) on cutaneous blood flow in healthy volunteers. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 76(4), 495–501. <https://doi.org/10.3233/CH-209224>.
- Ca, B. (1989). Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). In *Crit. Rev Biomed Eng* (Vol. 17, Issue 5).
- Choi, H. M. C., Cheing, A. K. K., Ng, G. Y. F., & Cheing, G. L. Y. (2018). Effects of pulsed electromagnetic field (PEMF) on the tensile biomechanical properties of diabetic wounds at different phases of healing. *PLoS ONE*, 13(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191074>.
- Choi, M. C., Cheung, K. K., Li, X., & Cheing, G. L. Y. (2016). Pulsed electromagnetic field (PEMF) promotes collagen fibre deposition associated with increased myofibroblast population in the early healing phase of diabetic wound. *Archives of Dermatological Research*, 308(1), 21–29. <https://doi.org/10.1007/s00403-015-1604-9>.
- Lin, J.C. (2012). *Electromagnetic Fields In Biological Systems*. CRC Press.
- Feldman, D. S. (2018). The feasibility of using pulsatile electromagnetic fields (PEMFs) to enhance the regenerative ability of dermal biomaterial scaffolds. *Journal of Functional Biomaterials*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/jfb9040066>.
- Friedenberg, R., Metz, R., Mako, M., & Surmaczynska, B. (n.d.). Differential Plasma Insulin Response to Glucose and Glucagon Stimulation Following Ethanol Priming. <http://diabetesjournals.org/diabetes/article-pdf/20/6/397/346316/20-6-397.pdf>.
- Huegel, J., Choi, D. S., Nuss, C. A., Minnig, M. C. C., Tucker, J. J., Kuntz, A. F., Waldorff, E. I., Zhang, N., Ryaby, J. T., & Soslowsky, L. J. (2018). Effects of pulsed electromagnetic field therapy at different frequencies and durations on rotator cuff tendon-to-bone healing in a rat model. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 27(3), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.09.024>.
- Hug, K., & Rössli, M. (2012). Therapeutic effects of whole-body devices applying pulsed electromagnetic fields (PEMF): A systematic literature review. *Bioelectromagnetics*, 33(2), 95-105.
- Iwasa, K., & Reddi, A. H. (2018). Pulsed Electromagnetic Fields and Tissue Engineering of the Joints. In *Tissue Engineering - Part B: Reviews* (Vol. 24, Issue 2, pp. 144–154). Mary Ann Liebert Inc. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2017.0294>.
- Jaermann, T., Suter, F., Osterwalder, D., & Luechinger, R. (2011). Measurement and analysis of electromagnetic fields of pulsed magnetic field therapy systems for private use. *Journal of Radiological Protection*, 31(1), 107–116. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/31/1/007>.
- Jeran, M., Zaffuto, S., Moratti, A., Bagnacani, M., & Cadossi, R. (1987). Pemf stimulation of skin ulcers of venous origin in humans preliminary report of a double-blind study. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 6(2), 181–188. <https://doi.org/10.3109/15368378709027737>.
- Karaman, O., Gumusay, M., Demirci, E. A., & Kaya, A. (2018). Comparative assessment of pulsed electromagnetic fields (PEMF) and pulsed radio frequency energy (PRFE) on an in vitro wound healing model. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 57(4), 427–437. <https://doi.org/10.3233/JAE-170129>.

- Kim, J. Y., Lee, J. Y., Lee, J. W., Lee, S. K., Park, C. S., Yang, S. J., & Lee, Y. H. (2022). Evaluation of Atopic Dermatitis Improvement Caused by Low-Level, Low-Frequency Pulsed Electromagnetic Fields. *Bioelectromagnetics*, 43(4), 268–277. <https://doi.org/10.1002/bem.22405>.
- Kleinerman, R. A., Tucker, M. A., Tarone, R. E., Abramson, D. H., Seddon, J. M., Stovall, M., Li, F. P., & Fraumeni, J. F. (2005). Risk of new cancers after radiotherapy in long-term survivors of retinoblastoma: An extended follow-up. *Journal of Clinical Oncology*, 23(10), 2272–2279. <https://doi.org/10.1200/JCO.2005.05.054>.
- Kwan, R. L. C., Lu, S., Choi, H. M. C., Kloth, L. C., & Cheing, G. L. Y. (2019). Efficacy of biophysical energies on healing of diabetic skin wounds in cell studies and animal experimental models: A systematic review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 20, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms20020368>.
- Lai-Chu Kwan, R., Wong, W.-C., Yip, S.-L., Chan, K.-L., Zheng, Y.-P., & Lai-Ying Cheing, G. (2015). Pulsed Electromagnetic Field Therapy Promotes Healing and Microcirculation of Chronic Diabetic Foot Ulcers: A Pilot Study.
- Laqué-Rupérez, E., Ruiz-Gómez, M. J., De La Peña, L., Gil, L., & Martínez-Morillo, M. (2003). Methotrexate cytotoxicity on MCF-7 breast cancer cells is not altered by exposure to 25 Hz, 1.5 mT magnetic field and iron (III) chloride hexahydrate. *Bioelectrochemistry*, 60(1–2), 81–86. [https://doi.org/10.1016/S1567-5394\(03\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S1567-5394(03)00054-9).
- Lee, J. W., Kim, J. Y., Lee, N. R., & Lee, Y. H. (2022). Effect of pulsed electromagnetic fields stimulation on ischemic skin model. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 41(1), 15–24. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1963763>.
- Mahmood, A. I., Gharghan, S. K., Eldosoky, M. A., & Soliman, A. M. (2022). Near-field wireless power transfer used in biomedical implants: A comprehensive review. In *IET Power Electronics* (Vol. 15, Issue 16, pp. 1936–1955). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1049/pel2.12351>.
- Markov, M. S. (2007). Expanding use of pulsed electromagnetic field therapies. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 26(3), 257–274. <https://doi.org/10.1080/15368370701580806>.
- Markov, M. S., Ryaby, J. T., & Waldorff, E. I. (n.d.). Pulsed Electromagnetic Fields for Clinical Applications.
- Monache, S. D., Alessandro, R., Iorio, R., Gualtieri, G., & Colonna, R. (2008). Extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMFs) induce invitro angiogenesis process in human endothelial cells. *Bioelectromagnetics*, 29(8), 640–648. <https://doi.org/10.1002/bem.20430>.
- Mustafa, S., Abbosh, A. M., & Nguyen, P. T. (2014). Modeling human head tissues using fourth-order Debye model in convolution-based three-dimensional finite-difference time-domain. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(3), 1354–1361.
- Pena-Philippides, J. C., Yang, Y., Bragina, O., Hagberg, S., Nemoto, E., & Roitbak, T. (2014). Effect of Pulsed Electromagnetic Field (PEMF) on Infarct Size and Inflammation After Cerebral Ischemia in Mice. *Translational Stroke Research*, 5(4), 491–500. <https://doi.org/10.1007/s12975-014-0334-1>.
- Peyman, A., Rezazadeh, A. A., & Gabriel, C. (2001). Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies. *Physics in Medicine & Biology*, 46(6), 1617.
- Repacholi, M. (2012). Concern that “EMF” magnetic fields from power lines cause cancer. *Science of the Total Environment*, 426, 454–458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.030>.
- Rubin, C. T., Donahue, H. J., Rubin, J. E., & McLeod, K. J. (1993). Optimization of Electric Field Parameters for the Control of Bone Remodeling: Exploitation of an Indigenous Mechanism for the Prevention of Osteopenia. In *Journal of Bone and Mineral Research* (Vol. 8, Issue 2). Mary Ann Liebert, Inc., Publishers.
- Schwab, S. M., Androjna, C., Waldorff, E. I., Ryaby, J. T., Moore, L. R., Midura, R. J., & Zborowski, M. (2016). Mechanical Stress on Suspended Cortical Bone Sample by Low Frequency Magnetic Field. *IEEE Transactions on Magnetics*, 52(7). <https://doi.org/10.1109/TMAG.2016.2515069>.
- Sisken, B. F. (1996). Therapeutic aspects of electromagnetic fields for soft-tissue healing. *Advances in Chemistry Series*, 250, 283–285. <https://doi.org/10.1021/ba-1995-0250.ch015>.

- Smith, R. A. (2003). IARC handbooks of cancer prevention, volume 7: Breast cancer screening. *Breast Cancer Research*, 5(4). <https://doi.org/10.1186/bcr616>.
- Yang, H. J., Kim, R. Y., & Hwang, S. J. (2015). Pulsed electromagnetic fields enhance bone morphogenetic protein-2 dependent-bone regeneration. *Tissue Engineering - Part A*, 21(19–20), 2629–2637. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2015.0032>.

## Topology optimization and numerical verification in an aircraft engine bracket

*Uçak motor braketinde topoloji optimizasyonu ve sayısal olarak doğrulaması*

İsmail SARAÇ\*<sup>1</sup> , Alp Timuçin KOÇAK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

<sup>2</sup>Türk Havaçılık ve Uzay Sanayii, 06980, Ankara

• Received: 18.07.2023

• Accepted: 28.12.2023

### Abstract

The importance of saving energy and materials by lightening structures is constantly increasing. With its powerful software capabilities, Topology Optimization produces solutions for this exact purpose. In addition, thanks to Topology Optimization, more innovative and competitive structures can be produced. The development of additive manufacturing methods has also increased interest in Topology Optimization. In Topology Optimization, volumetric elements that do not carry any load or carry little load are removed from the structure. Thus, lighter, but sufficiently durable structures can be obtained. In this study, the topology optimization of a bracket used as a fastener in a jet engine was carried out using ABAQUS Finite Element software. Required bracket geometry, load conditions, and material information were obtained from an online design competition announced by General Electric. Ti6Al4V alloy was used as the bracket material. At the beginning of the study, static analysis was performed on the original bracket model to obtain the load paths required for topology optimization. As a result of the static analysis, the load paths within the jet engine bracket were determined and topology optimization was applied to the bracket to minimize the mass without reducing the rigidity. As a result of the analysis studies, it has been proven that nearly 80% material savings can be achieved from the bracket thanks to topology optimization.

**Keywords:** Bracket, Finite elements analysis, TiAl6V4, Topology optimization

### Öz

Yapıları hafifleterek enerji ve malzeme tasarrufu sağlamanın önemi gittikçe artmaktadır. Güçlü yazılım imkanlarıyla Topoloji Optimizasyonu tam bu amaca yönelik olarak çözümler üretmektedir. Bunun yanında Topoloji Optimizasyonu sayesinde daha yenilikçi ve rekabetçi yapılar üretilebilmektedir. Eklemeli imalat yöntemlerinin gelişimi de Topoloji Optimizasyonuna olan ilgiyi arttırmıştır. Topoloji optimizasyonunda, yük taşımayan veya az yük taşıyan hacimsel elemanlar yapıdan çıkarılır. Böylece daha hafif, fakat yeterince dayanıklı yapılar elde edilebilir. Bu çalışmada, bir jet motorunda bağlantı elemanı olarak kullanılan bir braketin topoloji optimizasyonu ABAQUS Sonlu Elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerekli braket geometrisi, yük koşulları ve malzeme bilgileri, General Electric tarafından duyurulan bir çevrimiçi tasarım yarışmasından alınmıştır. Braket malzemesi olarak Ti6Al4V Titanyum alaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın başlangıcında, topoloji optimizasyonu için gerekli olan yük yollarını elde etmek için orijinal braket modeline statik analiz yapılmıştır. Statik analiz sonucunda, jet motoru braketi içindeki yük yolları belirlenmiş ve brakete, rijitliği düşürmeden kütleyi minimuma indirmek için topoloji optimizasyonu uygulanmıştır. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda topoloji optimizasyonu sayesinde braketten %80'e yakın malzeme kazancı elde edilebileceği kanıtlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Braket, Sonlu elemanlar analizi, TiAl6V4, Topoloji optimizasyonu

\* İsmail SARAÇ; ismailsarac@aksaray.edu.tr

## 1. Introduction

The basic objective of topology optimization is to determine the non-load-bearing or relatively low load-bearing volumetric elements in the structure and to ensure that they are volumetrically removed from the structure. As the non-load-bearing elements will be removed from the structure, the topological density of the structure will decrease, but its strength will not be affected significantly. In market conditions where structures are not only strong but also low cost, aesthetic values have also gained value on the side of the end user. When it is desired to go beyond the classical design and analysis methods, one of the effective methods used is topology optimization.

To perform a topology optimization, the designed CAD geometry is subjected to structural analysis to determine load paths. Afterwards, the geometry obtained by subjecting the structure to topology optimization is corrected and its sharpness is softened. The corrected geometry is subjected to structural analysis for the last time and it is seen whether it successfully meets the applied loads.

It is aimed to optimize the vehicle parts designed with structural optimization in terms of size, shape and topology. One of the most effective solutions to reduce the fuel consumption of vehicles and therefore the emission rates is to reduce vehicle weight. Nowadays, weight reduction studies with topology optimization method are widely carried out in the automotive industry. (Kahraman & Küçük, 2020). Topaç et al. (2017) carried out the structural design of the lower part to be used in the front suspension of a military vehicle with the help of topology optimization. In the final design, a 19.25% mass reduction was achieved compared to the preliminary design. Koçar (2018), in his study on dry cargo trailers, stated that the material reduction process performed to lighten the trailer chassis negatively affects the fatigue life because it causes stress concentrations. The numerical model was verified by measuring stress values at critical points on the chassis. As a result of the study, it was determined that weight reduction through thickness optimization was more appropriate. Top et al. (2019), applied topology optimization to the handbrake fastener, which will be produced using the selective laser sintering (SLS) method, one of the additive manufacturing technologies, and lightened the structure.

In aircraft, if the weight that the aircraft will have to carry is reduced, the flight will be more efficient and fuel savings will be achieved. The structure obtained as a result of topology optimization is suitable for production with additive manufacturing. By the end of optimization, complex geometries that cannot be produced with conventional production methods are generally obtained. Due to the nature of additive manufacturing, it is very suitable for the production of topologically optimized parts in terms of its flexible production method, since it provides layer-by-layer progress by adding parts rather than removing them (Attaran, 2017; Brighenti et al., 2021; Saleh Alghaamdi et al., 2021).

The first numerical procedure method for topology optimization with the finite element method was detailed by Rossow and Taylor (1973). In the late 1980s, Bendsøe and Kikuchi (1988), dealt with this issue in much more detail.

Parts that are being used to fix the load carrying parts at the land, sea and air vehicles are called as brackets or fittings. Aircraft brackets are different types of structural components which stands for carrying the maneuver loads of the aircraft when flight control surfaces (aileron, flap, elevator etc.) axes are attached and engine structure is mounted.

Aircraft brackets are subjected to compressive, tensile, shear and combined loads. These brackets are usually manufactured from 7000 series aluminum alloys like 7050-T7451 or 7010-T7651, by forging or NC machining methods. Those aluminum alloys are able to carry heavy loads with their excellent strength values being much lighter than steel. Titanium alloys are extremely expensive, but they are the most effective solution when very high strength and lightness are desired. If the loads on the structure are very high and have a compressive character, Titanium alloys are preferred.

A bracket, manufactured from Titanium alloy may be heavy if it's not optimized. Plastics, composites and ceramic materials cannot always be used in those kinds of structures because of their properties (being soft, brittle, having low strength etc.). It's important in aviation to design light structures without ignoring the safety. With topology optimization, it's possible to get lighter structures without reducing the strength. Topologically

optimized parts cannot usually be produced with conventional manufacturing techniques because of their complex shapes. But with recently used 3D printing methods like SLM (selective laser melting i.e.) help us to manufacture these kind of metal parts. In the optimization, the loads applied to the aircraft are gradually transferred to the brackets, thus obtaining the loading conditions of the bracket. These loads are simulated separately for all load cases. Initial loads are obtained from a method called G-FEM (global finite element method) and detailed partial loads are obtained from D-FEM (detail FEM).

In this study, it is aimed to lighten an aircraft engine mounting bracket by using the Topology Optimization technique without reducing the strength value. Accordingly, firstly, the load paths were determined by performing linear static analysis on the bracket whose loading map is known. Then, Topology Optimization was applied to the bracket according to the condition of reducing its volume by 80%. The reason for choosing a volume reduction ratio as high as 80% is to show the effectiveness of Topology optimization. Under four different loads, the lightened bracket obtained as a result of this optimization, which was made by taking into account the result of the combined cluster of the loads, was subjected to the four load effects separately and the topology optimization was verified.

## 2. Material and method

Required bracket geometry (Figure 1), the loads and material specifications were taken from an online design challenge performed by General Electric (Grabcad, 2022). 4 load cases were directly determined by GE according to the real flight conditions. As stated, Ti6Al4V alloy was defined for the bracket material and material properties were employed (ASM, 2023). Ti6Al4V alloy properties were given in the Table 1. Ti6Al4V is a material suitable for Selective Laser Melting Additive Manufacturing, one of the Powder Bed Melting methods, it is also the most extensively used Titanium alloy and has a large number of applications in the aerospace and automotive industries.



**Figure 1.** Bracket geometry (Grabcad, 2022).

**Table 1.** Material specifications of Ti6Al4V (ASM, 2023).

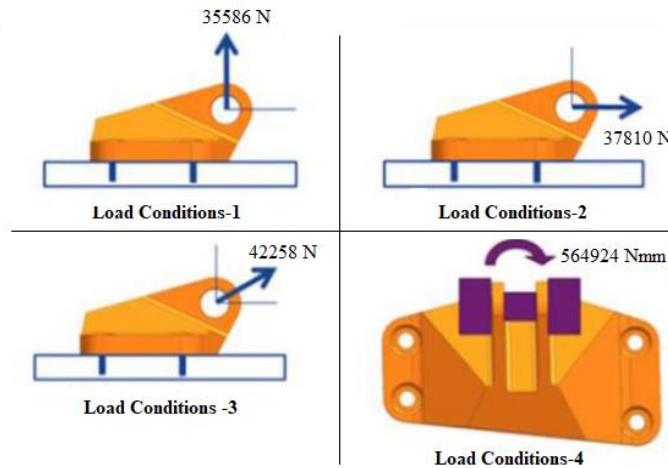
Parameter	Magnitude	Unit
Elasticity modulus	113800	MPa
Poisson's ratio	0.33	
Yield point	903	MPa
Density	4.5	g/cm <sup>3</sup>

For the static and topology analysis, the ABAQUS finite element software was used. Bracket material properties need to be introduced to the program. At this point, it is necessary and sufficient for the analysis to be made to introduce the elasticity module, yield strength and Poisson ratio of the material to the system. As the elastic property of the material, the modulus of elasticity (E) is 113800 MPa and the Poisson ratio ( $\nu$ ) is 0.33. When the load conditions are applied to the part, the reaction of the part against all these loads must remain in the linear elastic region, that is, in the Hooke's law region. The yield strength, which characterizes



the plastic property of the material, is also introduced to the system as 903 MPa. In addition to these three properties, entering the density value of the material is sufficient for linear static analysis. Because the material is metal powder, its mechanical behavior is isotropic and this property was introduced into the program.

Besides the material and geometry, four discrete load conditions that the bracket is encountered were stated. Also, it is declared that the bracket is attached with 4 rigid fasteners to a structure and loads are applied to the rigid pin, which is in contact with the clevis arms of the bracket. In Figure 2, four discrete load conditions are depicted and rigid pin is shown in purple.

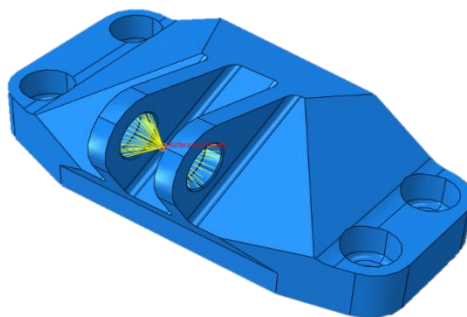


**Figure 2.** Load conditions

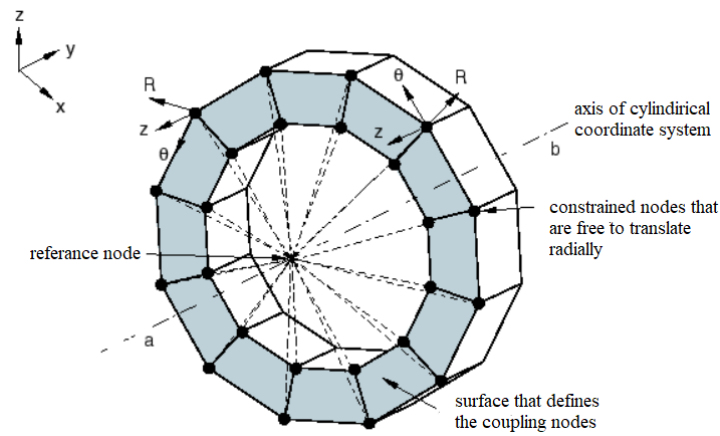
### 2.1. Static analysis

Before performing a Topology Optimization, static analysis should be done to define the load paths. To simulate the rigid pin, an analytical or discrete rigid cylindrical surface, which has the same diameter with clevis arms holes, could be created. However, in that case, a contact definition would be required between the bracket clevis arms and the pin. Therefore, this would make the analysis non-linear, increase the computational time and decrease the solution accuracy. In this study, to simulate the rigid pin, a reference node (i.e., constraint control point) was created right in the middle of the clevis arms of the bracket. Then, depending on the load conditions, a kinematic and continuum distributing coupling constraint were defined between the reference node and the clevis arm hole surfaces. In this method, applied forces or moments on the reference node are distributed onto specified group of node or surfaces as can be seen in Figure 3. Since a typical application of coupling constraints stated as defining a rigid body motion of a group of nodes with a single reference node, aforementioned method were employed in this study (Saleh Alghamdi et al., 2021). In Figure 4, a typical application of coupling constraints for the twisting motion can be seen.

By employing coupling constraint, since the analysis remained linear, not only the solution accuracy increased, but also the computational time decreased significantly.



**Figure 3.** Reference node and coupling constraints

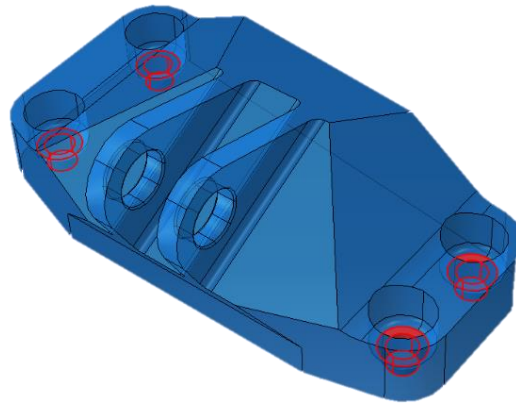


**Figure 4.** An example of coupling constraint (Abaqus documentation, 2023)

The most important difference of this study from similar studies is that no pin-bolt model is used. Accordingly, instead of using bolts and pins, it was decided to take their effects into consideration. Thus, instead of nonlinear contact modeling, a linear analysis technique was chosen, avoiding any contact definition between geometries.

After defining a reference node and coupling constraints to simulate rigid pin, given load conditions in Figure 2 were applied to the reference node individually. To simulate given load conditions, four separate static analysis were performed.

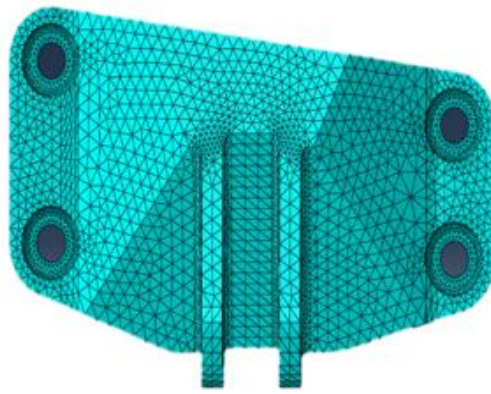
It was stated that the bracket was mounted to the structure with 4 rigid fasteners. Therefore, for all load conditions, the all six Degrees Of Freedom (DOF) of fastener surfaces of the bracket were fixed by encastred boundary conditions as illustrated in Figure 5.



**Figure 5.** Encastred constraint surfaces

Then, given loads and moment in Figure 2 were applied to the reference node as following. While applying loads and the moment, depending on the load condition, all DOF of the reference node were constrained except for the load or moment direction to make sure that loads or the moment applied through only the given direction. To simulate given vertical static load, 35586 N concentrated force was applied in the positive z-direction for the 1st Load Condition. All DOF of the reference node were constrained except for z-direction. To simulate given horizontal static load, 37810 N concentrated force was applied in the negative y-direction for the 2nd Load Condition. All DOF of the reference node were constrained except for y-direction. To simulate given angled static load, 31404 N concentrated force was implemented in the negative y-direction and 28276 N concentrated force was entered in the positive z-direction for the 3rd Load Condition. All DOF of the reference node were constrained except for y-direction and z-direction. To simulate given static moment, 564924 Nmm concentrated moment was applied in the negative z-direction for the 4th Load Condition. All DOF of the reference node were constrained except for translational and rotational z-direction.

Since the bracket geometry is complex enough, the tetrahedral elements were used instead of the hexahedral elements in this analysis. Although the hexahedral element demands less computational time than the tetrahedral element, it can be used for more simple geometries. Also, although the quadratic geometric order lasts longer, rather than the linear geometric order, quadratic geometric order was preferred, since it is stated in the literature that quadratic geometric order is more convenient than linear geometric order for the topology optimization (Brighenti et al., 2021). Therefore, a C3D10: A 10-node quadratic tetrahedron element type in ABAQUS was employed for the whole analysis cases. The defined finite element mesh is illustrated in Figure 6. C3D10 mesh type is used for general purposes and is very suitable for use in complex geometries. The mesh type consists of 4 integration points. This mesh type is typically preferred for linear problem solving that do not contain any contact scenarios. The results can rapidly take. The recommended mesh size (4 mm) was determined by the help of the auto-size function of Abaqus. The curvature regions were even more concentrated meshed. Minimum 2 elements were used through thickness, to control the structure precisely. Maximum curvature deviation was 0.03. So, 26 elements were assigned to the perimeters of each circle around fasteners. Finally, 156696 nodes and 100405 elements were created. At the end of the study, mesh size was reduced and element number was increased, there was no change at the stress result values bigger than 10%, so the mesh criteria was verified.

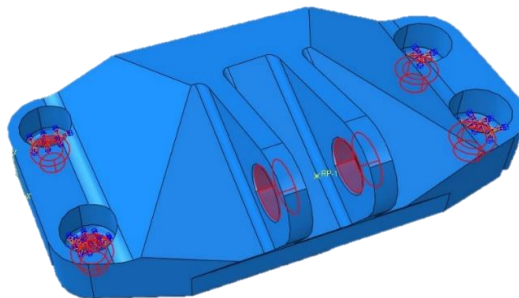


**Figure 6.** Finite element mesh structure

## 2.2. Topology optimization

After performing an elastic statical analysis, topology optimization has been done to the bracket geometry. All load cases and boundary conditions were considered as a whole scenario. Load cases were thought to be applied to the bracket individually. The bracket had to withstand all 4 loading scenarios separately. Abaqus benefits from TOSCA module, while performing topology optimization. TOSCA is an integrated topology optimization solution of Abaqus, Dassault systems. Both statical analysis and topology optimization were so could be performed in the same CAE. (Computer Aided Engineering) environment. 6 categories of items should be considered while performing a topology optimization.

The 1st one is defining an optimization task. The load appliance zones and the boundary conditions should have been frozen as design, so they shouldn't have been effected from topological volumetric changes. Frozen areas could be seen as red marked in Figure 7.



**Figure 7.** Boundary conditions and loading areas (as red marked)

The material update technic was determined to be as normal instead of conservative or aggressive types. TOSCA provided to choose either the general algorithm or condition-based algorithm for the solution. The general algorithm (sensitivity-based) method was chosen, because it was more robust.

The 2nd item to be considered is the definition of the design responses. Strain energy and volume were selected as the case's design responses. The cumulative strain energy was taken into account because of the presence of 4 load cases.

The objective function is the 3rd item to be considered. The objective function is to minimize the strain energy. So, to get the minimum strain energy on the structure, the stiffness will be reevaluated on the bracket. The 4th item is to define the constraints. It was aimed to reduce the bracket volume by 80%.

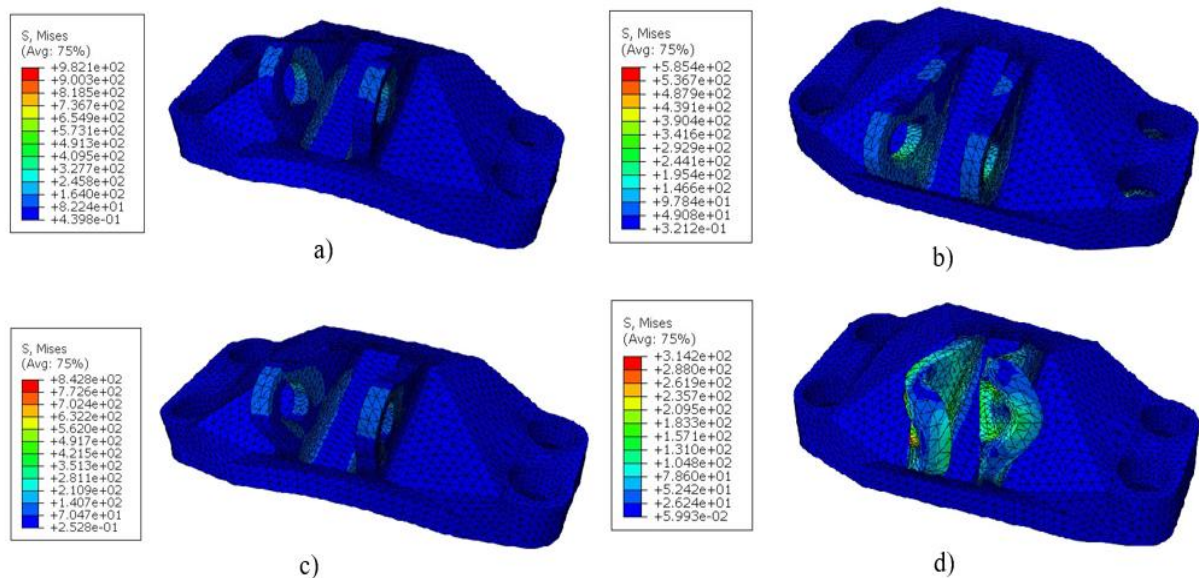
The 5th item is to define geometrical restriction. The minimum feature size of the whole bracket (as wall thickness) was defined as 1.27 mm. So unsensible geometric results (very thin walls, unproductable features etc.) were avoided. Local stop conditions are just valid for shape optimization issues, so no stop condition was applied. The topology optimization parameters are summarized in Table 2 below.

**Table 2.** The topology optimization parameters for the study

Area of definition	Parameters
Optimization algorithm	General, sensitivity-based
Target volume reduction	20% of the original volume
Frozen regions	Clevis and bolt interface regions with pin and bolts
Stopping criterion	None limited to 25 iterations
Min. Wall thickness	1.27 mm

### 3. Results and discussion

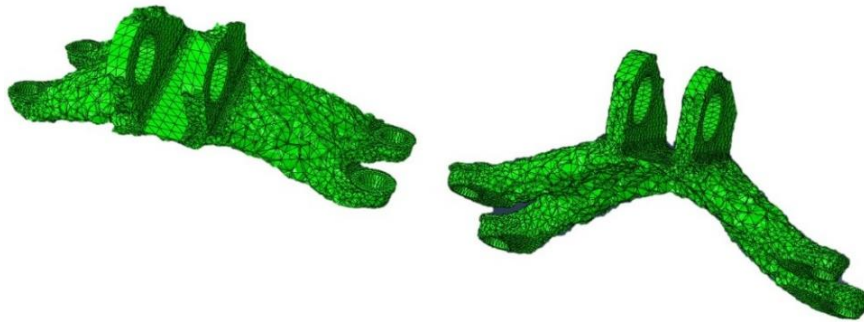
All four static analysis results are shown in Figure 8 as Von Mises stress distribution. It can be understood from the results that the majority of the bracket structure remained undeformed for all load conditions and the maximum Von Mises stresses were calculated in the adjacent of either the rigid pin contact surfaces or the four fastener contact surfaces. Therefore, it can be concluded that the case study with the load conditions is very much convenient for topology optimization since the bracket has unnecessary and unused volume and mass for the load conditions. The maximum Von Mises stresses are calculated as 982.1 MPa, 585.4 MPa, 842.8 MPa, 314.2 MPa for the load condition 1, 2, 3, and 4, individually.



**Figure 8.** Von Mises stresses of Load Condition-1 (a), Load Condition -2 (b), Load Condition-3 (c), Load Condition-4 (d) in the bracket

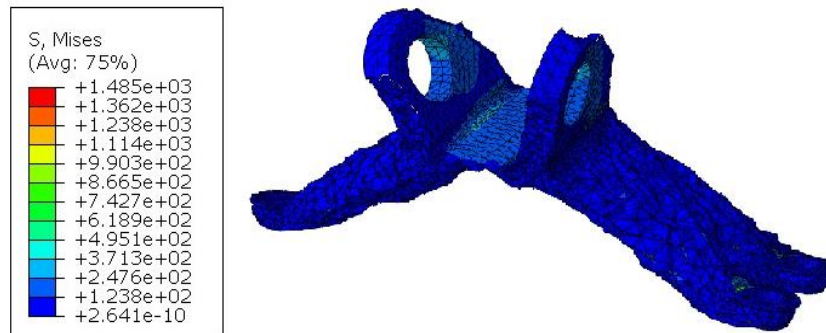


Totally 25 cycles of topological attempts were applied to the geometry to make a stable logical topological optimization. The number was determined empiric. In the Figure 9, the unsmoothed mesh result geometries can be examined.

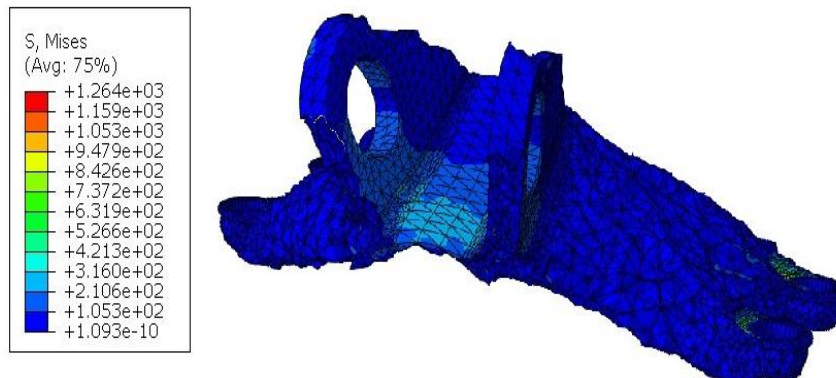


**Figure 9.** Topologically optimized shape, after 25 design cycles

The optimized structure should withstand 4 loading conditions within the linear elastic limits. These statical calculations are performed while having run cycles for the optimization. So, for the 4 loading cases, the final structure's stress distributions are shown below (Figure 10-13).

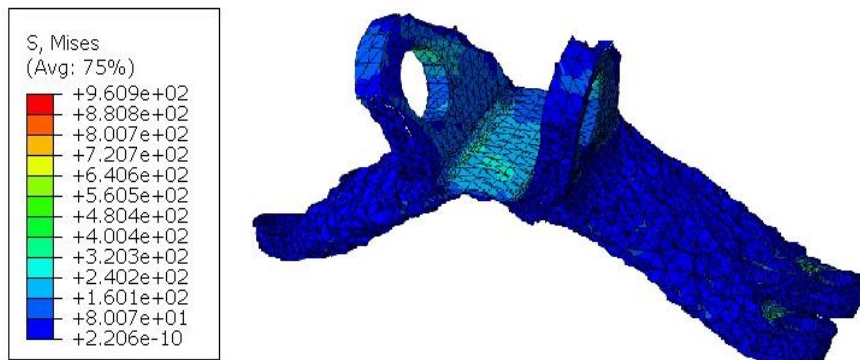


**Figure 10.** Optimized structure under Load Condition-1

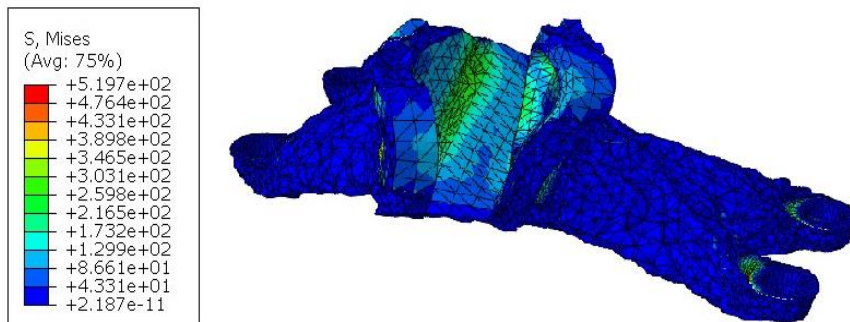


**Figure 11.** Optimized structure under Load Condition-2

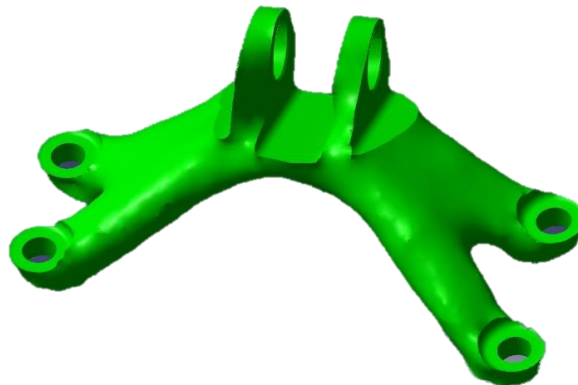
As can be seen from the results, optimized structure can withstand all 4 loading conditions. The red stress concentrations are peak stresses. They do not exceed to the 1st neighbour cells of their regions, so they aren't taken into account. The other colour values in the legend are under the yield strength of the material. A smoothing operation is then required for stable manufacturing without any sharp edges. Programs like Ansys Space Claim, Abaqus, Blender can be used for stl (stereo lithography) data's smoothing operation. Abaqus extract option was chosen for the initial smoothing operation (Figure 14). More refinements can be applied.



**Figure 12.** Optimized structure under Load Condition-3



**Figure 13.** Optimized structure under Load Condition-4



**Figure 14.** Smoothed bracket structure

The resulting geometry weights 0.41 kg while the initial geometry was 2.06 kg. Final result geometry can then be manufactured with Selective Laser Melting (SLM) additive manufacturing method. SLM technology arose in 1995 at the Fraunhofer Institute ILT in Germany. The ASTM International F42 standards committee has investigated this method in selective laser sintering category. But the method, actually melts the spherical metal powder and doesn't sinter it. SLM uses laser light source to melt the metal powder to manufacture parts in the concept of additive. An insert gas is used to stabilize the environment. With the help of optics, the computer can easily program the laser head to create the part. This method allows to create very complex shapes. It is suitable for both end-use parts and prototype parts. The result shows durable and dense structures that are robust in usage.

By using an.stl extension file, the geometry is sliced into sections. Parameters and process values, support geometries are then prepared with the help of a software programme. Different types of software programmes are available like Eiger from [Markforged \(2023\)](#). The laser beam is directed in the X and Y directions with two high frequency scanning mirrors and remains in focus along the layer utilising an F-Theta lens



arrangement. Layers are usually 30-60  $\mu\text{m}$  thick. Topologically optimized shapes generally cannot be produced by conventional manufacturing techniques like NC machining or casting. Additive manufacturing is the appropriate method for optimized parts with its flexible nature. Additively manufactured parts have different strength values than the casted or machined parts because of the grain properties. If an electron beam was used instead of laser, it would then be EBM, electron beam melting (Meinery et al., 1998; Nematollahi et al., 2019; Hopkins, 2021; DMLS vs SLM, 2023).

#### 4. Conclusion

In this work, topology analysis of a bracket used as a fixing part in aircraft engine was carried out using ABAQUS software. The analysis has been implemented on a bracket with pre-defined load cases and bracket geometry.

By the end of the study, it was shown that 80% lighter weight can be achieved in the bracket structure compared to the original design. According to the weight calculations, the weight of the original bracket design was 2.06 kg, but as a result of optimization, it became 0.41 kg. The bracket has therefore been lightened considerably.

It is often not possible to manufacture the structures obtained as a result of the topology analysis with classical manufacturing methods. Additive manufacturing methods are the most suitable methods at this point. Selective Laser Melting (SLM) method can be used in the production of the geometry obtained in this study. In the future, more comprehensive studies can be conducted in which the structural parts for which topology analysis has been performed are subjected to mechanical tests after their production with the SLM method.

#### Author contribution

The authors equally contributed to the article.

#### 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

There is no conflict of interest between the authors

#### References

- Abaques documentation. (2023, February 1). <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usb/default.htm?startat=pt08ch28s03aus108.html>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60, 677-688. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- ASM Aero space specification metals inc. Titanium Ti-6Al-4V Grade 5 (2023, April 8) <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mtp641>.
- Bendsoe, M. P., & Kikuchi, N. (1988). General optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 93, 291-318.
- Brighenti, R., Cosma, M. P., Marsavina, L., Spagnoli, A., & Terzano, M. (2021). Laser-based additively manufactured polymers: a review on processes and mechanical models. *Journal of Materials Science*, 56, 961-998. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05254-6>
- DMLS vs SLM 3D Printing for Metal Manufacturing Selective Laser Melting (2023, February 11) <https://www.element.com/nucleus/2016/dmls-vs-slm-3d-printing-for-metal-manufacturing>.

- Grabcad community GE jet engine bracket challenge (2022, December 8). <https://grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge>.
- Hopkins, D. (2021). The critical of ultrasound by advancing additive for industrial. *Quality*, 60(10), 38-38.
- Kahraman, F., & Küçük, M. (2020). Otomotiv endüstrisinde topoloji optimizasyonu ile ağırlık azaltma uygulaması üzerine bir araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 623-631. <https://doi.org/10.31590/ejosat.789424>
- Koçar, O. (2018). Dorse tasarımında stres dağılım analizi ve topoloji optimizasyonu. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 309-316. <https://doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v8i1.1073>
- Markforged 3D Printers Metals/Carbon Fiber/Plastics (2023, April 12) <https://markforged.com/software>.
- Meiners, W., Wissenbach, K., & Gasser, A. (1998). Shaped body especially prototype or replacement part production. DE Patent, 19.
- Nematollahi, M., Jahadakbar, A., Mahtabi, M. J., & Elahinia, M. (2019). Additive manufacturing (AM). In *Metals for biomedical devices* (pp. 331-353). Woodhead Publishing.
- Rossow, M. P., & Taylor, J. E. (1973). A finite element method for the optimal design of variable thickness sheets. *Aiaa Journal*, 11(11), 1566-1569.
- Saleh Alghamdi, S., John, S., Roy Choudhury, N., & Dutta, N. K. (2021). Additive Manufacturing of Polymer Materials: Progress, Promise and Challenges. *Polymers*, 13(5), 753. <https://doi.org/10.3390/polym13050753>
- Top, N., Gökçe, H., & Şahin, İ. (2019). Eklemeli İmalat İçin Topoloji Optimizasyonu: El Freni Mekanizması Uygulaması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(1), 1-13.
- Topaç, M. M., Bahar, E., Kaplan, A., & Sarıkaya, E. Z. (2017). Topoloji optimizasyonu yardımıyla, askeri taşıt bağımsız ön süspansiyonu için alt salıncak tasarımı. IDEFIS, 2017, 2nd.

## Kâgir yığma binalarda mimari tasarım hataları: Elâzığ ve Kahramanmaraş depremleri saha gözlemleri

*Architectural design mistakes in masonry buildings: field observations of Elâzığ and Kahramanmaraş earthquakes*

Semih YILMAZ\* 

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 11.07.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 28.12.2023

### Öz

21. yüzyıl içerisinde Türkiye'yi etkileyen depremler sonucunda birçok bina yıkılmıştır ve/veya kullanılamayacak düzeyde hasar almıştır. Yıkılan/yok olan bina stoku farklı taşıyıcı sistemler ile inşa edilmiştir. Bu sistemlerin başında yığma yapım sistemi gelmektedir. Yığma binaların depreme karşı göstereceği yapısal davranışta mimari tasarım öğeleri önemli bir rol oynar. Bu nedenle yığma binaların tasarımında kullanılan pek çok yönerge/yönetmelik mimari tasarım öğelerini içermektedir. Bu çalışmada depremlerinin etki ettiği yığma binaların deprem performansının, mimari tasarım bağlamında incelenmesi ve yapılan çıkarımlar ile paydaşlara yığma binaların deprem performanslarındaki yetersizliklerin aktarılması, bu yetersizliklerin giderilmesine yönelik önerilerin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik gerçekleştirilen çalışma, Türkiye'de yayımlanan deprem yönetmeliklerindeki (örneğin; 1997, 2007 ve 2018) tasarım öğeleri dikkate alınarak, Elâzığ (2020) ve Maraş (2023) depremleri sonrası yapılan saha gözlemlerinde incelenen yığma binalar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yığma binalardaki hasar/göçme mekanizmaları yapıdan yapıya farklılık gösterebilmektedir. Bu bağlamda; seçilen binaların farklı konumlarda inşa edilmiş olması ve değişik derecelerde hasarlara maruz kalmış olmasına önem verilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan binalardaki hasarlar, gözlemsel tespitler ile mimari tasarım özelinde açıklanmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut kâgir yığma binaların deprem performansındaki yetersizlikler ortaya koyularak, mevcut ve yeni/yeniden inşa edilecek olan kâgir yığma binaların deprem performansına katkı sağlayacak mimari tasarım önerileri ve mimari tasarım sürecinde dikkate edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Deprem, Mimari tasarım, Yapısal hasar, Yığma binalar

### Abstract

In the 21st century, many buildings have been destroyed and/or damaged to a non-usable level as a result of earthquakes affecting Turkey. Within the demolished/destroyed building stocks constructed with different structural systems, the most widely used system is the masonry construction system. Architectural design elements have an important role in the structural behavior of masonry buildings response to earthquakes. For this reason, many regulations/instructions used in the design of masonry buildings contain architectural design elements. The main aim of this study is to evaluate the earthquake performance of masonry buildings in relation to architectural design, to inform stakeholders of the deficiencies in masonry building earthquake performance, and to provide solutions for resolving these deficiencies. The study, conducted to achieve this goal, is based on field observations of masonry buildings following the earthquakes in Elâzığ (2020) and Kahramanmaraş (2023), taking into account the design elements in earthquake regulations published in Turkey (e.g., 1997, 2007, and 2018). The mechanisms of damage/collapse in masonry buildings can vary from one structure to another. In this regard, special attention has been paid to the fact that the chosen buildings are located in various areas and have varied degrees of damage. The damages in the buildings considered within the scope of the study have been explained in terms of architectural design through observational findings. The research's conclusions include an overview of the masonry structures' deficiencies in terms of seismic performance, suggestions for architectural design, and an explanation of the factors to be taken into account while constructing new or repaired masonry structures.

**Keywords:** Earthquake, Architectural design, Structural damage, Masonry buildings

\* Semih YILMAZ; semihyilmaz@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

İki aktif deprem kuşağı arasında yer alan Türkiye topraklarının %92,3'ü deprem riski barındırmakta, ülke nüfusunun ise %95'i deprem tehlikesi altında yaşamaktadır. Bu nedenlerle inşa edilecek ya da mevcut (onarılacak, güçlendirilecek) yapıların ilgili yönetmelik ve hesap kurallarına mutlak uyumu önemli bir zorunluluktur. Türkiye'de bu zorunluluk, belirli periyotlarla düzenlenip geliştirilen (1940-1944-1949-1953-1962-1968-1975-1998-2007-2018) ve depremin şiddetine bağlı olarak '*şiddetli depremlerde can kaybının önlenmesini, orta ve hafif şiddetli depremlerde yapısal hasarların onarılabilir olmasını*' sağlamaya yönelik bir deprem yönetmeliği ile sağlanıyor olsa da ülke depremlerde büyük yıkım yaşamaktadır. Yıkımın bu denli büyümesinin önemli nedenleri arasında güncel tercih edilme oranlarında düşüş olsa da özellikle kırsal bölgelerde hâlâ önemli sayıda mevcut olan yığma bina stokunun büyük oranda herhangi bir mühendislik desteği alınmadan inşa edilmiş olması yer almaktadır. Halen kullanımda olan hem kamu hem de özel mülkiyete ait mevcut yığma bina (konut, okul vb.) stokunun iyileştirilmesi gerekliliği nedeniyle, söz konusu yapıların imkanlar doğrultusunda depreme dayanıklı hale getirilmesi ya da güçlendirilmesi, bunun için de yapıların deprem/ler esnasındaki davranışlarının belirlenmesi ve bu bilgi doğrultusunda deprem direncinin artırılması gerekmektedir. Ek olarak, bazı yığma binalar yapım tarihlerinden kaynaklı olarak anıtsal niteliktedir. Dolayısıyla söz konusu anıtsal yapıların deprem davranış ve dayanımlarının bilinmesi kültürel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Tüm bu durumlar konunun önemini göstermektedir.

Depremler ve neden oldukları yıkımlar; insanlık ve yapıyı çevre üzerinde olumsuz etkiye sahip olsalar da yapı tasarım/inşa süreci ile ilgili disiplinler için oldukça öğretici bir ortam sunmaktadır. Bu bağlamda, depremler neticesinde yapılarda oluşan hasar ve bu hasarların olası nedenlerinin ortaya konması, gözlenen uygulama ve tasarım hataların belirlenmesi, sınıflandırılması ve bundan sonraki uygulamalara yönelik çıkarımlar yapılması depreme dayanıklı yapı tasarımı, dolayısıyla yıkımın azaltılması yönüyle oldukça önemli olacaktır (Döndüren ve Kollu, 2018) (Koç, 2016). Bu kapsamda Türkiye'de yapılan araştırmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir:

Budak, (2004)'te kırsalda yoğunlukla tercih edilen yapı türleri ve bu türlerde kullanılan yapı malzeme özellikleri üzerinde durulmuştur. Kırsal yapılarda depremlerde ortaya çıkan mal ve can kayıplarının önlenmesinin en ideal şekilde bu yapıların mühendislik hizmeti olarak inşa edilmesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Oyguç, (2017)'de 2011 Van depremlerine maruz kalmış yığma yapıların sismik davranışları saha gözlemleri ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği üzerinden incelenmiştir. Çalışma ile; mevzuata uygun olarak inşa edilmeyen yığma yapılarda hasarın yoğun olarak düzlem dışı davranışlar neticesinde oluştuğu ve uygulamalarda işçilik, detay, malzeme vb. açılardan yetersizliklerin olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Yıldızoğlu vd., (2018)'de belirlenen örnek bir yığma binanın yapım tekniği, malzeme özellikleri irdelenmiş, 2007 Deprem Yönetmeliği ve 2013 Riskli Yapılar Yönetmeliği esasları dikkate alınarak çeşitli bilgisayar programları ile binanın deprem performans analizi yapılmıştır. Çalışma ile; yapıda taşıyıcı (duvarlar, hatıllar) açısından iyileştirme yapılması gerektiği ve bu sayede göçmelerin önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Döndüren ve Kollu, (2018)'de Türkiye'de son 15 yılda meydana gelen depremlerde yığma yapılarda oluşan hasarlar, göçme nedenleri ve çözüm önerileri fotoğraflar ile desteklenerek incelenmiştir. Saha gözlemlerine dayalı çalışma ile özellikle kırsalda inşa edilen yığma binaların mimarlık/mühendislik hizmeti almasının önemi vurgulanmıştır.

Amani vd., (2020)'de 1. Derece deprem bölgesi olan Bingöl ilinde inşa edildiği varsayılan örnek bir yığma bina üzerinden 1998, 2007 ve 2019 deprem yönetmelikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda her üç yönetmelik için de farklı taban kesme kuvvetleri ve kat seviyelerine etkiyen farklı yatay yükler elde edilmiştir. En küçük değerleri ABYYHY-1998 Yönetmeliği en büyük değerleri ise TBDY-2019 Yönetmeliği vermiştir.

Seferoğlu vd., (2023)'de bir tünel inşası sırasında gerçekleştirilen patlamaların neticesinde tünel çıkışlarına yakın ve uzak mesafelerde yer alan iki bina (yığma ve betonarme) üzerinde oluşan yapısal hasarlar analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler ile binaların duvarlarında ve taşıyıcı elemanlarında derin ve yüzeysel çatlaklar oluştuğu, binaların yeniden inşasının daha uygun ve güvenli olacağı gibi sonuçlara varılmıştır.

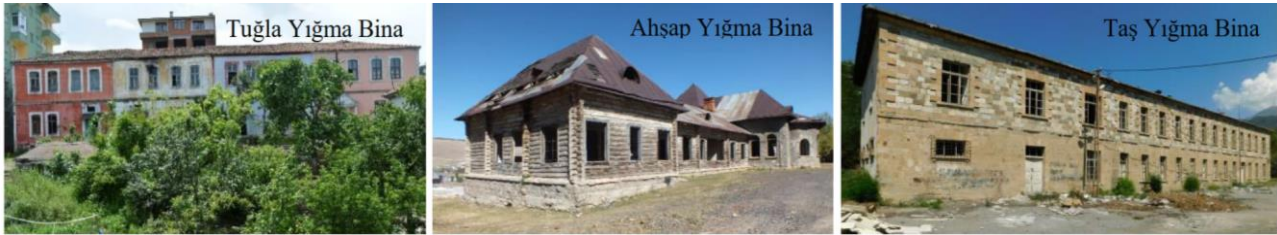
Yapılan çalışmada, 24 Ocak Sivrice (Elâzığ) ile 6 Şubat Pazarcık ve Elbistan (Kahramanmaraş) depremlerinin kâgir yığma binalar üzerindeki etkileri mimari tasarım aşamasında yapılan hatalar ve yönetmelik ihlalleri bağlamında gözlemsel olarak incelenmiştir. Yapılan gözlemlerde Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS2510 yönetmeliği şartları ele alınmıştır.

Depremlerde tümüyle yıkılan yapıların hasar analizinin gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Bu bağlamda çalışma kapsamında gerçekleştirilen teknik incelemeler orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinden çeşitlendirilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada genelde tüm yığma binaların, özelde kırsal kesimde yer alan yığma binaların inşasında uyulması gerekli mevzuat irdelenerek, deprem sonrası kural ihlalinden kaynaklı hasarların hangi kural üzerinde yoğunlaştığı gösterilmeye çalışılmıştır. Bu saha çalışması ile sonraki yıllarda inşa edilecek yığma binalarda hasarların en aza indirgenmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

## 2. Kâgir yığma binalar

### 2. Masonry buildings

En eski yapı türü olan yığma binalar; temel birim yapı malzemelerinin (taş, tuğla, kerpiç, ahşap, gazbeton vb.) kendi ağırlığı ile birbiri üzerine konularak taşıyıcı elemanların oluşturulduğu yapısal sistemlerdir. Bu sistemde yapısal bütünlük; yapı malzemelerinin kendi ağırlıklarının oluşturduğu sürtünme ve yer çekimi ile sağlanabildiği gibi harç veya başka bağlayıcı malzeme kullanımı ile de sağlanabilmektedir. Yığma binalar, inşa edildikleri malzemeye göre, taşıyıcı sistem geometrisine göre, yapım şekillerine göre sınıflandırılabilir. Farklı şekillerde sınıflandırılabilen yığma binalar içerisinde taşıyıcı yapı elemanları doğal taş, kumtaşı, tuğla, vb. bloklarla düzenlenmiş olanlara kâgir yığma binalar denilmektedir (Şekil 1). Kâgir yığma binalar, dış etkilere karşı dayanıklı, süneklilikleri az, gevrek malzemeler ile inşa edilir. Bu malzemeler ağır ve rijit davranış sergilerler ve üzerlerine etki eden gerilmeler (düşey ve yatay) karşısındaki davranışları basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olarak tanımlanabilir. Ayrıca, yapısal özellikleri gereği kâgir yığma bina elemanlarını oluşturan malzemelerin yangın dayanımı yüksektir ve bu malzemeler ile oluşturulan yapılar ağır olmaktadır.



Şekil 1. Kâgir yığma bina örnekleri (Yılmaz arşivi, 2023)

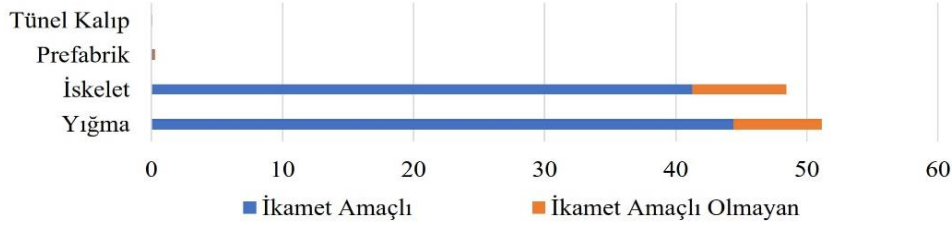
Figure 1. Examples of masonry buildings (Yılmaz archive, 2023)

İnşa süreçlerinde ve kullanım/dayanım ömürlerinde işçilik önemli bir paya sahiptir. Kâgir yığma binaların düşey yüklere dayanımı ve depremin yatay yüklerine direnci; taşıyıcı duvarların geometrisine, tercih edilen malzeme dayanımına, kullanılan strüktür malzemesinin birleştirilme şekline bağlıdır. Yığma binalar ağır ve rijit olup, büyük deprem yükü oluşmasına sebep olurlar. Yığma binanın çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı, yapının önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden ani göçmesine sebep olur (Arun, 2005).

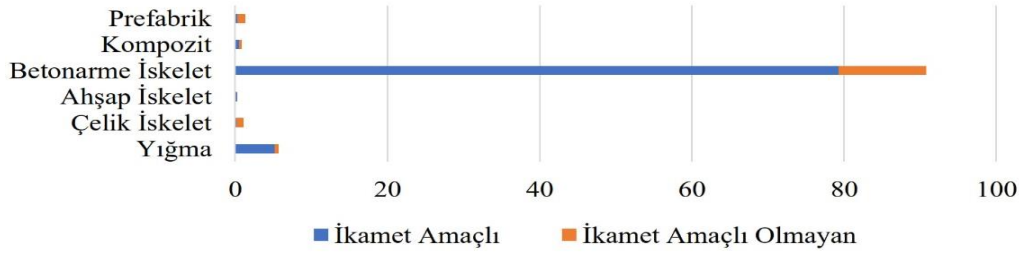
Türkiye genelinde kullanımının yaygın olduğu yapılan araştırmalar ile desteklenen yığma sistem ile inşa edilmiş binalar, Türkiye'deki yapı stokunun deprem performansı açısından oldukça önemlidir. Türkiye genelinde tercih edilen yapım sistemlerinin araştırıldığı çalışmalar genel olarak "2000 Yılı Bina Sayımı" ve "2001-2015 Yılları Yapı İzin İstatistikleri" ni kullanmaktadır. Aşağıda 2000 yılı bina sayım verileri yer almaktadır. Bu verilere göre yığma sistem %51,15 ile en çok tercih edilen sistemdir (Şekil 2).

Aynı şekilde 2001-2015 yılları arası yapı kullanım izni almış binaların kullanım amacı ve taşıyıcı sistem tipine göre dağılımları aşağıda yer almaktadır. Bu verilere göre, söz konusu yıllarda Türkiye'de meydana gelen hem ekonomik gelişmeler hem de gelişen inşaat teknolojisine bağlı olarak yığma sistem, betonarme iskelet sistemin ardından en fazla tercih edilen ikinci sistem olmuştur (Şekil 3).





**Şekil 2.** 2000 yılına kadar taşıyıcı sistem türlerine göre binaların yüzdeleri (Ay ve Azak, 2021)  
**Figure 2.** Percentages of buildings by structural system types until 2000 (Ay and Azak, 2021)

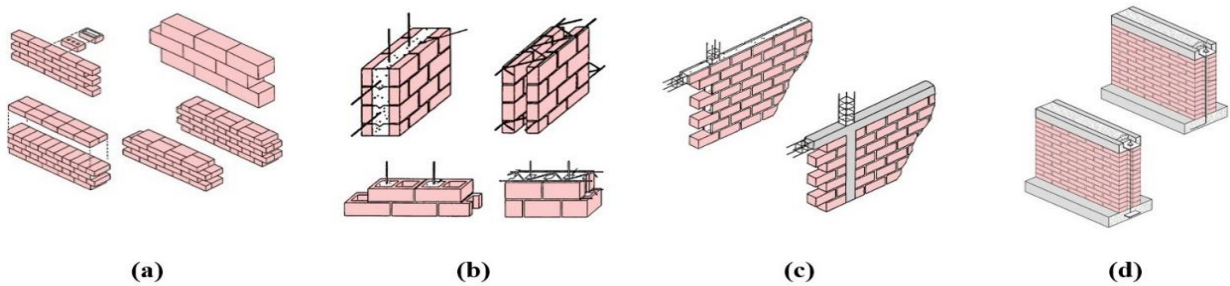


**Şekil 3.** 2001-2015 yılları arası taşıyıcı sistem türlerine göre bina yüzdeleri (Ay ve Azak, 2021)  
**Figure 3.** Percentages of buildings by structural system types between 2001-2015 (Ay and Azak, 2021)

Tüm veriler ve illere göre dağılımları incelendiğinde ise yığma yapım sistemi kullanımının diğer sistemlere nispeten azaldığı ve deprem bölgesinde yer alan illerde yoğun bir şekilde var olduğu görülmektedir (Ay ve Azak, 2021). Bu anlamda hem yığma binaların deprem performansının diğer sistemlere oranla daha düşük kalması hem de Türkiye’de yoğunlukla tercih edilmesi nedeniyle Türkiye binalarının deprem direnci açısından yığma binaların deprem davranışı oldukça önemlidir.

Yığma yapım sistemi ile inşa edilen günümüz binalarında kullanılan malzemeler; doğaltaş, tuğla beton briket, kerpiç, gaz beton, kираç kumtaşı bloklar ve bağlayıcı olarak ise harç kullanılmaktadır. Bu malzemelerden elde edilen yapı elemanları ise temeller, duvarlar, kemerler, tonozlar, kubbeler, döşemeler, hatıllar ve lentolardır. Bu kapsamdan yığma binalar 4 ana gruba ayrılmıştır;

- Donatısız yığma binalar (a),
- Donatılı yığma binalar (b),
- Kuşatılmış yığma binalar (c),
- Donatılı panel sistem yığma binalar (d) (Şekil 4).



**Şekil 4.** Yığma bina türleri (McKenzie, 2001 ve Tomazevic, 1999’den modifiye edildi)  
**Figure 4.** Types of masonry buildings (modified from McKenzie, 2001 and Tomazevic, 1999)

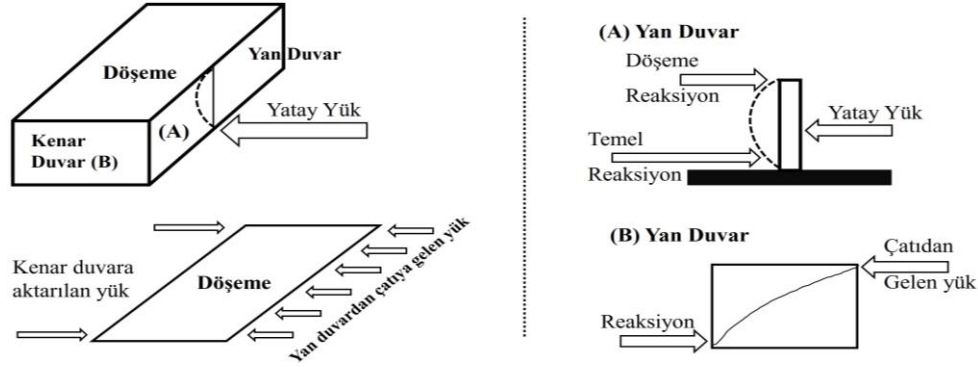
## 2.1. Yığma binaların deprem davranışı

### 2.1. Earthquake behavior of masonry buildings

Yığma binaların deprem dayanımı, duvarın malzemesinin (doğal taş, pişmiş toprak vb.) basınç dayanımı ve bu malzemeleri bağlayan harcın dayanımlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, harç ya da derz kalınlığı da deprem dayanımı açısından önemlidir. “Rijit” kat döşemesi olan yığma bir yapıda yatay yükler düşey duvar



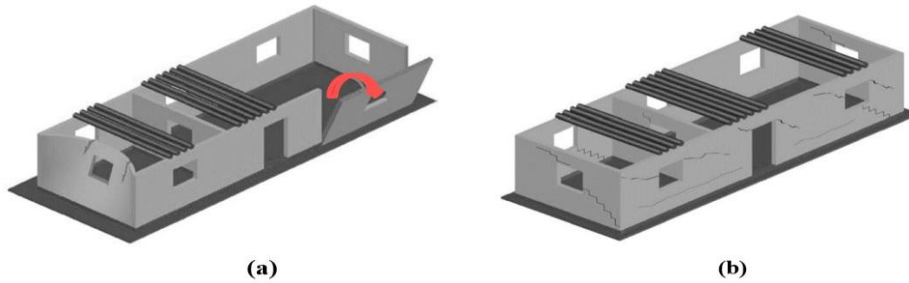
elemanlarına rijitlikleri ile doğru orantılı olarak dağılmaktadır. “Rijit” döşeme yatay yük altında kendi düzleminde şekil değiştirmeyen ve duvarları üst başlarından birbirine sıkıca bağlanmış bir döşemedir. Duvar rijitliği duvar parçası boyu / duvar yüksekliğine bağlıdır. Tüm duvarları aynı kalınlıkta olan yapılarda duvarlardaki yatay yük dağılımı Şekil 5’te belirtilen şekilde gerçekleşmektedir.



**Şekil 5.** Yığma binanın yatay yük dağılım modeli (Bayülke, 2011)

**Figure 5.** Horizontal load distribution model of masonry building (Bayülke, 2011)

Yığma binaların hasar görmesi veya göçmesi iki baskın hasar modu ile oluşur (D’Ayala ve Paganoni, 2011; Putrino & D’Ayala, 2020) (Şekil 6 a-b). İlk göçme modu, deprem yükünün duvarlara dik olması durumunda meydana gelen düzlem dışı mekanizmadır. Söz konusu mekanizma yığma duvarlarda devrilme etkisi nedeniyle kısmen veya tamamen çökmeye neden olmaktadır. Bu mekanizmanın en belirgin etkisi, yığma binaların köşelerindeki derin dikey çatlaklardır (Şekil 16 ve 17). İkinci hasar modu düzlem içi bir mekanizmadır. Bu durumda taşıyıcı duvarlar depremden kaynaklanan düzlem içi yanal kuvvetlere dayanabilmek için perde duvar gibi davranmaktadır. Yük taşıyıcı duvarlarda diyagonal veya eğimli çekme çatlakları şeklinde ortaya çıkan kesme çatlakları oluşmaktadır. Bu çatlaklar, yatay zemin bağlantı noktalarındaki düz çatlaklar boyunca kaymakta ve baş bağlantı noktalarından zemin bağlantı noktalarına kadar kademeli çatlaklar oluşturmaktadır (bkz. Şekil 15, 16 ve 17) (Günaydin vd., 2021).

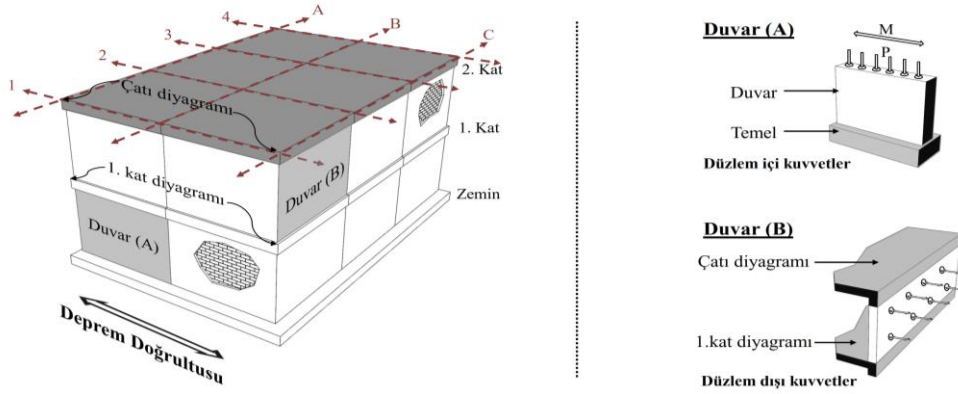


**Şekil 6.** Yığma binalarda ana hasar modları: (a) düzlem dışı mekanizma, (b) düzlem içi mekanizma (Günaydin vd., 2021)

**Figure 6.** Main damage modes in masonry buildings: (a) out-of-plane mechanism, (b) in-plane mechanism (Günaydin et al., 2021)

Deprem sonucunda oluşan zemin hareketleri, yığma binaya sismik enerji yüklemekte ve bu yük yapı genelinde yanal deplasmanlara neden olmaktadır. Söz konusu dinamik kaydırılma neticesi olarak zeminden itibaren yapıda farklı ivmeler oluşmaktadır. Deprem yüklerine maruz kalan yığma duvarda oluşan düzlem içi ve düzlem dışı sismik yükler neticesinde en fazla düzlem içi direnç zemin katta oluşurken, en fazla düzlem dışı direnç ise yapının üst katlarındaki duvarlarda görülmektedir.

Üst kat duvarına tesir eden ivme, duvarın ve duvarın sabitlendiği döşemenin doğal periyotlarının oranına göre bir büyüme daha göstermektedir. Bu durumun neticesinde, düzlem dışı yüklenen bu duvarın ivmesi, düzlem içi yüklenen duvarın ivmesinden daha fazla olmaktadır ve yığma binanın yıkılması genel olarak bu üst katlardaki duvarın düzlem dışı kırılmasıyla başlamaktadır. Beden duvarları taşıyıcı olan yığma binaların, duvarlardaki her türden hasar doğrudan taşıyıcılığı ve tüm yapı genelini etkilemektedir (Şekil 7) (Çöğürçü ve Kamanlı, 2007).



**Şekil 7.** Yığma binaların düzlem içi ve düzlem dışı yüklemeleri (Çöğürçü ve Kamanlı, 2007)  
**Figure 7.** In-plane and out-of-plane loading of masonry buildings (Çöğürçü and Kamanlı, 2007)

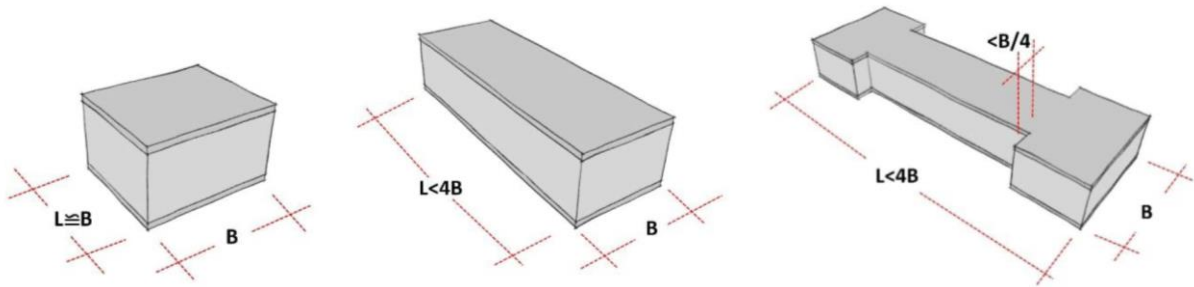
## 2.2. Mimari tasarım gereklilikleri

### 2.2. Architectural design requirements

Depremler üzerine yapılan araştırmalarda deprem hasarlarının gözlemlenmesi ve ardından hasar nedenlerinin analiz edilmesi sonucunda; yapısal malzemelerin kalitesinin yanı sıra bina konfigürasyonunun da önemli olduğu tartışmasız bir şekilde görülmüştür. Duvarların zemin seviyesinde düzgün bir şekilde birbirine bağlandığı düzenli yapısal yerleşim planına sahip binalar, depreme dayanacak şekilde tasarlanmasalar bile çoğu zaman iyi performans gösterebilmektedir. Yapılan çalışmalar ile binalarda yeterli sismik davranış, mimari ve yapısal planlamanın basit ilkeleri dikkate alınıp malzeme ve inşaat kalitesine ilişkin gereksinimlerin karşılanmasıyla mümkün olduğunu kanıtlamıştır. Depreme dayanıklı bir yığma bina tasarlanırken aşağıdaki temel ilkeler her zaman dikkate alınmalıdır:

- Yapısal basitlik ve düzenlilik (tekdüzellik ve simetri),
- Yeterli malzeme kullanımı (sağlamlık),
- Rijit diyafram hareketi,
- Zemine uygun temel.
- Yapım aşaması (Tomazevic, 1999)

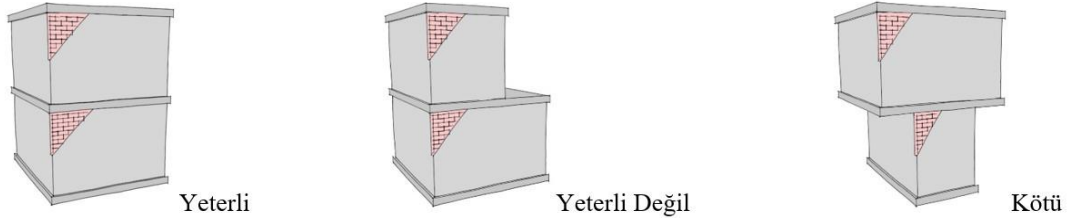
Yığma binaların inşasına ilişkin temel kurallar yönetmelikler ile düzenlenmiş olsa da geçmişte ve günümüzde dahi inşa süreçleri gelenek ve tecrübeye dayandırılmaktadır. Yığma sistemde kullanılan geleneksel yapı sistemleri genellikle basit ve düzenli olup, binanın yüksekliği boyunca konumu ve geometrisi değişmeyen, binanın her iki yönüne eşit olarak dağıtılan taşıyıcı duvarlar ve iç bağlayıcı duvarlardan oluşmaktadır. Yığma binaların plan konfigürasyonu basit olmalıdır. Basit kare veya dikdörtgen binalar deprem etkilerine maruz kaldıklarında daha kararsız formlara sahip binalara göre daha iyi performans gösterirler. Bu bağlamda, çıkıntılar, giriş köşelerinin veya girintilerin bir yöndeki toplam boyutu, ilgili yöndeki binanın genel boyutunun %25'ini geçmemesi önerilir (Şekil 8) (Tomazevic, 1999).



**Şekil 8.** Yığma binaların düzenli plan geometrileri (Tomazevic, 1999'dan modifiye edildi)

**Figure 8.** Regular plan geometries of masonry buildings (modified from Tomazevic, 1999)

Planda kompozit şekle sahip (L, T, U veya + karmaşık plan) büyük binaların, her bir parçanın simetrisini ve dikdörtgenliğini elde etmek için birkaç parçaya ayrılması gerekmektedir. Bitişik parçalar arasındaki çekişme etkilerini önlemek için, parçalar arasında yeterli bir ayırım sağlanmalıdır. Ayırım genişliğinin 30 mm'den az olmaması, bina yüksekliğinin 9,0 m'yi aşması durumunda her kat için (veya 3,0 m için) 10 mm eklenmesi önerilmektedir. Binanın yüksekliği de düzenli olmalıdır. Düşey taşıyıcıların kütle ve rijitlikleri binanın yüksekliği boyunca dağılımı mümkün olduğu kadar düzgün olmalıdır. Kütlelerin üst katlarda yoğunlaşmasından kaçınılmalıdır. Binanın yüksekliği boyunca bitişik katlardaki plan, dağılım ve yapısal elemanların tipindeki boyutlardaki değişiklikler nedeniyle rijitlikteki ani değişiklikler ciddi gerilme yığılmasına ve bu bölgelerde olası hasarlara neden olmaktadır (Tomazevic, 1999).

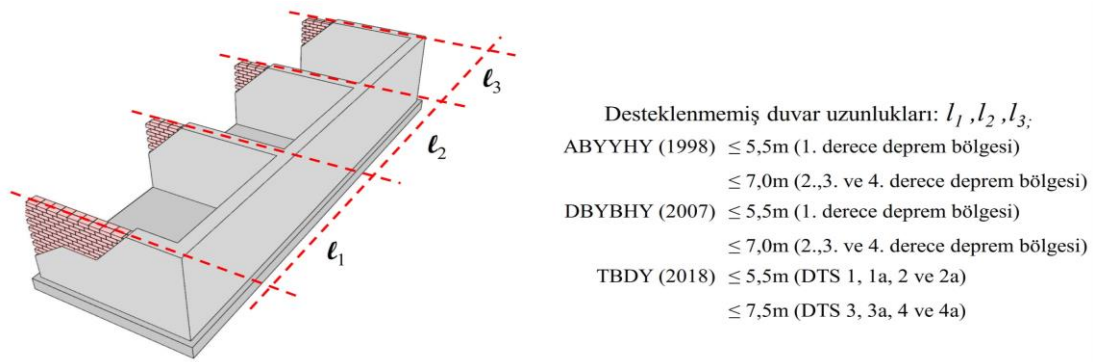


**Şekil 9.** Yığma binaların düzenli cephe geometrileri (Tomazevic, 1999'dan modifiye edildi)  
**Figure 9.** Regular facade geometries of masonry buildings (modified from Tomazevic, 1999)

Bina tasarımında; formun belirlenmesi dışında yapı elemanlarının tasarlanması ve boyutlandırılması için dünya geneli ve ülkeler ölçeğinde çeşitli yönetmelikler hazırlanmıştır. Binaların depreme dayanıklı tasarımına yönelik Türkiye'de geçerli olan yönetmelikler kronolojik olarak aşağıdaki gibidir;

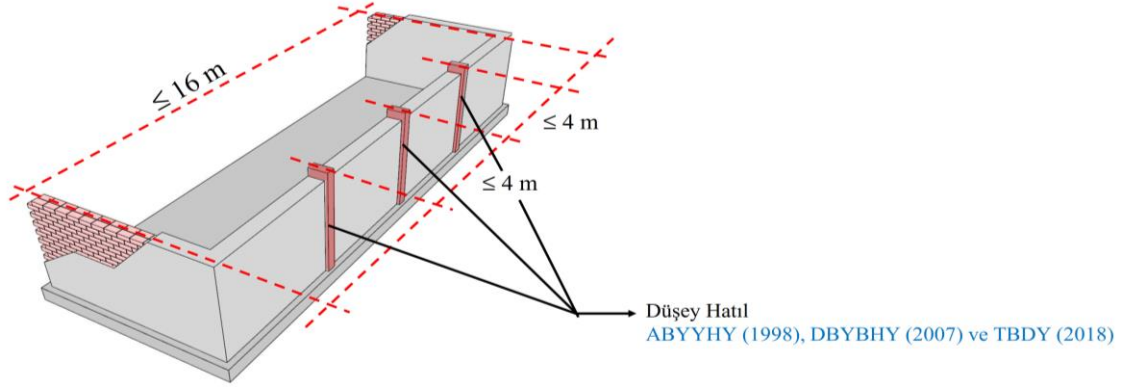
- Zلزlel Mintıklarında Yapılacak İnşaat Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi (1940)
- Zلزlel Mintıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi (1944)
- Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği (1949)
- Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1953)
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1962, 1968, 1975, 1998)
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY- 2018)

Bu çalışma kapsamında güncel olarak kullanılan TBDY, (2018) üzerinden ABYYHY, (1998) ve DBYBHY, (2007) incelenmiştir. TBDY, (2018)'de izin verilen bina yükseklikleri, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlar, kapı/pencere boşlukları ve gerekli en az duvar kalınlıkları detaylı olarak belirtilmiştir. Madde 11.5.2'de DTS (Deprem Tasarım Sınıfı) üzerinden donatısız ve kuşatılmış binalar ile donatılı ve donatılı panel binalar için en fazla duvar aralıkları belirtilmiştir. Madde 11.5.2 "Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları Şekil 10'da ve düşey hatlılar arası mesafeler ise Şekil 11'de verilen şartlara uyulacaktır" (TBDY, 2018).



**Şekil 10.** Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarlar (TBDY, 2018)  
**Figure 10.** Load-bearing walls in unreinforced and confined masonry buildings (TBDY, 2018)

Madde 11.5.2'in devamı "Donatılı yığma ve donatılı panel sistemli binalarda Şekil 10'da verilen boyut sınırları %20 arttırılabilir. Bu şartlara uymayan duvar elemanlarının düzleme dik yöndeki tahkikleri, TS EN 1996-1-1'de verilen şartlara göre yapılacaktır" şeklindedir (TBDY, 2018). Ayrıca yönetmelikte hatıllar ile ilgili olarak; yatay ve düşey hatılların en kesit yüksekliğinin en az 30 cm (ABYYHY, (1998) ve DBYBHY, (2007)'de 20 cm) ve üzeri olması ve iki yatay hatıl arası düşey mesafenin ise en fazla 4 m olması gerektiği belirtilmektedir (Şekil 11).



**Şekil 11.** Donatılı ve donatılı panel sistem yığma binalarda taşıyıcı duvarlar (TBDY, 2018)

**Figure 11.** Load-bearing walls in buildings with reinforced masonry and panel systems (TBDY, 2018)

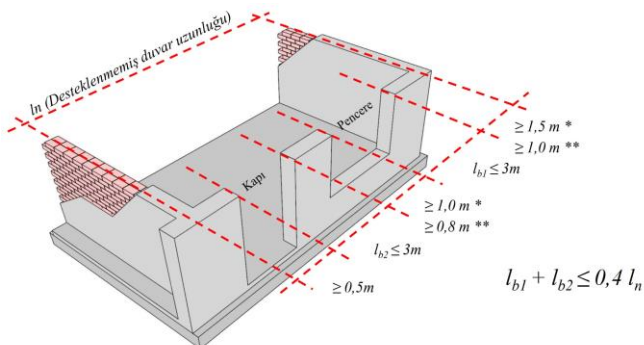
Yığma binalarda bir diğer önemli dikkat edilmesi gereken konu duvar örgü tekniğidir. Bölgelere göre farklı taş örgü tekniği olmasına karşın genel anlamda taş duvarlar üzerinde yaşanan en büyük sorun; herhangi bir mühendislik hizmeti almadan tamamen geleneksel yöntemler ile öğrenilen bilgiler kullanımından kaynaklı olarak kilit taşı kullanımının göz ardı edilmesidir. Kilit taşı kullanımına bağlı olarak gözlenen yıkımlar ve örnek taş dizilimi Şekil 12'de gösterilmiştir.



**Şekil 12.** Kilit taşı ve kilit taşsız duvar bölümünün şemaları (Günaydın vd., 2021)

**Figure 12.** Diagrams of the wall section with and without keystones (Günaydın et al., 2021)

Aynı yönetmelik madde 11.5.3'te ise kapı ve pencerelerde uyulması gereken en fazla açıklıklar belirtilmiştir. "Kapı ve pencere boşluklarının üstünde betonarme lentolar yapılacaktır. Lentoların duvara oturan bölümlerinin boyu 200 mm'den az olmayacaktır. Lento yüksekliği 150 mm'den az olmayacaktır." (TBDY, 2018). Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları Şekil 13'te belirtilmiştir.



**Şekil 13.** Kapı ve pencere boşluklarının belirlenmesi (TBDY, 2018)

**Figure 13.** Determination of door and window gaps (TBDY, 2018)

\* ABYYHY (1998) ve DBYBHY (2007): 1. ve 2. derece deprem bölgesi, TBDY (2018): DTS 1, 1a, 2 ve 2a

\*\* ABYYHY (1998) ve DBYBHY (2007): 3. ve 4. derece deprem bölgesi, TBDY (2018): DTS 3, 3a, 4 ve 4a



**TBDY, (2018)** Tablo 4.1’de bina taşıyıcı sistemleri için izin verilen bina yükseklik sınıfları detaylı olarak belirtilmiştir. Söz konusu tablo üzerinden yığma binalar özelinde Tablo 1 oluşturulmuş ve yığma binalar için izin verilen kat yükseklik sınıfları belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Yığma bina taşıyıcı sistemleri için izin verilen bina yükseklik sınıfları (**TBDY, 2018**)  
**Table 1.** Permissible building height classes for masonry building carrier systems (**TBDY, 2018**)

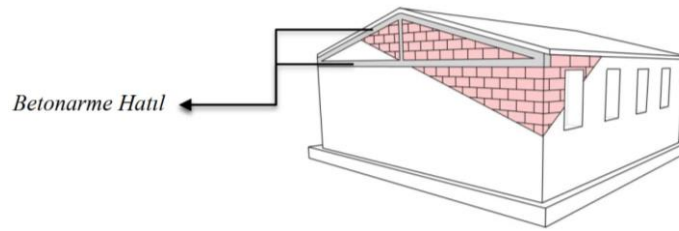
Yığma Bina Taşıyıcı Sistemleri	İzin Verilen Bina Yüksekliği Sınıfları BYS
Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler	
Donatılı yığma Binalar	$BYS \geq 7$
Donatılı gazbeton panel binalar	$BYS \geq 7$
Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler	
Kuşatılmış yığma binalar	$BYS = 8$
Donatısız yığma binalar	$BYS = 8$

1998 ve 2007 yönetmeliklerinde 2018’den farklı olarak bina yükseklik aralığı değil, yığma binalar için deprem bölgelerine göre kat sınırlamaları belirtilmiştir. **TBDY, (2018)**’de ise kat sınırı yanında bina yüksekliğine ilişkin de sınırlamalar getirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre, yığma binalar için, hesap ve tasarımı yapılan binanın yüksekliği; Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ve Deprem Tasarım Sınıflarına (DTS) bağlı olarak Tablo 2’de belirtilen değerler arasında olmalıdır (**TBDY, 2018**).

**Tablo 2.** Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre bina yükseklikleri (**TBDY, 2018**)  
**Table 2.** Building heights according to building height classes and earthquake design classes (**TBDY, 2018**).

Bina Yükseklik Sınıfı BYS	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$

Yığma binalarda bir diğer dikkat edilmesi gereken kural çatılardır. Yapının en üst katındaki döşemede yer alan yatay hatıla oturan bir çatı kalkan duvarı var ve bu duvarın yüksekliği 0.80 m’den fazla ise eğik hatıllar ve bu hatıllara destek olan düşey hatıl yapılacaktır (Şekil 14). Düz ve/veya eğik çatılarda oluşturulan parapet duvarı için ise yığma taşıyıcı duvarlarda geçerli olan kurallar uygulanır. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda desteklenmemiş en büyük duvar uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafelerde Şekil 10 ve Şekil 11’de verilen gerekliliklere uyulmalıdır. Donatılı yığma ve donatılı panel sistemli binalarda ise Şekil 11’de verilen gereklilikler %20 oranında artırılabilir. Parapet duvarının yüksekliği 1,0 m’den büyük ise düşey yönde her metrede bir yatay hatıl eklenmelidir (**TBDY, 2018**).



**Şekil14.** Çatıda eğik hatıl uygulanması (**TBDY, 2018**)  
**Figure 14.** Application of inclined beams on the roof (**TBDY, 2018**)

Binadan gelen yatay ve düşey yüklerin zemine aktarılması açısından oldukça önemli olan temellerin tasarımı yığma binalar için oldukça önemlidir. Bu anlamda günümüzde de geçerliliğini sürdüren 1977 yılında yürürlüğe giren “TS2510- Kârgir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları” yönetmeliği temellerin tasarımında dikkat edilmesi gerekli kuralları belirtmiştir. Yönetmeliğe göre;

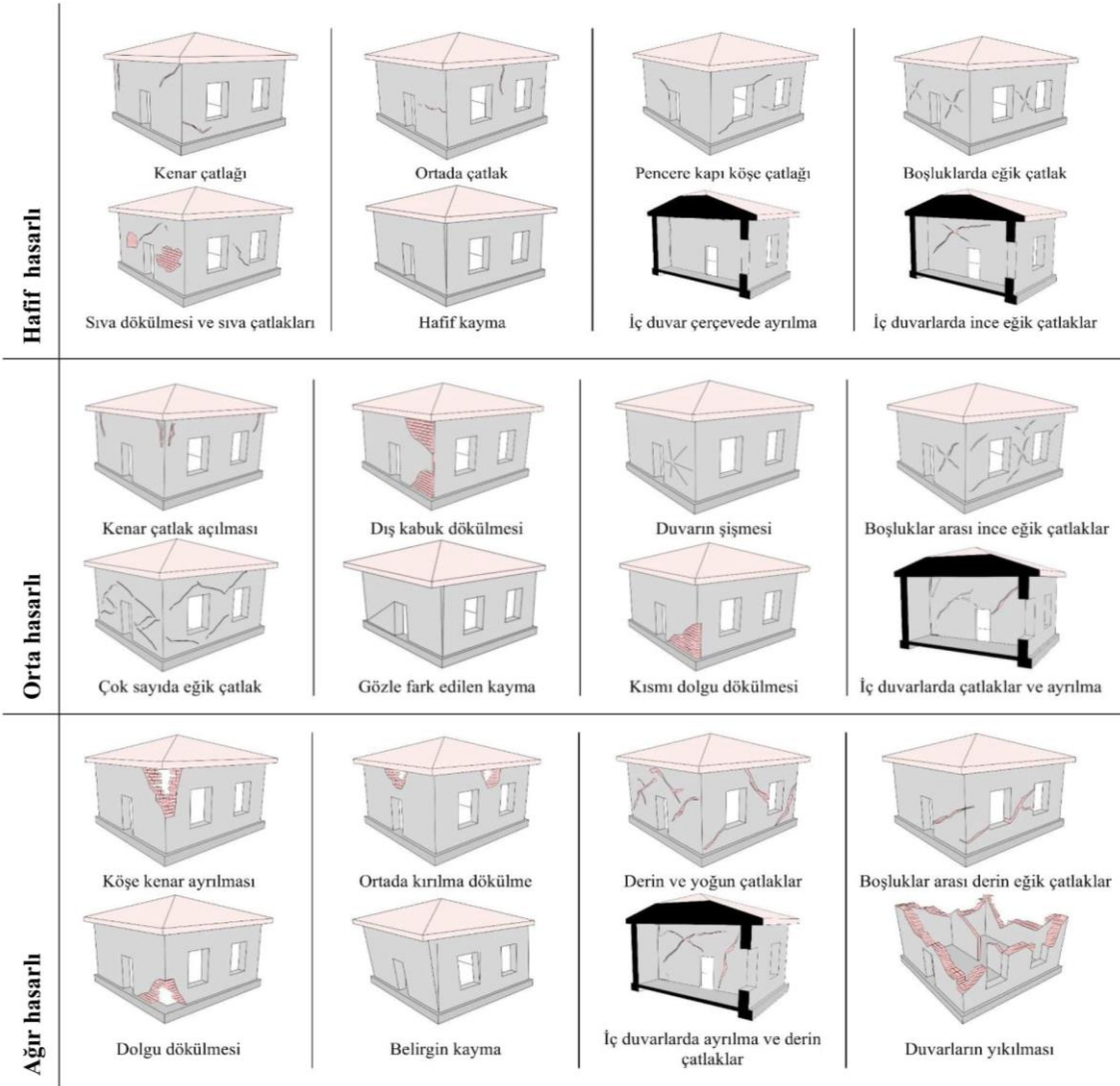
- Temel derinliği saptanırken bölgenin don derinliği de hesaplanmalı duvar bu derinliğin altına incek şekilde düzenlemelidir.

- Temel duvarlarının altında en az 25 cm kalınlığında betonarme sömel hatlı yapılmalı ve bu hatlılar duvarın her bir yanından en az 5 cm taşacak şekilde temel duvarından en az 10 cm büyük olmalıdır.
- Bina konum olarak eğimli bir arazide yer alıyor ise temeller basamaklı olarak düzenlenebilmektedir. Bu durumda basamak yüksekliği 40 cm'den fazla ve basamak uzunluğu 150 cm'den az olmamalıdır.
- Temel zemini kaya olması halinde ise sömel hatlı yapıymından vaz geçilebilmektedir.

### 2.3. Yığma binalarda deprem hasarları

#### 2.3. Earthquake damage in masonry buildings

Deprem sırasında yapıya etkiyen kuvvetler, duvarların düzlemi doğrultusunda, düzlemine dik doğrultuda ve duvara açılı gelen kuvvetlerdir. Yığma binalarda deprem kuvvetlerinden dolayı oluşan hasarlar; malzemenin bozulması, çatlaklar ya da yıkılmalar şeklinde olmaktadır (Crocı, 1998). Yığma binalarda düzlem doğrultusunda gelen kuvvetle duvarlarda oluşan hasar, kayma gerilmeleri dolayısıyla ortaya çıkan çekme gerilmelerinin oluşturduğu çatlak, ayrılma ve dağılmadır. Çatlaklar öncelikle duvar boşlukları köşelerinde meydana gelmekte ve depremin büyüklüğüne göre büyümekte ve sayısı artmaktadır. Yığma bina duvarlarında deprem sonrasında; boşluk altı, iki boşluk arası, boşluk üzerinde kesme çatlakları oluşabilir. Tek yönlü kesme çatlakları, çok tehlikeli hasarlar olmadığı için yapıyı desteklemeye gerek yoktur (Arun, 2016). Ancak depremin büyüklüğü ve süresine bağlı olarak çatlaklar büyür, genişir ve bağımsız duvar parçaları haline gelir (Güler vd., 2015). Bu tür hasarlar yapı cephesi ve genel taşıyıcılığı açısından tehlike oluşturmaktadır. Aşağıda yer alan görsellerde hafif hasarlı, orta hasarlı ve ağır hasarlı (Şekil 15) yığma binalar şematik olarak belirtilmiştir.




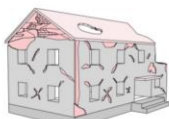
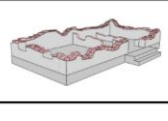


Şekil 15. Hafif, orta ve ağır hasarlı yığma bina örnekleri (Yılmaz vd., 2023)

Figure 15. Examples of slightly, moderate and heavily damaged masonry buildings (Yılmaz et al., 2023)



Deprem, duvar doğrultularına tersinir etkiyebilir. Bu durumda duvar düzlemi doğrultusunda diyagonal çatlaklar, duvar köşelerine doğru düşey çatlaklar, köşe bağlantısı iyi yapılmamış duvar köşelerinin ayrılması ya da yıkılması gözlenmektedir. Köşe bağlantı taşları büyük yapılmışsa hasar daha az olmaktadır (Işın, 2021). Yığma binaların hasar derecelendirilmesinde tercih edilen kriter yük etkisi altında oluşan çatlaklar ve bunların dereceleridir. Deprem sonrası yığma binalarda hasar tespiti için geliştirilen yöntemler gözlemseldir ve hasar dereceleri hasar şekilleri üzerinden belirlenebilmektedir. Bu anlamda yığma binalar üzerinde oluşan hasarlar Tomazevic (1999) tarafından yapı üzerinde oluşan hasarın derecesine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 16).

	<p><b>Derece 1</b> Hafif hasar göz ardı edilebilir (yapısal hasar yok)</p> <p>Duvarda çok az sayıda kılcal çatlaklar görülmekte ve küçük sıva parçaları düşmektedir. Yalnızca bazı durumlarda binaların üst kısımlarından gevşek taşlar düşmektedir</p>
	<p><b>Derece 2</b> Orta hasar (hafif yapısal hasar, orta derecede yapısal olmayan hasar)</p> <p>Birçok duvarda çatlaklar görülmekte, oldukça büyük sıva parçaları düşmekte ve bacaların bazı kısımları devrilmektedir.</p>
	<p><b>Derece 3</b> Önemli ağır hasar (orta düzeyde yapısal hasar, ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Duvarların genelinde büyük ve yaygın çatlaklar görülmekte, kiremitler veya arduvazlar kaymaktadır. Çatı hattında bacalar devrilmekte ve yapısal olmayan elemanlar hasar görmektedir.</p>
	<p><b>Derece 4</b> Çok ağır hasar (ağır yapısal hasar, çok ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Duvarların ciddi hasarlar alması ve kısmi yapısal yetersizlikler sonucunda yıkımlar oluşmaktadır.</p>
	<p><b>Derece 5</b> Yıkım (çok ağır yapısal hasar)</p> <p>Tüm bina veya binanın büyük bir bölümü çökmektedir.</p>

**Şekil 16.** Yığma binalarda hasar sınıfları (Tomazevic, 1999)

**Figure 16.** Damage degree in masonry buildings (Tomazevic, 1999)

### 3. Ağır yığma binalarda hasar örnekleri

#### 3. Examples of damaged masonry buildings

Çalışma kapsamında Türkiye’de son 5 yıl içerisinde gerçekleşen 24 Ocak 2020 Elâzığ Sivrice Depremi ile 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş Elbistan ve Pazarcık Depremleri sonucunda yığma binalar üzerinde oluşan hasarlar deprem yönetmelikleri (1997, 2007 ve 2018) üzerinden analiz edilmiştir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre; 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saat ile 20.55’te, merkez üssü Çevrimtaş Köyü, Sivrice (Elâzığ) olan Elâzığ Sivrice Depremi, Richter ölçeğine göre 6,8 büyüklüğündedir. Avrupa Akdeniz Sismoloji Merkezi’nin yayınladığı haritada Elâzığ’daki depremin yaklaşık 120 milyon kişi tarafından hissedildiği belirtilmiştir. Elâzığ ve Malatya illeri ile çevre iller depremden en çok etkilenen şehirlerdir. Hasar tespit çalışmaları kapsamında Elâzığ, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman ve Kahramanmaraş’ta 39 bin 460 binada inceleme yapılmıştır. 584 binanın yıkıldığı, 6.845’inin ağır hasarlı, 1.207’sinin orta hasarlı, 14.389’unun hafif hasarlı ve 14.317’sinin ise sağlam olduğu belirlenmiştir (AFAD, 2020).

AFAD verilerine göre; 6 Şubat 2023 tarihinde saat 04.17’de Kahramanmaraş’ın Pazarcık ilçesinde 7,7 büyüklüğünde, aynı gün saat 13.24’te ise Elbistan ilçesinde 7,6 büyüklüğünde arad arda depremler meydana gelmiştir. Depremler; Gaziantep, Hatay, Osmaniye, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya ve Adana başta olmak üzere çevre illerde yoğun olarak hissedilmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı hasar tespit çalışmaları sonucunda bölgedeki yıkık/acil yıkılacak bina sayısı 58.039, ağır hasarlı bina sayısı ise 205.534 olarak belirlenmiştir (AFAD, 2023). Söz konusu bu 2 depremden etkilenen yığma binalar; konumu, yapı malzemesi, hasar modu, hasar derecesi ve hasar nedenleri üzerinden aşağıda yer alan Tablo 3 ile analiz edilmiştir.

**Tablo 3.** 2020 Sivrice ve 2023 Elbistan-Pazarcık depreminde hasar alan yığma binaların analizi  
**Table 3.** Analysis of masonry buildings damaged in the 2020 Sivrice and 2023 Elbistan-Pazarcık earthquakes

<b>ÖRNEK 1</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Binada herhangi yatay veya düşey hatlı olmamasına karşın desteklenmemiş duvar mesafesi 5,5 m'den fazladır. Ayrıca bina beden duvarları üzerinde kullanılan taş örgü tekniğinde nispeten kötü aderans sağlayan harç kullanımı ve kilit taşı kullanılmaması nedeniyle dökülmeler görülmüştür.
Konum: Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi: Taş		
Hasar Modu: Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi: Derece 4		
<b>ÖRNEK 2</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Bina öncelikle düzensiz bir plan geometrisine sahiptir. Ayrıca yapılan eklerde kullanılan köşe birleşim hataları nedeniyle beden duvarları üzerinde dağılmalar görülmektedir.
Konum: Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi: Taş		
Hasar Modu: Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi: Derece 4		
<b>ÖRNEK 3</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Binada desteklenmemiş duvar uzunluğu 5,5 m'den fazladır ve düşeyde cephe geometrisi açısından sorun oluşturabilecek çıkıntılar görülmektedir. Ayrıca bina beden duvarları üzerinde kullanılan taş örgü tekniğinde nispeten kötü aderans sağlayan harç kullanımı ve devşirme malzemeler nedeniyle dökülmeler görülmüştür.
Konum: Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi: Taş		
Hasar Modu: Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi: Derece 4		
<b>ÖRNEK 4</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Kerpiç binaların tek katlı yapılması koşuluna rağmen, inşa edilen 2. kat binada deprem performansını azaltmaktadır ve bu nedenle oluşan çatlaklar görülmüştür. Ayrıca çatı kalkan duvarı üzerinde herhangi bir eğik hatlı uygulaması olmaması nedeniyle kopmalar mevcuttur.
Konum: Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi: Kerpiç		
Hasar Modu: Düzlem İçi		
Hasar Derecesi: Derece 3		
<b>ÖRNEK 5</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Binada öncelikle cephe geometrisi açısından düşeyde sürekliliğin olmadığı görülmektedir. Bu durum nedeniyle duvarlar üzerinde derin çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca pencere ile bina köşesi arasında bırakılması gereken en az mesafe kuralına uyulmamış ve pencere üzerine yerleştirilmesi gereken lento/hatlı vb. elemanların mevcut olmadığı görülmüştür.
Konum: Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi: Tuğla/Kerpiç		
Hasar Modu: Düzlem İçi		
Hasar Derecesi: Derece 2		
<b>ÖRNEK 6</b>		
Deprem: Sivrice		<b>Hasar Nedeni</b>  Binada uygulanan düzensiz plan geometrisi ve yatayda hatlı olmasına karşın herhangi bir düşey hatlı olmayışı hasarın ana nedenleridir. Ayrıca desteklenmemiş taşıyıcı duvar uzunluğu 5,5 m'den fazla olduğu görülmüştür.
Konum: Elazığ		
Konstrüksiyon Malzemesi: Taş		
Hasar Modu: Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi: Derece 4		



**Tablo 3'in devamı**  
**Table 3 continued**

<p><b>ÖRNEK 7</b></p> <p>Deprem: Sivrice</p> <p>Konum: Elazığ</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Taş</p> <p>Hasar Modu: Düzlem İçi</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 2</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Bina genel olarak deprem performansı açısından başarılıdır ancak pencereler ile bina köşesi arasında bırakılması gerekli olan en az mesafenin bırakılmaması nedeniyle çatlakların oluştuğu ve bu çatlakların alt katlara doğru ilerlediği görülmüştür.</p>
<p><b>ÖRNEK 8</b></p> <p>Deprem: Sivrice</p> <p>Konum: Elazığ</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Tuğla</p> <p>Hasar Modu: Düzlem İçi</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 2</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Binada pencereler ile bina köşeleri arasında yönetmelik gereği bırakılması gereken en az mesafe kuralına uyulmadığı görülmüştür. Bu nedenle pencereler ile köşeler arasında derin çatlaklar oluşmuştur.</p>
<p><b>ÖRNEK 9</b></p> <p>Deprem: Sivrice</p> <p>Konum: Elazığ</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Taş</p> <p>Hasar Modu: Düzlem Dışı</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 4</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Binada yönetmelikle gereği pencerenin en fazla olması gereken açıklıktan fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle pencere parapetlerinde ayrılmalar ve oynamalar mevcuttur. Ayrıca bina beden duvarları arasında taş örgü tekniği açısından zayıf bağlantılar sonucu duvarların çöktüğü görülmüştür.</p>
<p><b>ÖRNEK 10</b></p> <p>Deprem: Elbistan ve Pazarcık</p> <p>Konum: Hatay</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Taş</p> <p>Hasar Modu: Düzlem İçi</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 2</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Binada gözlemlenen ana hasar nedeni yatay ve/veya düşey hatlı kullanılmamasıdır. Ayrıca taş örgü tekniği ile alakalı olarak kilit taşı kullanılmaması ve taşıyıcı duvarlar arasındaki bağlantıların zayıf kalması nedeniyle duvarlar üzerinde çökmeler gözlemlenmiştir.</p>
<p><b>ÖRNEK 11</b></p> <p>Deprem: Elbistan ve Pazarcık</p> <p>Konum: Hatay</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Taş</p> <p>Hasar Modu: Düzlem Dışı</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 3</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Binada öncelikli hasar nedeni olarak düzensiz olan plan geometrisi gözlemlenmiştir. Bir diğer neden ise yatay ve/veya düşey yönde hatlı kullanılmaması özellikle çatı ile bağlantılı duvarlarda çökmelere neden olmuştur.</p>
<p><b>ÖRNEK 12</b></p> <p>Deprem: Elbistan ve Pazarcık</p> <p>Konum: Gaziantep</p> <p>Konstrüksiyon Malzemesi: Kerpiç</p> <p>Hasar Modu: Düzlem Dışı</p> <p>Hasar Derecesi: Derece 4</p>		<p><b>Hasar Nedeni</b></p> <p>Binada öncelikli hasar nedeni kerpiç malzeme ile 2 katlı olarak inşa edilmesidir. Bir diğer hasar nedeni olarak desteklenmemiş taşıyıcı duvarlar arasında bırakılması gereken en fazla mesafe olan 5,5 m'nin aşılması görülmüştür.</p>



**Tablo 3'in devamı**  
**Table 3 continued**

ÖRNEK 13			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binada öncelikli hasar nedeni taş örgü tekniğinde nispeten kötü aderans sağlayan taş ile harç kullanımı ve kilit taş kullanılmamasıdır. Diğer bir hasar nedeni olarak desteklenmemiş taşıyıcı duvarlar arasında bırakılması gereken en fazla mesafe olan 5,5 m'nin aşıldığı görülmüştür.</p>
Konum:	Gaziantep		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Taş		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 4		
ÖRNEK 14			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binada desteklenmemiş duvarlar arası en fazla mesafe ve pencere/kapı boşluklarının en fazla genişlikleri için yönetmeliklerde belirtilen kurallara uyulmadığı görülmüştür. Ayrıca yapıda yatay ve/veya düşey hatlı olmaması bir diğer hasar nedenidir.</p>
Konum:	Gaziantep		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Tuğla		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 3		
ÖRNEK 15			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binada öncelikli hasar nedeni pencereler ile bina köşesi arasında bırakılması gereken en az mesafeye uyulmaması ve yatayda ve/veya düşeyde hatlı kullanılmaması olarak görülmüştür. Bir diğer neden ise özellikle iç taşıyıcı duvarlar ve beden duvarları arasındaki bağlantının zayıf bırakılmasıdır.</p>
Konum:	Kahraman Maraş		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Bims Briket		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 3		
ÖRNEK 16			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binada özellikle 1. ve 2. katlarda döşeme düzleminde yatay hatlılar bulunmasına karşın katlar arasında ve pencere/kapı çevresinde yatay ve/veya düşey hatlı görülmemiştir. Ayrıca pencereler ile bina köşeleri arasında bırakılması gereken en az mesafe kuralına uyulmadığı görülmüştür.</p>
Konum:	Kahraman Maraş		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Bims Briket		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 5		
ÖRNEK 17			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binadaki yönetmeliklerde yer alan gereklilikler açısından bir sorun gözlenmemiştir. Ancak özellikle taş örgü tekniği açısından taşıyıcı duvarların bağlantıları ve kullanılan bağlayıcı harcın oldukça zayıf olduğu görülmüştür.</p>
Konum:	Adıyaman		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Taş/Kerpiç		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 4		
ÖRNEK 18			Hasar Nedeni
Deprem:	Elbistan ve Pazarcık		<p>Binada öncelikli hasar nedeni taş örgü tekniği ve kullanılan bağlayıcı harcın zayıf olmasıdır. Bu nedenle duvarlarda kabarmalar ve çökmeler görülmüştür. Ayrıca bir diğer neden ise desteklenmemiş duvarlar arası en fazla mesafe için yönetmeliklerde belirtilen kurallara uyulmadığı gözlenmiştir.</p>
Konum:	Malatya		
Konstrüksiyon Malzemesi:	Taş		
Hasar Modu:	Düzlem Dışı		
Hasar Derecesi:	Derece 5		

#### 4. Değerlendirme ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusion

Çalışma kapsamında incelenen 18 yığma bina örneği aşağıda yer alan Tablo 4'te mimari tasarım hataları üzerinden değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.** Örnek yığma binaların mimari tasarım hataları üzerinden karşılaştırılması  
**Table 4.** Comparison of sample masonry buildings based on architectural design mistakes.

Mimari Tasarım Hataları	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5	Örnek 6	Örnek 7	Örnek 8	Örnek 9	Örnek 10	Örnek 11	Örnek 12	Örnek 13	Örnek 14	Örnek 15	Örnek 16	Örnek 17	Örnek 18
Plan Geometrisi		✓				✓					✓							
Cephe Geometrisi			✓		✓													
Kat Sayısı				✓								✓						
Desteklenmemiş Duvar Uzunluğu	✓		✓			✓						✓	✓	✓				✓
Yatay/Düşey Hatlı Kullanımı ve Hatıllar Arası Mesafeler	✓				✓	✓				✓	✓			✓	✓	✓		
Kilit Taşı Kullanımı ve Taş Örgü Tekniği	✓	✓	✓						✓	✓			✓		✓		✓	✓
Kapı ve Pencere Boşluklarının Belirlenmesi					✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓		
Eğik Hatlı Kullanımı				✓														

Türkiye'nin doğusunda meydana gelen Sivrice, Pazarcık ve Elbistan depremleri neticesinde hasar alan yığma binalar incelendiğinde, Tablo 4'ten de anlaşılacağı üzere genel olarak hasarlar; "Desteklenmemiş Duvar Uzunluğu", "Yatay/düşey Hatlı Kullanımı ve Hatıllar Arası Mesafeler" ve "Kilit Taşı Kullanımı ve Taş Örgü Tekniği" üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu durum genel olarak binaların herhangi bir mimarlık ve/veya mühendislik hizmeti almaksızın tamamen yerel ustalar tarafından yerel malzemeler ile geleneksel olarak elde edilen bilgiler ışığında inşa edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Yığma binalarda genel olarak;

- Bina geometrisinin düşeyde ve yatayda karşılaması gereken tasarım gerekliliklerini karşılamaması,
- Yatay ya da düşey olarak hatlı kullanılmaması,
- Desteklenmemiş duvarlar arasındaki mesafelere dikkat edilmemesi,
- Pencere boşluklarında, pencere-bina köşesi arasında ve pencere boşlukları arasında uyulması gereken en az ve en çok mesafelere uyulmaması,
- Genel olarak bölgelerinde kolay temin edinilen malzemeler tercih edilmesi nedeniyle taş ve kerpiç yığma binalar yoğunlukta olması ve bu binaların bağlayıcı harcının genel olarak aderansı zayıf malzemeler olması,
- Kerpiç gibi özel yapım kuralları gerektiren malzeme kullanılan binalarda kat sayısına dikkat edilmemesi,
- Farklı malzeme kullanımında düşeyde hatıllar ile malzemelerin ayrılmaması, yatayda ise aralarındaki kenetlenmeyi sağlayacak detayların inşa aşamasında göz ardı edilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yukarıda belirtilen tüm yanlış tasarım kararları; kültürel mirasın gelecek kuşaklara aktarılması ve yerel mimari dokunun korunması açısından oldukça önemli binalar olan yığma binaların ciddi hasarlar almasına hatta yıkılmasına neden olmaktadır. Yıkılan binaların yerine yerel kimliğin korunması açısından yerel malzemeler ve yapım teknikleri kullanılarak yeni binalar inşa edilmesi gerekmektedir. Yıkımların ortaya çıkardığı maddi ve manevi hasarlar göz önünde bulundurularak yeni inşa edilecek olan binalarda, çalışma genelinde bahsedilen mimari tasarım kurallarına eksiksiz olarak uyulmalıdır. Ayrıca hasar nedenlerinin taş örgü tekniği ve hatlı kullanımına yoğunlaşması yığma bina inşaatı konusunda yeterli bilginin olmadığını ispatlamaktadır. Bu anlamda yığma binaların daha çok tercih edilmesinden kaynaklı olarak özellikle kırsal bölgelerde yer alan nüfusun yığma bina konusunda bilgilendirilmesi, tüm bu yeniden inşa sürecinin başarılı bir şekilde yürütülmesi açısından oldukça önemlidir.



## **Teşekkür**

### *Acknowledgement*

Makalenin hazırlanması aşamasında, görsellerin temini konusunda arşivini paylaşmasından dolayı sayın Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN'a ve mimari olarak verdiği katkılardan dolayı sayın Arş. Gör. Tayfur Emre YAVRU'ya, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı ise dergi editör ve hakem/hakemlerine teşekkürlerimi sunarım.

## **Yazar katkısı**

### *Author contribution*

Yazar, makale içeriğinin oluşturulması ve kaleme alınması açısından tüm aşamalarda görev almıştır.

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

## **Çıkar çatışması beyanı**

### *Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## **Kaynaklar**

### *References*

- ABYYHY (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye. *T.C. Resmî Gazete* (23098 Mük., 2 Eylül 1997).
- AFAD. (2020). *24 Ocak 2020 Sivrice (Elâzığ) Deprem Raporu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi*. <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1831>
- AFAD. (2023). *06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7,7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7,6 Deprem Raporu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi*. [https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu\\_02.06.2023.pdf](https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf)
- Amani, A., Sagirolu, S., & Doğançün, A. (2020). Örnek bir yığma bina üzerinde 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırmalı olarak irdelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 13-26.
- Arun, G. (2005). Yığma kagir yapı davranışı. *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, 17, 2005.
- Arun, G. (2016). Tarihi Yığma Yapılarda Hasar Teşhisi. Tarihi yığma yapılarda hasar teşhisi. *Gaziantep Şubesi Eğitim Semineri*. Gaziantep, Türkiye: TMMOB İnşaat Mühendisler Odası.
- Ay, B. Ö., Azak, T. E. (2021). Türkiye’de değişen yapı özelliklerinin karşılaştırmalı incelemesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1111-1126. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1048380>
- Batur, A., (1999). *Donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı ve bazı ülkelerin, şartnamelerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bayülke, N., (2011). Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim*, Ankara.
- Birinci, F., Haciefendioğlu, K., (2015). Nüfus-idari yapı-plan-kentleşme-yapılaşma perspektifinden Türkiye’nin deprem afet riski analizi ve çözüm önerileri, *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim*, İzmir.

- Budak, A., Uysal, H., & Aydın, A. C. (2004). Kırsal yapıların deprem karşısındaki davranışı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(3-4).
- Croci, G. (1998). The conservation and structural restoration of architectural heritage (Vol. 1). WIT Press.
- Çöğürçü, M. T., Kamanlı, M., (2007). Yığma yapıların dinamik ve mühendislik davranışının düzlem dışı kuvvetler altında deneysel olarak incelenmesi, *Journal of Technical-Online*, 6(2), 83-108.
- D'Ayala, D. F., & Paganoni, S. (2011). Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 81-104. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9224-4>
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. T.C. Resmî Gazete (26454, 6 Mart 2007).
- Döndüren, M. S., & Kollu, M. S. (2018). Son 15 Sene İçinde Türkiye'de Meydana Gelen Depremlerde Yığma Binalarda Meydana Gelen Hasarlar ve Nedenleri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17(2), 59-70.
- Güler, K., Aydoğan, M., Çelik, M., Gençoğlu, M., Güler, K., Hasgür, Z., ... & Tuğsal, Ü. M. (2015). Deprem sonrasında yığma binaların hasar sınıflandırılmasında kullanılacak yeni AFAD hasar tespit formları. Hasar Tespit Sisteminin İyileştirilmesi Projesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Meslek içi Eğitim Semineri.
- Günaydın, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunışık, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., ... & Angin, Z. (2021). Seismic damage assessment of masonry buildings in Elâzığ and Malatya following the 2020 Elâzığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 2421-2456. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01073-5>
- Işın, H. (2021). *Deprem sonrası yığma yapılarda acil yapı desteği yöntemi* [Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- Kaptan, M. (2010). *Anıtsal yığma binalarda risk düzeyinin tespitine ilişkin bir ön değerlendirme yöntemi* [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Koç V. (2016). Depreme maruz kalmış yığma ve kırsal yapı davranışlarının incelenerek yığma yapı yapımında dikkat edilmesi gereken kuralların derlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 36-57.
- McKenzie, W., M., (2001). *Design of Structural Masonry*, Palgrave Publishers Ltd. New York.
- Oyguç, R. A. (2017). 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 296-315.
- Putrino, V., & D'Ayala, D. (2020). Effectiveness of seismic strengthening to repeated earthquakes in historic urban contexts: Norcia 2016. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(1), 47-64. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2018-0230>
- Seferoğlu, M. T., Seferoğlu, A. G., & Akaryalı, E. (2023). Investigation of the structural damage caused by blasting activities in tunnels to surrounding buildings: The case of Gümüşhane belt highway. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 221-234.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye. T.C. Resmî Gazete (30364 Mük., 18 Mart 2018).
- Tomazevic, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry buildings (Vol. 1)*. Imperial College Press, Singapore.
- Yıldızoğlu, H., Ömer, C. A. N., & Tayfur, B. (2018). Yığma binalarda deprem performansının belirlenmesi (Bayburt Korkut Ata Lisesi örneği). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 372-380.
- Yılmaz S., Yavru T. E., Baş G.Y., Günaydın M. (2023). The role of architectural design in the seismic resistance of masonry buildings, *3rd International Civil Engineering and Architecture Congress (ICEARC'23)*, 12-14 October. Trabzon.

## Bibliometric analysis and research trend of sustainable green transportation

### *Sürdürülebilir yeşil ulaşımın araştırma eğilimi ve bibliyometrik analizi*

Nuriye KABAKUŞ\* 

Ataturk University, Faculty of Applied Sciences, Department of Emergency and Disaster Management, 25240, Erzurum

• Received: 21.06.2023

• Accepted: 03.01.2024

#### Abstract

In recent years, the concept of green transportation has rapidly entered our lives with the increasing awareness of environmental problems such as climate change, air pollution and depletion of natural resources. Green transportation has become a new scientific research area under the umbrella of sustainability due to its benefits to both the economy and the environment. The aim of this study is to provide a common quantitative and qualitative understanding of the overall evolutionary trend, knowledge structure and literature gaps of the sustainable and green transportation (S&GT) research field. For this purpose, the Bibliometrix library provided by R software was used to analyze S&GT-related scientific research in the Web of Science database. In this study, using the science mapping approach, a total of 2018 publications published from 1997 to 2022 were analyzed and synthesized in detail. In addition, visualized statistics on the number of publications, citations, prominent authors, institutions, countries, sources, keywords and research themes in the field of S&GT were analyzed bibliographically. The analysis results show that China is the largest contributing country; Changan University is the most influential institution; Zhang L. is the most influential writer; Sustainability Journal is the primary publishing platform, in the S&GT field. The results are expected to guide researchers interested in S&GT issues to identify research gaps. In conclusion, the findings systematically describe the current state of play, key issues and academic frontiers in the field of S&GT.

**Keywords:** Bibliometric analysis, Green transportation, Sustainable transportation, Web of science

#### Öz

Son yıllarda iklim değişikliği, hava kirliliği, doğal kaynakların tükenmesi gibi çevre sorunlarına yönelik farkındalığın artmasıyla yeşil ulaşım kavramı hızlı bir şekilde hayatımıza girmiştir. Yeşil ulaşım, hem ekonomiye hem de çevreye sağladığı faydalar nedeniyle sürdürülebilirlik çatısı altında yeni bir bilimsel araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir ve yeşil ulaşım (S&GT) araştırma alanının genel evrimsel eğilimi, bilgi yapısı ve literatür boşlukları için ortak bir niceliksel ve niteliksel anlayış sunmaya çalışmaktadır. Bu amaçla, Web of Science veri tabanındaki S&GT ile ilgili bilimsel araştırmaları analiz etmek için R yazılımı tarafından sağlanan Bibliometrix kütüphanesi kullanılmıştır. Bu çalışmada, bilim haritalama yaklaşımı kullanılarak 1997'den 2022'a kadar yayımlanan toplam 2018 yayın ele alınarak ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve sentezlenmiştir. Ayrıca S&GT alanında yayınların sayısı, atıflar, öne çıkan yazarlar, kurumlar, ülkeler, kaynaklar, anahtar kelimeler ve araştırma temalarının zamansal değişimine ilişkin görselleştirilmiş istatistikler bibliyografik olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, S&GT alanında Çin'in en fazla katkı sağlayan ülke; Changan Üniversitesi'nin en etkili kurum; Zhang L. en etkili yazar; Sürdürülebilirlik dergisinin birincil yayın platformu olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçlarının, S&GT konularına ilgi duyan araştırmacılara araştırma boşluklarını tespit etmeleri için yol göstermesi beklenmektedir. Sonuç olarak bulgular S&GT alanındaki mevcut durumu, önemli konuları ve akademik sınırları sistematik bir şekilde açıklamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Bibliyometrik analiz, Yeşil ulaşım, Sürdürülebilir ulaşım, Web of science

\*Nuriye KABAKUŞ; nsirin@atauni.edu.tr

## 1. Introduction

Sustainable transportation involves the use of transport systems and modes that minimize negative environmental, social and economic impacts while meeting the mobility needs of individuals and communities. It aims to create a more environmentally friendly and socially equitable transportation system by focusing on reducing carbon emissions, increasing energy efficiency and minimizing resource consumption. While sustainable transportation represents an approach that meets current needs and considers the needs of future generations, green transportation refers to transportation systems that reduce environmental impacts and use resources more efficiently (Eyüboğlu, 2023). Therefore, green transportation is an approach that supports sustainability goals and is expected to help societies create a more sustainable future in environmental, economic and social terms. The main objective of green transportation is to reduce environmental impacts such as air pollution, greenhouse gas emissions and climate change by reducing the use of fossil fuels originating from transportation. At the same time, green transportation aims to use energy and resources more efficiently, and the transition to less energy-consuming transportation modes supports the sustainable use of natural resources with energy savings. Green transportation provides transportation equality by promoting environmentally friendly and accessible transportation options such as public transportation, cycling and walking. In addition, a cleaner environment and better quality air will be inherited to future generations as a result of the widespread use of green transportation options and the decrease in the use of motor vehicles. In line with its contributions, green transportation has been the focus of attention of countries and researchers in recent years.

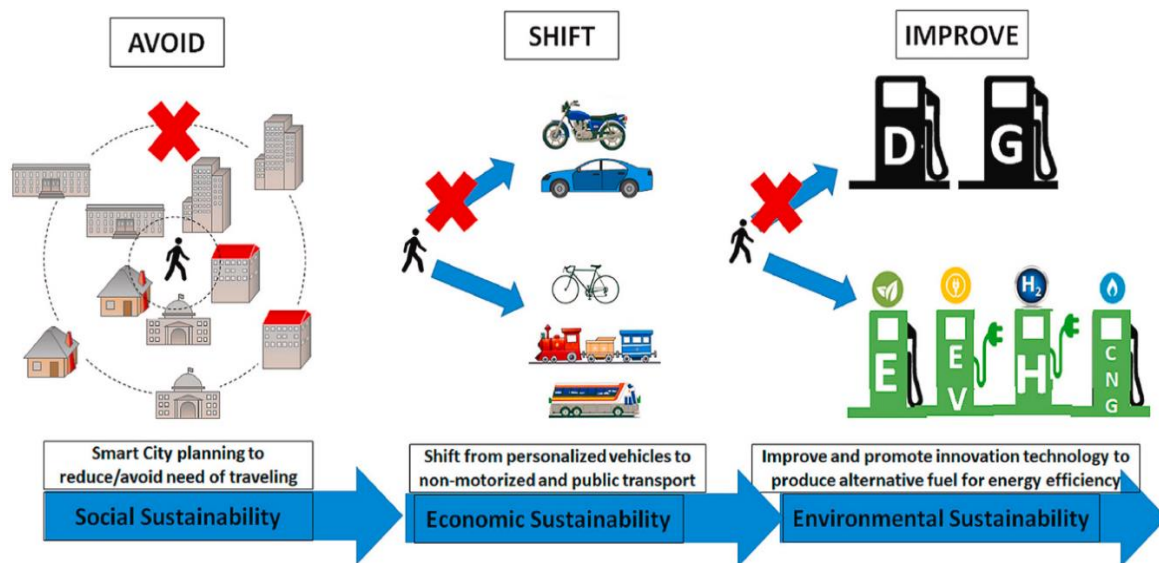
The transport sector accounts for about 15% of all greenhouse gas (GHG) emissions and 23% of total CO<sub>2</sub> emissions that the most widespread of all GHG emissions (ITF, 2010). These global CO<sub>2</sub> emissions from the transportation sector increased by 45% from 1990 to 2007 and are expected to continue to increase by around 40% from 2007 to 2030 (ITF, 2010). The increase in these emissions has led countries to develop projects and policies to achieve sustainable development goals. In this context, the BioEthanol for Sustainable Transport (BEST) project was launched in Stockholm in 2005 to promote sustainable transportation. This innovative project aimed to minimize environmental impacts by increasing the use of clean vehicles that run on renewable fuels and have almost zero CO<sub>2</sub> emissions. The objectives were to improve air quality in the city center and reduce greenhouse gas emissions and noise. As part of this innovative project, owners of eco-friendly vehicles were exempted from traffic fees during peak rush hours in the city center and parking fees in the city center were increased. This encouraged people to choose eco-friendly vehicles as a more sustainable transportation option (Bedsworth et al., 2007). The BEST project not only made clean vehicles more widespread, but also raised the awareness of the city's population and emphasized the importance of sustainable transportation.

The Metka-project (Sustainable Building for Metropolitan Area) in Helsinki, Finland, was implemented with the aim of realizing sustainable urban and transportation goals in the metropolitan area. By emphasizing the physical characteristics of the urban fabric and creating pedestrian walkways with site-specific urban design, it has realized a fascinating transformation. In particular, existing constructions were carefully analyzed, various information was collected, and traffic connections were provided in an excellent way (Dymen & Henriksson, 2009). Such innovative projects are an important step in promoting environmentally friendly transportation and preparing cities for a more sustainable future.

Hart stated that the economy exists within society and society exists within the environment together with the economy, and if the environment, society, and economy are considered holistically, the way to achieve sustainability will be paved (Hart, 1999). Sustainable transportation aims to minimize environmental impacts, promote social justice and contribute to economic sustainability.

Figure 1. shows the steps of the A-S-I approach proposed by Shah et al. to achieve sustainable mobility. "Avoid", refers to increasing the efficiency of the transport system and the need to reduce travel demands as much as possible. "Shift" refers to improving travel efficiency by opting for public and non-motorized transportation. "Improve" refers to the optimization of transport infrastructure as well as a focus on improving fuel and vehicle efficiency (Shah et al., 2021). This proposed approach is the focus of the strategies developed by countries to achieve their sustainable development goals. Reducing the use of single-occupancy motor vehicles, increasing the use of environmentally friendly modes of transportation such as walking, cycling and e-scooters for short-distance trips, and encouraging the public to use public transportation will reduce traffic-related emissions. Thus, environmental problems such as air pollution, noise pollution and traffic congestion

are reduced, contributing to a sustainable environment. Finally, it is essential to provide the necessary infrastructure for S&GT. The existing charging station infrastructure needs to be improved to increase the use of electric vehicles, which are one of the environmentally friendly modes of transportation and are trying to replace traditional motor vehicles. In addition, planning and infrastructure improvements should be made for pedestrian and bicycle roads.



**Figure 1.** Avoid-shift-improve (A-S-I) approaches (Shah et al., 2021)

It is observed in the literature that green transportation is still an emerging field. However, it is noteworthy that the data sets used in the studies are limited and therefore their contributions are insufficient. The paper contributes to the literature by proposing a bibliometric analysis approach for the field of S&GT for the first time. Furthermore, this study aims to conduct a bibliometric analysis by considering bibliometric characteristics and keywords in order to evaluate the sustainable and green transportation literature and trends in a broader framework. The bibliometric analysis will contribute to sustainable and green transportation researchers on the focused topics. This study focuses on: (i) determining temporal patterns in the quantity of articles and citations released within this field of research; (ii) acknowledging the countries, organizations, sources of publication, and individual researchers with higher prominence and productivity; (iii) exploring co-authorship, most cited articles, co-citation between organizations and individuals worldwide; (iv) discovering patterns within the keywords of these studies. The results of the analysis also help to identify the most appropriate journals for S&GT research.

## 2. Data collection

Thomson Reuters' Web of Science Core Collection Database (WoS) (<http://www.webofknowledge.com/>) is widely recognized as the primary database for conducting bibliometric analysis (Van Leeuwen, 2006). Unlike alternative databases, WoS offers greater uniformity and standardization in its records (Bettencourt & Kaur, 2011). Scopus database, which has limited access, was not included in the study, and WoS was used as a source for this study. Publications from 1997 to 2022 were collected from WoS. The keywords "sustainable transportation" and "green transportation" were used for the search. Areas related to S&GT are refined in the web of science categories. Table 1 shows the number and types of publications in this date range.

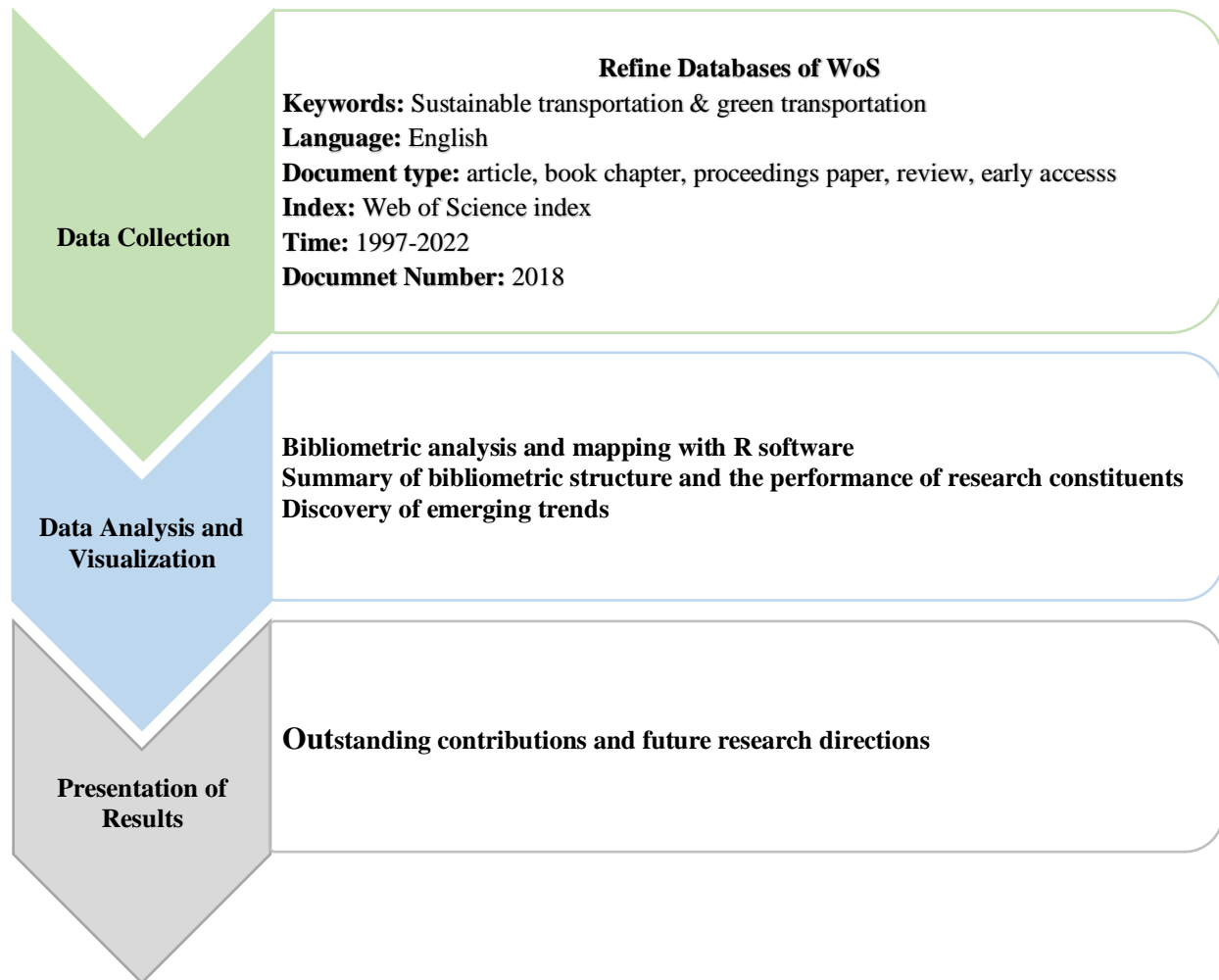
## 3. Methodology

Bibliometrics is a set of methods used to quantitatively analyze scientific and technological literature (Nicolaisen, 2010). Bibliometric analysis provides a quick overview of general trends and guidelines that help to understand the research trends of a particular field (Das et al., 2023). The analysis of bibliometric data is a systematic and repeatable process that involves quantitative measures to review scientific publications, evaluate research articles, and identify trends and patterns over a given period (Broadus, 1987). The primary goal of bibliometric analysis is to measure and assess the influence, visibility, and productivity of scientific



research. It provides a way to examine patterns of publication, identify important authors and institutions, track the dissemination of knowledge through citations, and evaluate the impact of individual articles or journals. By employing bibliometric analysis, researchers can uncover patterns, relationships, and trends within scientific literature, enabling them to assess the scientific impact of research, identify potential collaborations, and make evidence-based decisions in academic and research environments.

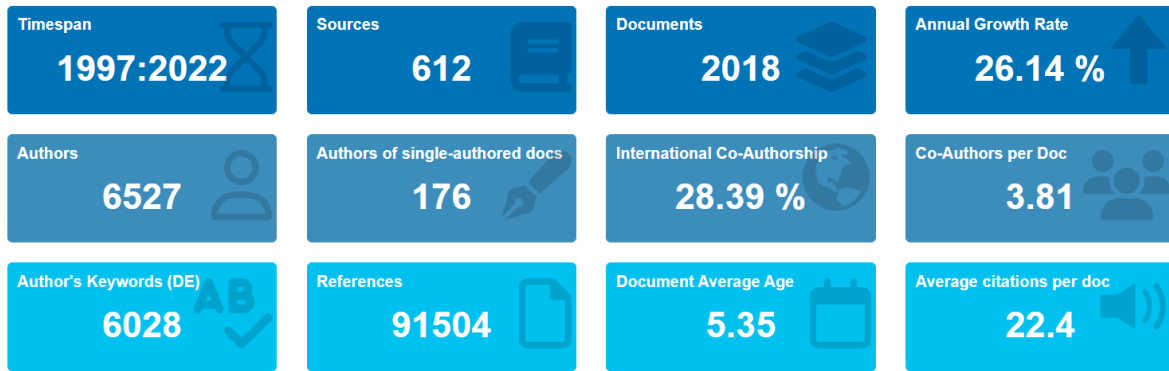
The information of the publications on S&GT was taken from the Web of Science database electronically and transferred to the R software, all calculations and operations for tables and graphics were carried out through the Rstudio program. Figure 2 shows framework of the study.



**Figure 2.** Steps of methodology

#### 4. Results and discussion

Figure 3 illustrates general information about the study. This study includes 2018 documents about S&GT in the Web of Science database between 1997 and 2022. These documents were published in 612 different sources, and 6527 authors contributed to these studies. 176 of them have a single author. The rate of international cooperation between the authors is 28.39 %. The average number of authors per document is 3.81. Authors in 2018 studies defined 6028 keywords and cited 91504 sources. The average life span of the documents is 5.35 years. The average number of citations of these documents was determined as 22.4.



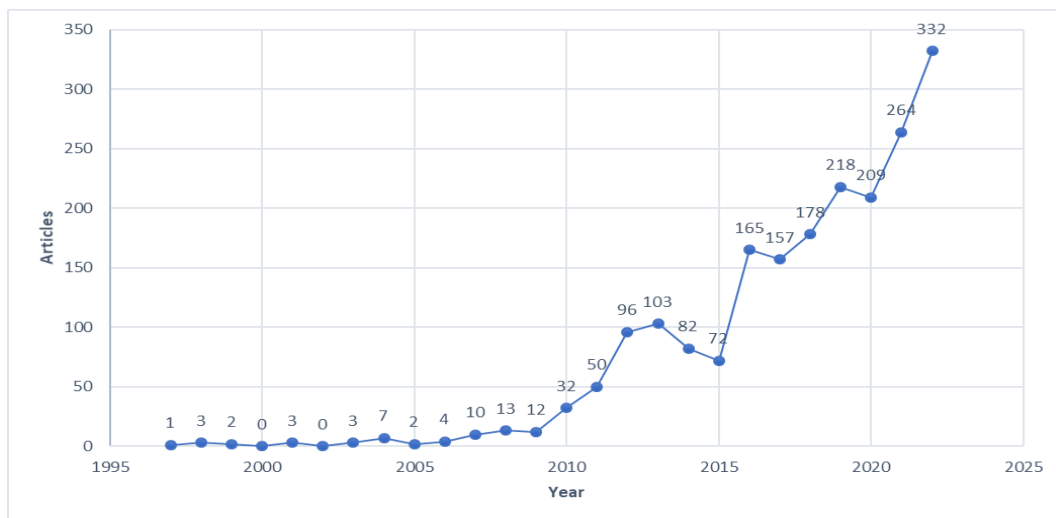
**Figure 3.** General informations on S&GT studies

Table 1 lists the distribution of publications by document type. In the 2018 documents, 1176 articles, 66 article; book chapter, 23 article; early access, 27 article; proceedings paper, 534 proceedings papers, 187 reviews, 1 review; book chapter, 4 review; early access.

**Table 1.** Distribution of publications by document types

Document types	No
article	1176
article; book chapter	66
article; early access	23
article; proceedings paper	27
proceedings paper	534
review	187
review; book chapter	1
review; early access	4
<b>Total</b>	<b>2018</b>

Figure 4 shows the temporal trend of the number of publications on S&GT. As shown in Figure 4, the number of publications has shown a consistent upward trend from 1997 to 2022. The number of publications in 2013 was 103. Although this number decreased in 2014 and 2015, it started to increase rapidly in the following years. In 2022, this number reached 332 publications on S&GT.



**Figure 4.** Annual scientific production

Table 2 lists information about the number of publications by year, the average number of citations, the average number of citations per year, and the citation years. Only one study was published in 1997. This study was cited 3 times on average, while the annual citation average was 0.11. Although there was a decrease in the number of articles on S&GT in 2005, 2015, 2017 and 2020 an increase was observed in the average number of citations and the annual average number of citations compared to the previous year. While the highest number of articles was reached in 2022, there was a decrease in the average number of citations and the annual average number of citations.

**Table 2.** Average citations per year

Year	MeanTCperArt	N	MeanTCperYear	Citable years
1997	3	1	0.11	27
1998	40.67	3	1.56	26
1999	0.5	2	0.02	25
2001	116	3	5.04	23
2003	50.33	3	2.40	21
2004	0	7	0.00	20
2005	29	2	1.53	19
2006	52.25	4	2.90	18
2007	35.1	10	2.06	17
2008	55	13	3.44	16
2009	36.08	12	2.41	15
2010	82.31	32	5.88	14
2011	47	50	3.62	13
2012	12.51	96	1.04	12
2013	19.47	103	1.77	11
2014	39.8	82	3.98	10
2015	44.6	72	4.96	9
2016	25.11	165	3.14	8
2017	31.36	15	4.48	7
2018	19.99	178	3.33	6
2019	21.67	218	4.33	5
2020	24.9	209	6.22	4
2021	14.17	264	4.72	3
2022	5.6	332	2.80	2

Table 3 presents a compilation of the leading 20 nations in terms of their contribution to S&GT research publications. The article count, single-country publications (SCP), denotes the quantity of publications resulting from collaborations within the same country. On the other hand, multiple-country publications (MCP) signify articles that emerged from the collaborative efforts of researchers hailing from multiple countries. Additionally, Table 3 displays the country's publication ratio in relation to the overall publication count, as well as the ratio of multiple-country publications to the total number of publications.

**Table 3.** Most productive countries and data related to these countries

No	Country	Articles	SCP	MCP	Freq	MCP ratio
1	China	577	440	137	0.286	0.237
2	USA	237	189	48	0.117	0.203
3	India	103	77	26	0.051	0.252
4	Malaysia	76	48	28	0.038	0.368
5	Italy	68	51	17	0.034	0.25
6	Korea	62	37	25	0.031	0.403

**Table 3.** continues

No	Country	Articles	SCP	MCP	Freq	MCP ratio
7	Canada	56	39	17	0.028	0.304
8	Poland	56	50	6	0.028	0.107
9	United Kingdom	51	20	31	0.025	0.608
10	Germany	42	33	9	0.021	0.214
11	Turkey	36	27	9	0.018	0.25
12	Australia	33	17	16	0.016	0.485
13	Greece	33	27	6	0.016	0.182
14	Sweden	32	22	10	0.016	0.313
15	France	30	16	14	0.015	0.467
16	Brazil	29	15	14	0.014	0.483
17	Spain	29	20	9	0.014	0.31
18	Portugal	26	21	5	0.013	0.192
19	Indonesia	25	20	5	0.012	0.2
20	Japan	25	19	6	0.012	0.24

Table 3 presents data on the effective countries on S&GT. The evaluation of the effective countries is based on citation numbers and average citation numbers. China has the highest number of citations. China is followed by USA, India, Malaysia, Italy, Korea in terms of the number of citations. Some countries (e.g. Cyprus) are ranked in the top 20 in the number of citations, although they are not in the top 20 in the ranking of countries with the most publications. For this reason, the average number of citations is also an important indicator of effectiveness.

Table 4 presents data on effective countries in the field of S&GT. The evaluation of the effective countries is based on number of citations (TC) and average citation numbers. USA has the highest number of citations. USA is followed by China, Malaysia, India and Korea in terms of the number of citations. While Greece, France, Brazil, Portugal and Indonesia are among the top 20 countries in terms of the number of articles, it is noteworthy that they are not among the top 20 countries in the Number of Citations and Average Number of Citations list.

**Table 4.** Effective countries, number of citations and average number of citations

No	Country	TC	Average article citations
1	USA	9500	40.08
2	China	8892	15.41
3	Malaysia	3594	47.29
4	India	2424	23.53
5	Korea	1524	24.58
6	Denmark	1293	64.65
7	Cyprus	1254	156.75
8	United Kingdom	1241	24.33
9	Italy	1215	17.87
10	Canada	997	17.80
11	Australia	861	26.09
12	Germany	833	19.83
13	Iran	772	32.17
14	Japan	767	30.68
15	Spain	730	25.17
16	Sweden	687	21.47
17	Poland	598	10.68

**Table 4.** continues

No	Country	TC	Average article citations
18	Pakistan	547	34.19
19	Turkey	535	14.86
20	Norway	524	23.82

Figure 5 shows the publication information of the 10 most productive institutions in the field of S&GT. The institution that publishes the most in the field of S&GT is Changan University with 49 publications. Beijing Jiaotong University (42) the second institutions that contributes the most to the field. University Technology Malaysia with 33 publications is the third institutions that contributes the most to the field. These university are followed by Tongji University (31), Hong Kong Polytechnic University (29), Tsinghua University (24), Technical University Denmark (22), IOWA State University (21), Maritime University of Szczecin (21), Universiti Teknologi Petronas (21). When the institutions that publish the most in the field of S&GT are examined, it is seen that 5 of the top 10 institutions are universities in China.

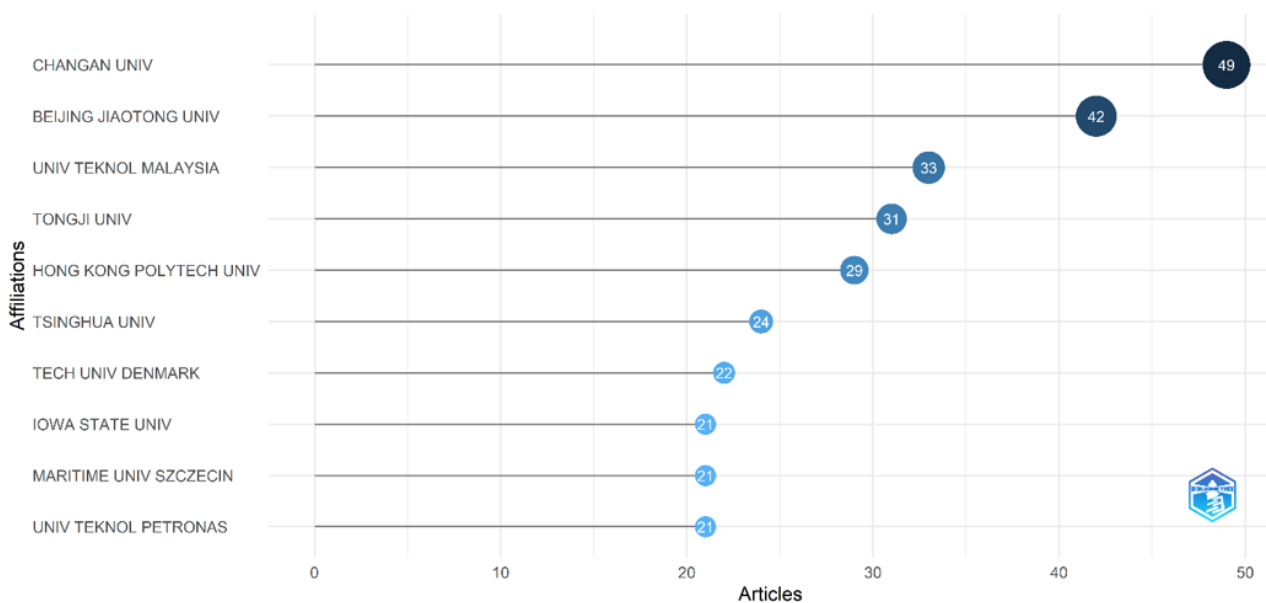
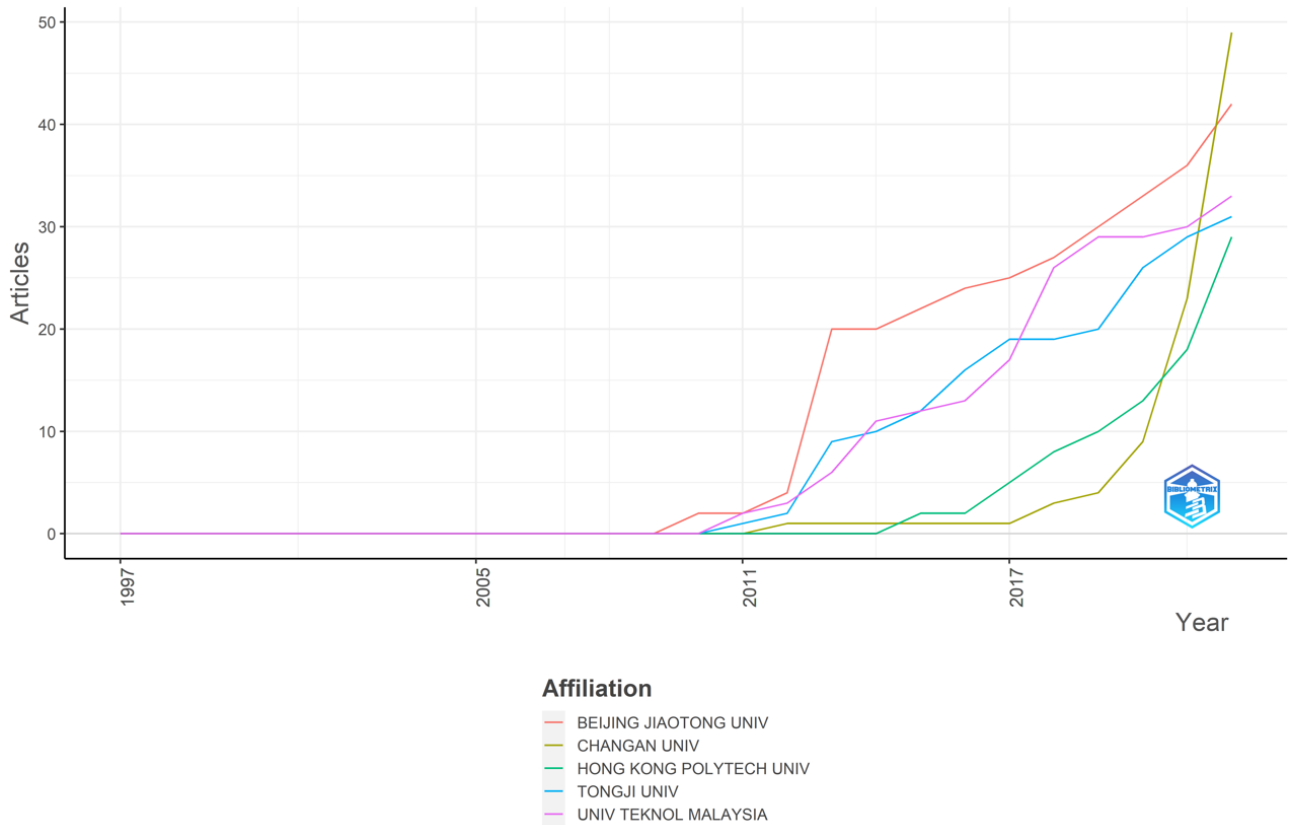
**Figure 5.** Most productive institutions

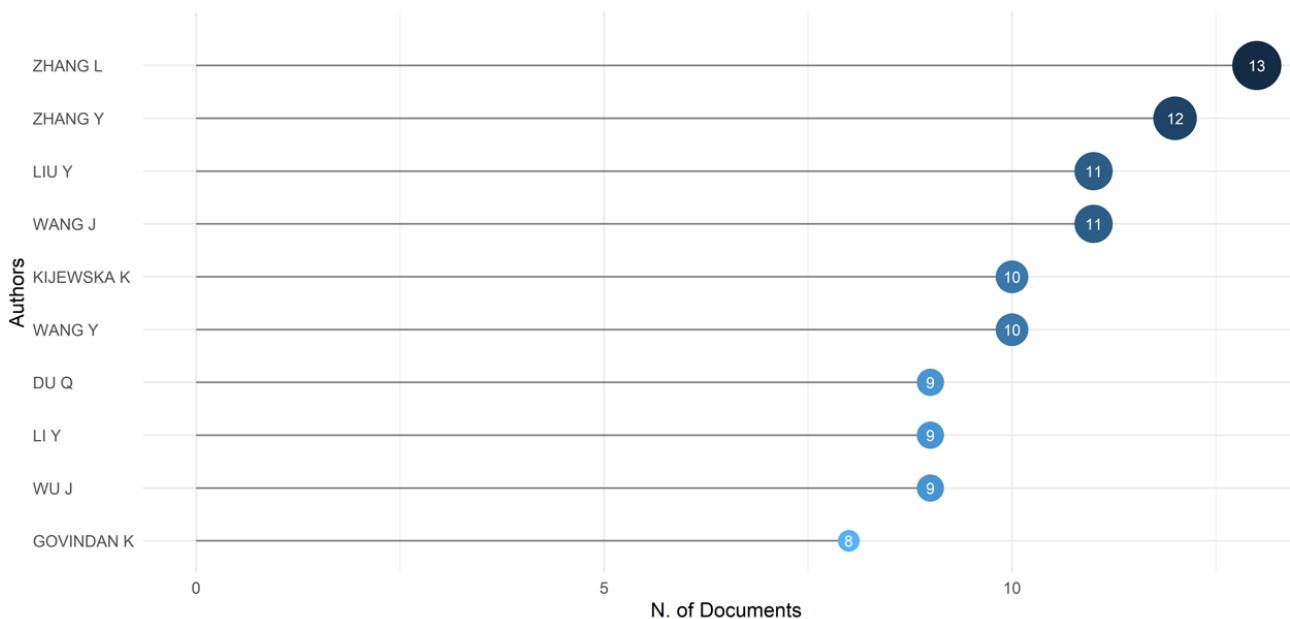
Figure 6 illustrates the change in the number of publications of the institutions in Figure 5 over time. This change is given cumulatively. The color of each institution is explained at the bottom of the figure. The contribution to the field of S&GT of Changan University that the institution with the highest number of publications has increased significantly in the last two years. The contribution of other universities also showed an increasing trend from 1997 to 2022 (Figure 6).





**Figure 6.** Cumulative representation of publications by the most efficient institutions by time

Figure 7 shows information about the 10 most productive authors in terms of the number of publications in the field of S&GT. The author who published the most is Zhang L with a total of 13 publications. Zhang Y with 12 publications is ranked second. Liu Y and Wang J are in third place with 11 publications. Kijewska K and Wang Y with 10 publications share the fourth rank. Du Q, Li Y and Wu J with 9 publications, ranks fifth. Govindan K with 8 publications ranks sixth.



**Figure 7.** The most productive researchers in the field of S&GT

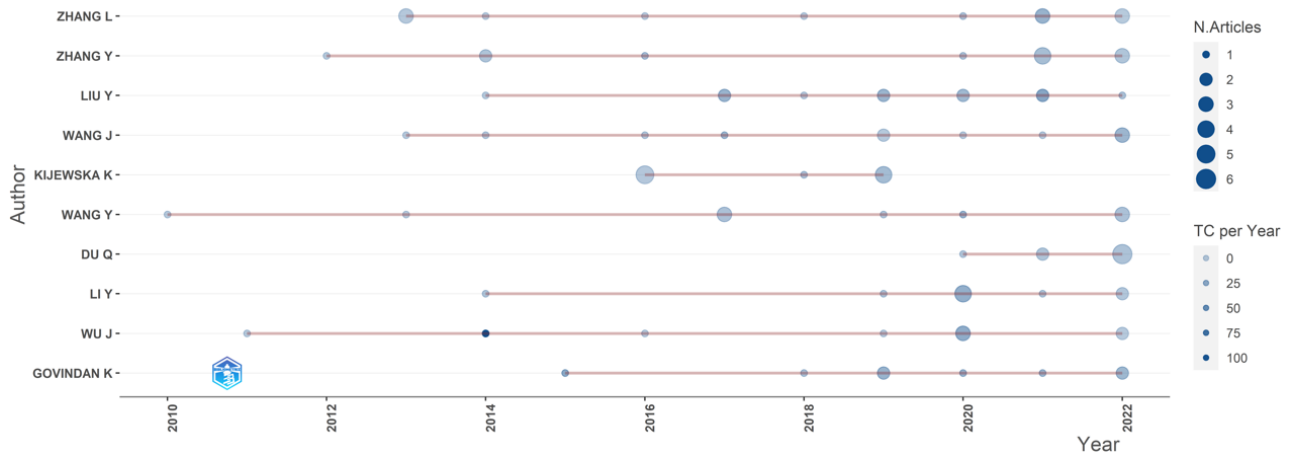
Table 5 gives information about the effectiveness of the researchers. The table contains information about the h-index, the g-index and m-index values of the respective researchers, the number of citations (TC), the number

of publications (NP), and the first year of their publication in the field (PY\_Start). The G-index value, which is considered to be an improved version of the h-index, is the square root of the number of citations and then rounded to the resulting value (Kabakuş et al., 2023). According to Table 5, the author most effective in terms of h-index, g-index and m-index is Liu Y. The h-index value of Zhang Y with the highest number of publications is 6, while the h-index value of Kim H with the least number of publications is 5. It is noteworthy that the h-index value of Wu J which has the highest number of citations is 6.

**Table 5.** Effective authors in the field of S&GT

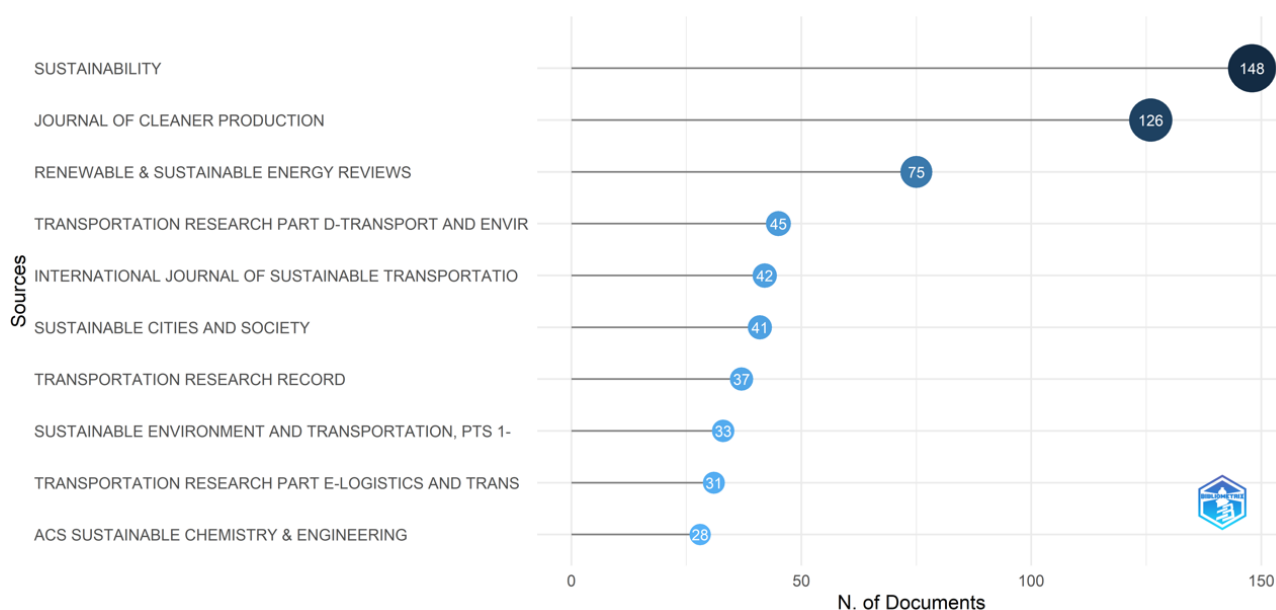
Element	H_index	G_index	M_index	TC	NP	PY_start
Liu Y	9	11	0.9	403	11	2014
Govindan K	8	8	0.889	555	8	2015
Li Y	6	9	0.6	193	9	2014
Shi XM	6	8	0.75	156	8	2016
Wu J	6	9	0.462	1180	9	2011
Zhang Y	6	12	0.5	200	12	2012
Zhou XS	6	6	0.462	197	6	2011
Kijewska K	5	10	0.625	122	10	2016
Kim H	5	5	0.385	557	5	2011
Kim S	5	7	0.357	91	7	2010

Figure 8 shows the trend over time of articles published by authors in the field of S&GT. Zhang L's contribution to the field started in 2013 and continued continuously until 2022. It is noteworthy that Kijewska K contributed to the field between 2016-2019, while almost all of the researchers' work continued until recent years. Wang Y is the author who contributed to the field of S&GT for the longest period of time from 2010 until the end of 2022, while Du Q is the author who contributed to the field for the least period between 2020-2022.



**Figure 8.** Authors' production over time

Figure 9 illustrates about the number of studies of the 10 most preferred journals in the field of S&GT. The most productive journal is Sustainability, an open-access journal with 148 publications. The most preferred journals after Sustainability are respectively Journal of Cleaner Production, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Transportation Research Part D, International Journal of Sustainable Transportation, Sustainable Cities and Society, Transportation Research Record, Sustainable Environment and Transportation, Transportation Research Part E and ACS Sustainable Chemistry & Engineering.



**Figure 9.** Preferred journals in the field of S&GT

The 25 top cited publications on S&GT between 1997 and 2022 are listed in Table 6. Table 6 presents an overview of highly cited studies within the realm of S&GT. Interested readers can access the articles using the provided DOI numbers. These studies represent pioneering contributions in the field and examining them can greatly benefit individuals seeking to advance their knowledge in this area. Alonso et al., (2010) titled "Catalytic conversion of biomass to biofuels" is the most popular publication in its field with 1746 citations and 124,71 the average annual citation. Nikolidis and Poullikkas (2017) and Hosseini and Wahid (2016) follow this study with 1196 and 1124 citations respectively.

Alonso et al., (2010) conducted a study on the viability of biomass as a sustainable alternative to depleting fossil fuels in energy generation, particularly for the transportation industry. The primary objective of their research is to provide a comprehensive survey of catalytic approaches employed in the production of biofuels from aqueous carbohydrate solutions obtained through biomass pretreatment and hydrolysis.

Nikolidis and Poullikkas (2017) investigated various hydrogen production methodologies through a comparative analysis. The study delved into the technical and economic aspects of 14 distinct production methods, accompanied by detailed process descriptions. The research encompassed both conventional and renewable approaches, offering a comprehensive juxtaposition of their outcomes. Ultimately, the authors contended that advancing technologies, coupled with significant advancements in H<sub>2</sub> storage, transportation, and utilization, would lead to reduced reliance on national fossil fuel imports, with green hydrogen emerging as the predominant energy source. Hosseini and Wahid (2016) presented an extensive overview of the latest hydrogen production technologies utilizing renewable and sustainable energy sources. The objective was to curtail greenhouse gas emissions arising from fossil fuel consumption in the transportation sector and energy-intensive industries.

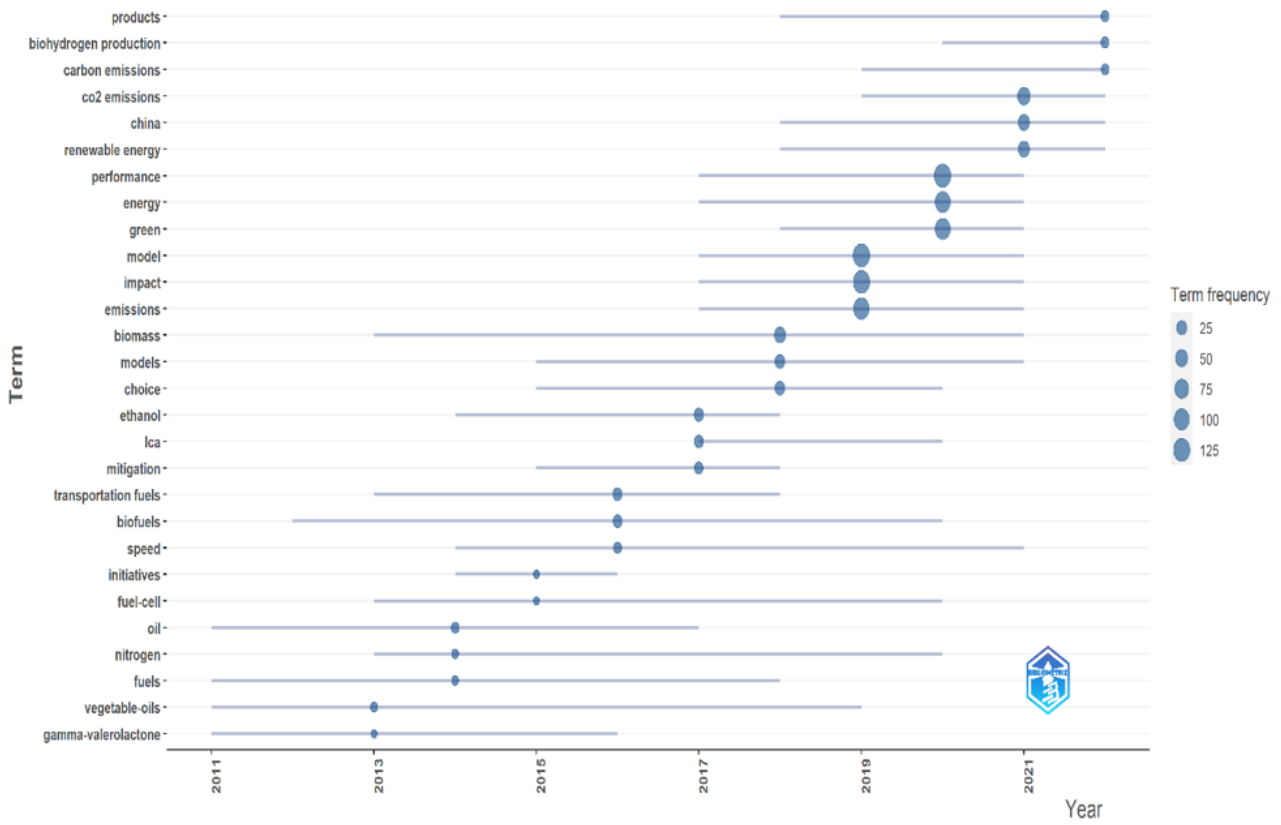
**Table 6.** Most cited studies in the field of S&GT

Paper	DOI	Total citations	TC per year	Normalized TC
Alonso, D.M., 2010; Green Chem.	<a href="https://doi.org/10.1039/c004654j">10.1039/c004654j</a>	1746	124.71	21.21
Nikolaidis, P., 2017; Renew.Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044">10.1016/j.rser.2016.09.044</a>	1196	170.86	38.13
Hosseini, S.E., 2016; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.112">10.1016/j.rser.2015.12.112</a>	1124	140.50	44.76
Su, X., 2014; Adv. Energy Mater.	<a href="https://doi.org/10.1002/aenm.201300882">10.1002/aenm.201300882</a>	1058	105.80	26.58
Tie, S.F., 2013; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.077">10.1016/j.rser.2012.11.077</a>	825	75.00	42.38

Table 6. continues

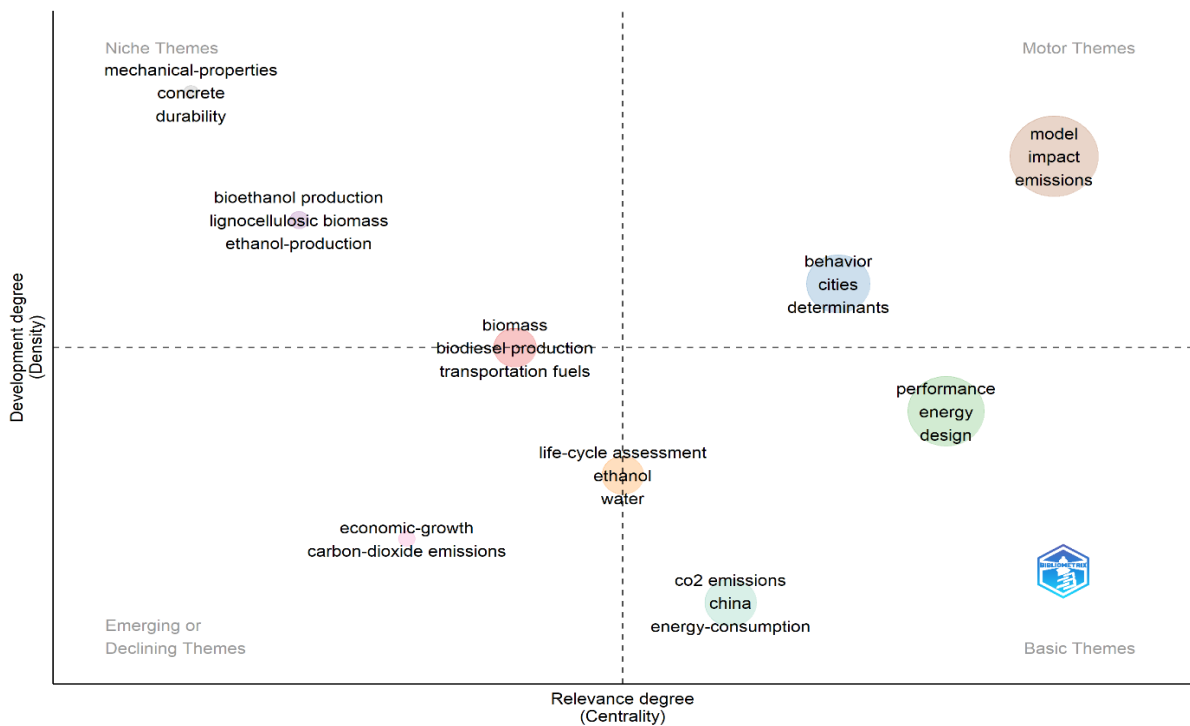
Paper	DOI	Total citations	TC per year	Normalized TC
Muradov, N.Z., 2008; Int. J. Hydrogen Energy	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.08.054">10.1016/j.ijhydene.2008.08.054</a>	621	38.81	11.29
Green, R.C., 2011; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.015">10.1016/j.rser.2010.08.015</a>	384	29.54	8.17
Sander, K., 2010; Int. J. Life Cycle Assess	<a href="https://doi.org/10.1007/s11367-010-0194-1">10.1007/s11367-010-0194-1</a>	358	25.57	4.35
Yoshida, J.I., 2011; Chemsuschem	<a href="https://doi.org/10.1002/cssc.201000271">10.1002/cssc.201000271</a>	349	26.85	7.43
Chum, H.L., 2001; Fuel Process Technology	<a href="https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00146-1">10.1016/S0378-3820(01)00146-1</a>	346	15.04	2.98
Kumar, S., 2011; Applied Energy	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.035">10.1016/j.apenergy.2011.06.035</a>	329	25.31	7.00
Zheng, X.F., 2014; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.053">10.1016/j.rser.2013.12.053</a>	310	31.00	7.79
Rostamzadeh, R., 2015; Ecol Indic	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.045">10.1016/j.ecolind.2014.09.045</a>	248	27.56	5.56
Ali, R., 2019; Sustain. Cities Society	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101553">10.1016/j.scs.2019.101553</a>	218	43.60	10.06
Esmailian, B., 2020; Resour. Conserv. Recy.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064">10.1016/j.resconrec.2020.105064</a>	212	53.00	8.51
Tang, X., 2014; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.209">10.1016/j.rser.2014.07.209</a>	200	20.00	5.02
Yee, K.F., 2009; Applied Energy	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.014">10.1016/j.apenergy.2009.04.014</a>	197	13.13	5.46
Pishvae, M.S., 2014; Transport Res. E-Log.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.04.001">10.1016/j.tre.2014.04.001</a>	192	19.20	4.82
Zeng, X.H., 2011; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.014">10.1016/j.rser.2011.04.014</a>	190	14.62	4.04
Ren, G.Z., 2015; Renew. Sust. Energy Rev.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.003">10.1016/j.rser.2014.08.003</a>	190	21.11	4.26
Zhang, L.H., 2015; J. Clean Prod.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.006">10.1016/j.jclepro.2014.04.006</a>	189	21.00	4.24
Holm, M.S., 2012; Green Chem.	<a href="https://doi.org/10.1039/c2gc16202d">10.1039/c2gc16202d</a>	189	15.75	15.11
Van, Fan, Y., 2018; J. Clean Prod.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.151">10.1016/j.jclepro.2018.05.151</a>	183	30.50	9.15
Hafezalkotob, A., 2017; Transport Res. E-Log.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.11.004">10.1016/j.tre.2016.11.004</a>	180	25.71	5.74
Dev, N.K., 2020; Resour. Conserv. Recy.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583">10.1016/j.resconrec.2019.104583</a>	179	44.75	7.19

In Figure 10, the trending topics according to the years as a result of the bibliometric analysis are shown. When the figure is examined, while the focus was on transportation fuels in the first years, the studies in the last years (2017-2021) focused on green, energy, performance, choice, model and emissions. Trend topics such as renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions, carbon emissions and biohydrogen production stand out in 2021-2022.



**Figure 10.** Trend topics

The thematic map of the keywords in S&GT studies is presented in Figure 11. In this map, centeredness is expressed on the vertical axis and density is expressed on the horizontal axis. When Figure 11 is examined, 3 niche themes that are used less frequently in the field in the upper left, 1 emerging and declining themes in the lower left part, 2 motor themes in the upper right part that determine the level of progress of the field, and finally 3 main themes that can be called the foundation of the field in the lower right is located.

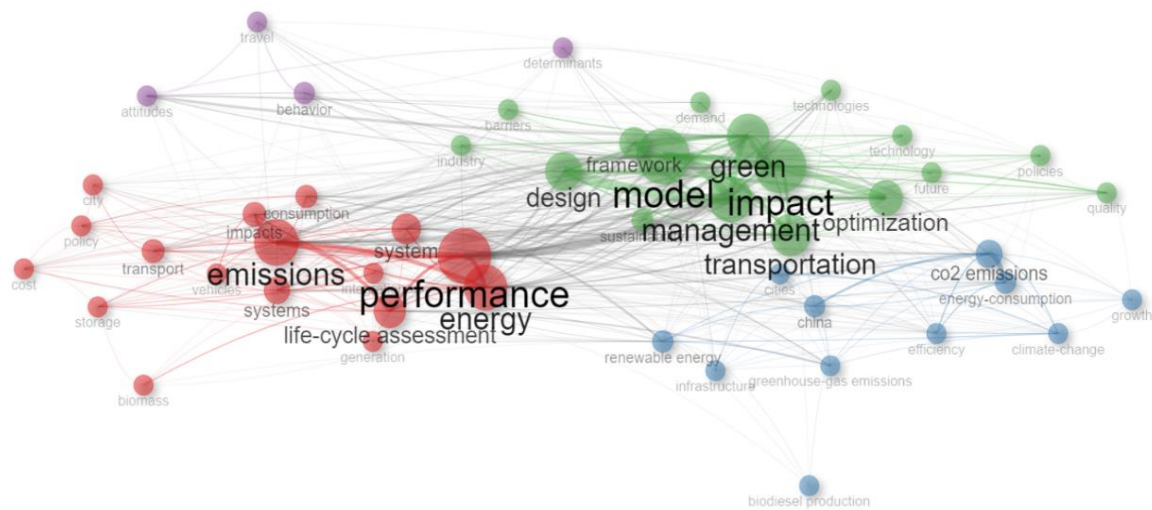


**Figure 11.** Strategic diagram



The main themes on which the studies focused the most were determined as: performance, energy, design, and CO<sub>2</sub> emissions. Life-cycle assessment, ethanol and water, on the other hand, are candidates for becoming the main theme, leaving the developing or regressing themes. Although the niche themes of mechanical properties, concrete, durability, bioethanol production, lignocellulosic biomass, ethanol-production are not covered frequently, they are still influential on the field. Biomass, biodiesel production and transportation fuels themes are candidates for developing themes. Model, impact, emissions, behavior, cities themes can be expressed as motor themes.

Figure 12 presents a knowledge map derived from the co-occurrence analysis of keywords in S&GT research articles from R software. The predominant cluster, denoted by the color green, encompasses the keyword "model" and exhibits the largest size. The number of papers in which each keyword was identified is indicated in parentheses alongside the respective keywords. This cluster also contains keywords impact, management, transportation, optimization and design. The red cluster, which is the second largest cluster of keywords, comprises terms such as "performans", "energy", "emissions", "life-cycle assessment" and "system". The blue cluster includes CO<sub>2</sub> emissions, climate change, energy, biodiesel production, renewable energy and cities. The purple cluster includes behavior, travel, attitudes and determinants.



**Figure 12.** Mapping of co-occurrence keywords in S&GT researchs

Figure 13 shows conceptual structure map. When the figure is examined, the red area shows a large number of related words. There are words listed in many publications in this field. It can be said that there has been a great deal of interest lately on topics that include keywords such as transportation, emissions, impact, energy, policy and sustainability approaching the red central point. There are 6 terms in blue cluster. The keywords closest to the center point in the blue area are renewable energy and integration. The narrower points at the edges of the blue area contain less researched keywords. These keywords (generation, storage, climate change and greenhouse gas emissions) have the potential to guide future research and form the basis of the research topic.



publications. According to the analysis, while the country that contributes the most to scientific research in the field of S&GT is China, the institution that contributes the most is Changan university. The author who contributed the most to this field is Zhang L. The findings suggest that Sustainability has emerged as the primary publication organ and serves as an effective platform for researchers to disseminate their studies in the field of S&GT. According to the findings, when the frequency of keywords used in the 2018 study is analyzed, it is seen that there are three dominant clusters. The first of these clusters is the green cluster consisting of model, impact and green. The second is the red cluster consisting of performance, energy, and emissions. The last one is the blue cluster consisting of CO<sub>2</sub> emissions, climate change and energy-consumption.

There are a very few bibliometric analysis studies on S&GT in the literature. The contribution of this study to the literature is to summarize what researchers have done in the field of S&GT research and to provide information that will help researchers interested in this field better understand the past and explore the future of this research field.

The limitations of this study are that the original data used can only be obtained from the WoS core collection database and the space limitation. In future studies, these limitations can be improved by adding different databases and expanding the field filters.

The results of this study can provide important guidance to the planning and design processes of future research. Furthermore, expanding future studies to include important topics such as sustainability, intelligent systems, and integration of transportation systems may allow the results to be examined in a broader perspective. Furthermore, in-depth examination of the themes in the S&GT field will contribute to multidisciplinary integration. The bibliometric analysis conducted in this study helps us to understand the current research trends in the S&GT field, which topics are prominent and what is important. Thus, it will guide researchers in identifying potential areas to focus on in future studies. The analysis identifies gaps in the existing literature and highlights topics that require further research in the S&GT field. This is expected to provide opportunities for researchers to develop and contribute to new projects. As we have identified key themes and concepts in the sustainable green transportation literature through this analysis, it will help to understand the topics and interesting perspectives to focus on in future studies. Furthermore, by identifying important journals and platforms in the S&GT field through this analysis, this study is expected to guide researchers in finding appropriate places to publish their work.

### **Acknowledgement**

I would like to thank the editor and referee/referees for their contributions during the review and evaluation of the article.

### **Author contribution**

Nuriye Kabakuş: Research, Data collection Methodology, Software, Verification, Analysis, Investigation, Writing - original draft, Writing - review and editing, Visualization.

### **Declaration of ethical code**

The author 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 author declares that there is no conflict of interest.

### **References**

Alonso, D. M., Bond, J. Q., & Dumesic, J. A. (2010). Catalytic conversion of biomass to biofuels. *Green chemistry*, 12(9), 1493-1513. <https://doi.org/10.1039/C004654J>

- Bedsworth, L. W., & Taylor, M. R. (2007). Learning from California's zero-emission vehicle program. *California Economic Policy*, 3(4).
- Bettencourt, L. M., & Kaur, J. (2011). Evolution and structure of sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19540-19545. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102712108>
- Broadus, R. N. (1987). Toward a definition of "bibliometrics". *Scientometrics*, 12(5), 373-379. <https://doi.org/10.1007/BF02016680>
- Das, S., Kong, X., Wei, Z., & Liu, J. (2023). Scientometric and Bibliographic Analysis of Pedestrian Safety Research. *Transportation Research Record*, 03611981231167158. <https://doi.org/10.1177/03611981231167158>
- Dymén, C., & Henriksson, A. (2009). *Spatial planning and its contribution to climate friendly and sustainable transport solutions*. Nordregio.
- Eyüboğlu, M., (2023). *Determining Turkey's Place Between European Countries in Terms of Sustainable and Green Transport with MCDM Methods*, [Master Thesis, Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences].
- Hart, M. (1999). *The guide to sustainable community indicators (2. Baskı)*. North Andover: Hart Environmental Data.
- Hosseini, S. E., & Wahid, M. A. (2016). Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 850-866. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.112>
- Kabakuş, A. K., Özköse, H., & Ahmet, A. Y. A. Z. (2023). Society 5.0 Research: Performance Analysis and Science Mapping. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1), 311-328.
- Leipzig, I. T. F. (2010). *Reducing transport greenhouse gas emissions: trends & data*. In Background for the 2010 International Transport Forum, Berlin. Paris, France: ITF. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/10ghgtrends.pdf>
- Nicolaisen, J. (2010). Bibliometrics and citation analysis: From the science citation index to cybermetrics. <https://doi.org/10.1002/asi.21181>
- Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and sustainable energy reviews*, 67, 597-611. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044>
- Shah, K. J., Pan, S. Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J. M., & Chiang, P. C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129392. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129392>
- Van Leeuwen, T. (2006). The application of bibliometric analyses in the evaluation of social science research. Who benefits from it, and why it is still feasible. *Scientometrics*, 66(1), 133-154. <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0010-7>

## Gene expression changes of isocitrate dehydrogenase 1 and isocitrate dehydrogenase 2 affect carcinogenesis and survival probability

*İzositrat dehidrojenaz 1 ve izositrat dehidrojenaz 2 genlerinin gen ekspresyon değişiklikleri karsinogenezi ve hayatta kalma olasılığını etkiler*

Esra BULUT ATALAY\* 

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Biochemistry, 58070, Sivas

• Received: 31.08.2023

• Accepted: 03.01.2024

### Abstract

Isocitrate dehydrogenase (IDH) is an essential metabolic enzyme in the regulation of cellular metabolism. IDH gene encodes three protein isoforms, IDH1, IDH2, and IDH3, and the expression level of isoforms is altered in human cancer types. Examining the gene expression level of IDH is a therapeutic advantage that could help find a new target to use in cancer metabolism. The present study aimed to explore the gene expression level of IDH1 and IDH2 isoforms in the ten common human cancers using bioinformatic tools. In addition, the effect of gene expression changes on IDH1 and IDH2 on carcinogenesis and survival probability was examined in publicly available data deposited in the TCGA database. The results showed that the expression of IDH isoforms showed tissue-specific differences. IDH1 expression increased in esophageal and lung squamous cell carcinoma and lung and stomach adenocarcinoma tumors. Bladder urothelial, breast urothelial, and lung squamous cell carcinoma, colon, and lung adenocarcinoma displayed a significant upregulation of IDH2 expression. There was a direct relationship between the expression of IDH isoforms and the progression of various cancer types. High IDH1 expression led to decreased survival probability in esophageal carcinoma, lung, and stomach adenocarcinoma. Elevated IDH2 expression level led to decreased survival probability in bladder urothelial, breast urothelial, and lung squamous cell carcinoma and colon adenocarcinoma. In conclusion, all data showed that IDH1 could be a biomarker for esophageal carcinoma, lung and stomach adenocarcinoma, and IDH2 for bladder urothelial, breast urothelial, and lung squamous cell carcinoma, and colon adenocarcinoma.

**Keywords:** Bioinformatic, Carcinogenesis, Isocitrate dehydrogenase 1, Isocitrate dehydrogenase 2

### Öz

*İzositrat dehidrojenaz (IDH), hücre metabolizmasının düzenlenmesinde önemli bir metabolik enzimdir. IDH geni, IDH1, IDH2 ve IDH3 olmak üzere üç protein izoformunu kodlar ve izoformların ekspresyon seviyesi, insan kanser türlerinde değişiklik gösterir. IDH'nin gen ekspresyon seviyesinin incelenmesi, kanser metabolizması alanında kullanılacak yeni bir hedef bulmaya yardımcı olabilecek terapötik bir avantajdır. Bu çalışmanın amacı, biyoinformatik araçlar kullanarak on yaygın insan kanserinde IDH1 ve IDH2 izoformlarının gen ekspresyon seviyesini araştırmaktır. Ek olarak, IDH1 ve IDH2'nin gen ekspresyon seviyesindeki değişikliklerin karsinogenezi ve hayatta kalma olasılığı üzerindeki etkisi TCGA veri tabanında depolanan halka açık veriler üzerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, IDH izoformlarının ekspresyonunun dokuya özgü farklılıklar ve heterojen özellik sergilediğini gösterdi. IDH1 ekspresyonu özofagus ve akciğer skuamöz hücreli karsinom ile akciğer ve mide adenokarsinomu tümörlerinde arttı. Mesane ürotelyal, meme ürotelyal ve akciğer skuamöz hücreli karsinomu ve kolon ve akciğer adenokarsinomu, IDH2 ekspresyonunda önemli bir artış sergiledi. IDH izoformlarının ekspresyonu ile çeşitli kanser türlerinin ilerlemesi arasında doğrudan bir ilişki olduğu bulundu. Yüksek IDH1 ekspresyonu, özofagus karsinomu, akciğer ve mide adenokarsinomunda hayatta kalma olasılığının azalmasına yol açtı. Yüksek IDH2 ekspresyon seviyesi, mesane ürotelyal, meme ürotelyal ve akciğer skuamöz hücreli karsinom ve kolon adenokarsinomunda hayatta kalma olasılığının azalmasına yol açtı. Sonuç olarak, tüm veriler IDH1'in özofagus karsinomu, akciğer ve mide adenokarsinomu için ve IDH2'nin mesane ürotelyal, meme ürotelyal ve akciğer skuamöz hücreli karsinom ve kolon adenokarsinomu için bir biyobelirteç olabileceğini gösterdi.*

**Anahtar kelimeler:** Biyoinformatik, Karsinogenezi, İzositrat dehidrojenaz 1, İzositrat dehidrojenaz 2

\*Esra BULUT ATALAY; esrabulut@cumhuriyet.edu.tr



## 1. Introduction

Cellular energy changes and metabolic disorders are some of the characteristic biological features of cancer cells (Hanahan, 2022). The TCA cycle is widely used for energy production and macromolecule synthesis in cancer cells, where metabolic rearrangement occurs for rapid proliferation and survival (Anderson et al., 2018). The tricarboxylic acid (TCA) cycle is crucial for cell energy production, as well as for producing precursors for biosynthetic pathways and maintaining redox balance. Some metabolites involved in the TCA cycle connect the mitochondria and the nucleus. These metabolites are crucial in cancer development and progression as they affect various cellular activities, including metabolism and signaling (Martínez-Reyes & Chandel, 2020). Mutation of some enzymes roles in the TCA cycle, such as *fumarate hydratase (FH)*, *isocitrate dehydrogenase (IDH)*, and *succinate dehydrogenase (SDH)*, affects the integrity of the TCA cycle because it leads to irregularity in the levels of some metabolites (Eniafe & Jiang, 2021). In addition, changes in mRNA or protein expression levels of these enzymes also affect metabolite levels (Koseki et al., 2015).

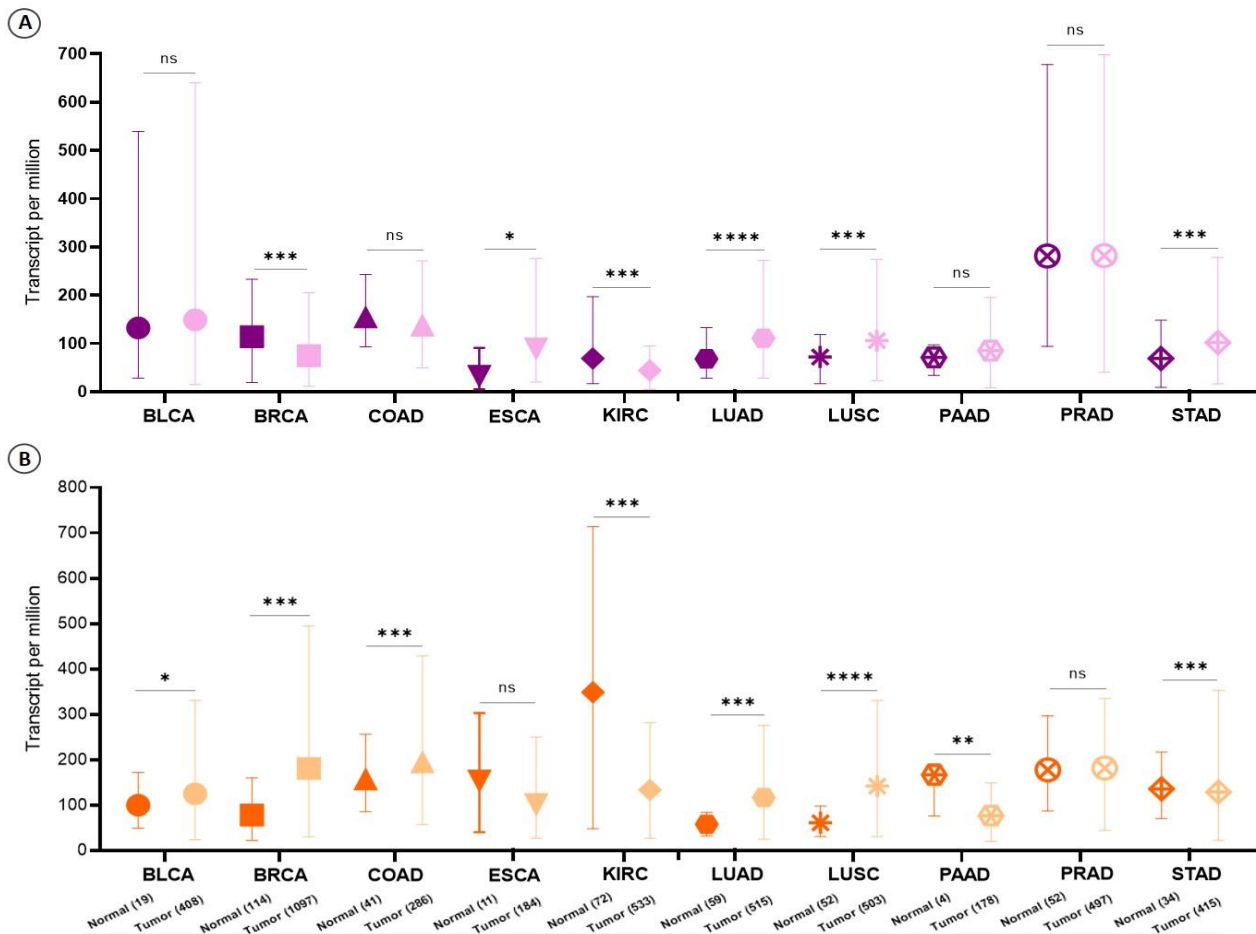
*IDH* is one of the key regulator enzymes that has a central role in the TCA cycle (D'Adamo & Haft, 1965). Three *IDH* isoforms (*IDH1*, *IDH2*, and *IDH3*) have been identified within eukaryotic cells. Subcellular localization, using cofactors and showing holoenzyme organization of *IDH* isoforms are different. NADP<sup>+</sup>-dependent *IDH1* and *IDH2* enzymes are homodimeric, and the reactions catalyzed by *IDH1* and *IDH2* are reversible. *IDH1* carries out the reductive carboxylation of  $\alpha$ -Ketoglutarate ( $\alpha$ -KG) to isocitrate by NADPH and CO<sub>2</sub> in the cytoplasm, whereas *IDH2* catalyzes the same reaction in the mitochondria (Dalziel, 1980; Ramachandran & Colman, 1980). In addition, *IDH2* and *IDH1* are isozymes with significant sequence identity (70% similarity in humans) (Gabriel et al., 1986; Pollard & Ratcliffe, 2009). *IDH1* roles the generation of nonmitochondrial NADPH and plays a part in promoting the activity of several cytoplasmic and nuclear dioxygenases (Pollard & Ratcliffe, 2009). On the other hand, the NAD<sup>+</sup>-dependent *IDH3* is a heterotetrameric enzyme that catalyzes the irreversible reaction in the mitochondrial matrix (Ramachandran & Colman, 1980; Gabriel et al., 1986). Furthermore, *IDH3* catalyzes one of the rate-limiting steps in the TCA cycle and acts as a part of the mitochondrial respiratory system (Barnes et al., 1971). The oxidative decarboxylation and reductive carboxylation catalyzed by *IDH* have an essential impact on lipogenesis, redox homeostasis, and cell proliferation (Koh et al., 2004; Wise et al., 2011; Jiang et al., 2016; Du et al., 2016). For this reason, studies about the discovery of a biomarker in cancer have focused on *IDH* in recent years (Atalay et al., 2023; Aljohani et al., 2020; Zarei et al., 2023; Chen et al., 2017; Kong et al., 2018; Li et al., 2023).

Cancer is a significant disease responsible for a large number of deaths worldwide. It is known that there are more than 100 types of cancer. Breast, lung, cervix, colon, liver, prostate, esophageal, and stomach cancer are the most common cancers that cause death for men and women in 2022. The incidence of cancer is increasing day by day. The reported data showed that cancer led to approximately 10 million deaths in 2020 (Chhikara et al., 2023; Siegel et al., 2023). One of the most effective ways to prevent or reduce the number of deaths caused by cancer is early detection. In recent years, scientists focused on cancer metabolism. Especially some metabolic enzymes (*IDH*, *SDH*, *FH*) that cause transcriptional changes closely related to tumor development were studied, and their expression level was important in finding new biomarkers (Nadhan et al., 2023). Atalay and Kayali found that the mRNA levels of the *IDH1* and *IDH2* genes were significantly altered in primary and metastatic cell lines compared to colonic epithelial cell lines (Atalay & Kayali, 2022). However, the effect of gene expression changes of *IDH1* and *IDH2* genes on carcinogenesis and survival probability has not been studied in the most common cancer types. The first aim of the present study was to explore the gene expression level of *IDH1* and *IDH2* isoforms in the ten common human cancers including BLCA (Bladder Urothelial Carcinoma), BRCA (Breast Invasive Carcinoma), COAD (Colon adenocarcinoma), ESCA (Esophageal carcinoma), KIRC (kidney renal clear cell carcinoma), LUAD (Lung Adenocarcinoma), LUSC (Lung Squamous Cell Carcinoma), PAAD (Pancreas adenocarcinoma), PRAD (Prostate Adenocarcinoma), and STAD (Stomach adenocarcinoma) by using bioinformatic tools. In the second part, the effect of gene expression changes of *IDH1* and *IDH2* on carcinogenesis and survival probability was examined in publicly available data. Our data indicated that the expression of *IDH* isoforms showed tissue-specific differences and heterogeneity. High *IDH1* and *IDH2* expression cause decreased survival probability in bladder urothelial, breast urothelial, esophageal, and lung squamous cell carcinoma, and lung, stomach, and colon adenocarcinoma.

## 2. Equipment and method

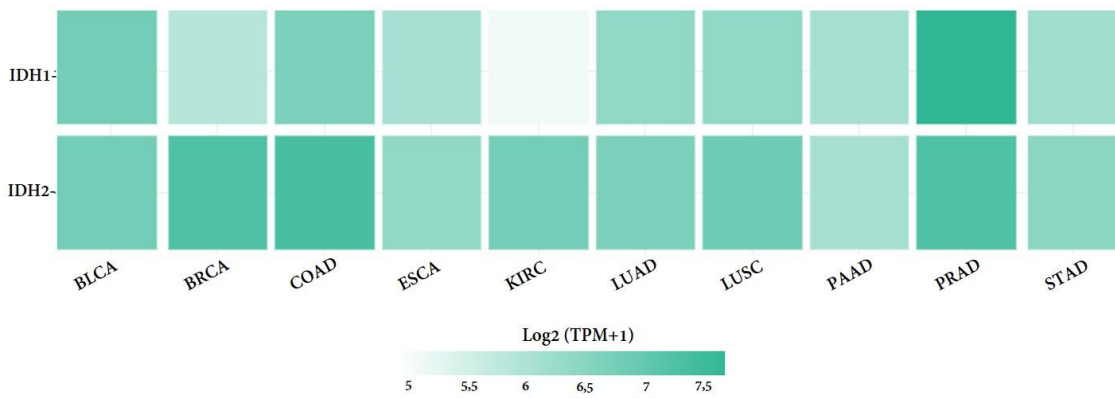
### 2.1. The level of *IDH1* and *IDH2* expression in ten common cancer tissues

The Cancer Genome Atlas (TCGA) data in tumor (4616) and normal (458) samples were analyzed via the UALCAN web portal (Chandrashekar et al., 2017). to determine the *IDH1* and *IDH2* expression levels in the 10 most common cancers including bladder urothelial carcinoma (BLCA), breast invasive carcinoma (BRCA), colon adenocarcinoma (COAD), esophageal carcinoma (ESCA), kidney renal clear cell carcinoma (KIRC), lung adenocarcinoma (LUAD), lung squamous cell carcinoma (LUSC), pancreas adenocarcinoma (PAAD), prostate adenocarcinoma (PRAD), and stomach adenocarcinoma (STAD). Figure 1 was generated using the GraphPad Prism software, version 8.0 (GraphPad Software, USA), and p values less than 0.05 were considered statistically significant.

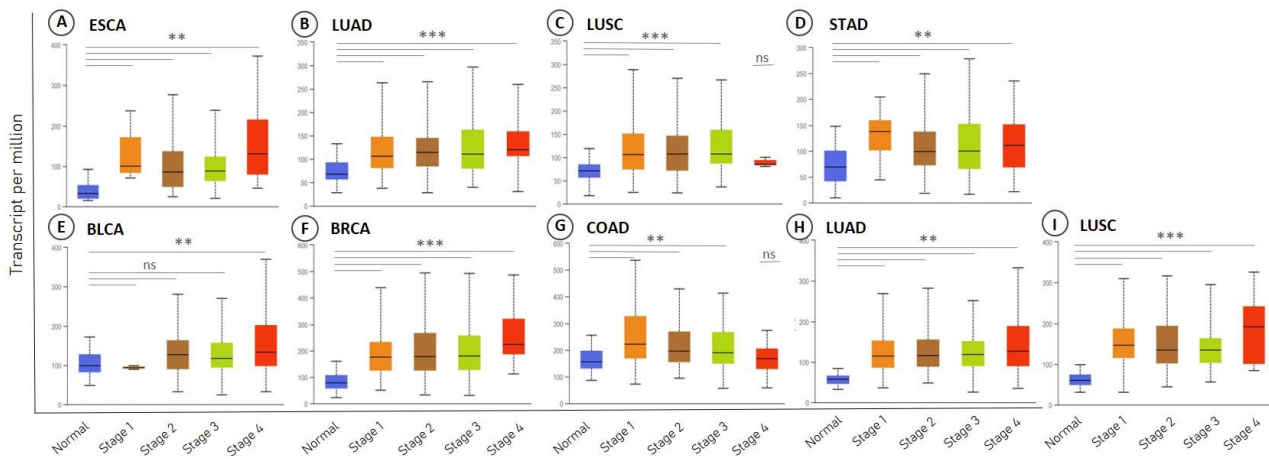


**Figure 1.** *IDH* isoforms (*IDH1* and *IDH2*) expression in the ten common human cancers. Box-Whisker plot showing the mRNA expression levels of *IDH1* (A) and *IDH2* (B) in normal and primary tumor tissues of most common human cancers. The *IDH* isoform expressions were collected from the UALCAN web portal. The cancer types are represented on the x-axis. The expression values (transcript per million) are represented on the y-axis. *IDH1* and *IDH2* (A-B) mRNA levels were analyzed through the UALCAN web portal (<https://ualcan.path.uab.edu/>) \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ , \*\*\*\* $p < 0.0001$ , ns: non-significant.

We constructed the Heatmap (Figure 2) which includes the expression of all subunits only in tumor data from the TCGA project using the “Multiple Gene Comparison” function in GEPIA (Tang et al., 2019). The level of *IDH1* and *IDH2* expressions based on individual cancer stages in the most common cancer types was also investigated in the TCGA dataset via the UALCAN web portal (Chandrashekar et al., 2017). All results were combined in Figure 3. The normal and tumor tissue numbers mentioned in Figure 1 and Figure 3 are given in Table 1.



**Figure 2.** mRNA levels of two *IDH* isoforms (*IDH1* and *IDH2*) in most common tumor tissues. Heatmap showing the *IDH1* and *IDH2* mRNA levels in BLCA, BRCA, COAD, ESCA, KIRC, LUSC, LUAD, PAAD, PRAD, and STAD tumor tissues. The figure was generated by the GEPIA web tool (<https://gepia.cancer-pku.cn/>). The vertical axis represents *IDH* isoforms, and the horizontal axis represents cancer types.



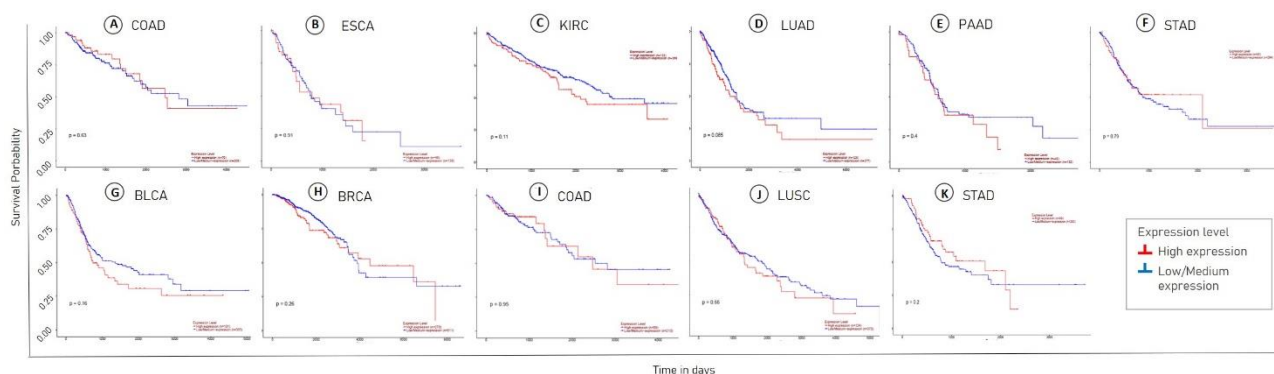
**Figure 3.** The expressions of *IDH1* and *IDH2* in different cancer stages. *IDH1* (A-D) and *IDH2* (E-I) mRNA levels were analyzed through the UALCAN web tool. The cancer stages and normal tissue are represented on the x-axis. The expression values (transcript per million) are represented on the y-axis \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001, ns: non-significant.

**Table 1.** The normal and tumor tissue numbers for ten common human cancer

Tumor type	Tissue number	
	Normal	Tumor
BLCA	19	408
BRCA	114	1097
COAD	41	286
ESCA	11	184
KIRC	72	533
LUAD	59	515
LUSC	52	503
PAAD	4	178
PRAD	52	497
STAD	34	415

## 2.2. Investigation of patient survival probability

The “Survival” function was used in the UALCAN web portal (Chandrashekar et al., 2017) for the ten most common cancer types, and all results that contain a poor prognosis were combined in Figure 4. Therefore, the effect of elevated *IDH1* and *IDH2* expression on the survival probability was investigated.



**Figure 4.** The effect of *IDH* isoform expressions on patient survival status. Kaplan-Meier plot shows cancer patients' survival status in high and low expression of *IDH1* (A-F) and *IDH2* (G-K). The survival probability data were collected from the UALCAN web portal. The x-axis represents days, and the y-axis represents the survival probability.

## 3. Results

### 3.1. Expression status of *IDH* isoforms (*IDH1* and *IDH2*) in ten common human cancer types

In the first step, the expression of *IDH1* and *IDH2* was examined by using The Cancer Genome Atlas (TCGA) data via the UALCAN web portal for ten common human cancers, including bladder urothelial, breast urothelial, esophageal, kidney renal clear cell, lung squamous cell carcinoma, and colon, lung, pancreas, prostate, and stomach adenocarcinoma. Figure 1 was generated using the GraphPad Prism software, version 8.0 (GraphPad Software, USA), and p values less than 0.05 were considered statistically significant.

According to the TCGA data, the expression of *IDH1* isoform increased in esophageal carcinoma, lung adenocarcinoma, lung squamous cell carcinoma, and stomach adenocarcinoma tumor tissues. In contrast, it decreased in breast urothelial carcinoma and kidney renal clear cell carcinoma compared to normal tissue (Figure 1A). Bladder urothelial, breast urothelial, and lung squamous cell carcinoma and colon and lung adenocarcinoma displayed a significant upregulation of *IDH2* expression, whereas kidney renal clear cell carcinoma and pancreas and stomach adenocarcinoma displayed a significant downregulation (Figure 1B). The expression of multiple *IDH* isoforms in all cancer tissues was examined in the Heatmap constructed in GEPIA. It was found that the expression of *IDH* isoforms showed tissue-specific differences and heterogeneity (Figure 2). In addition, expression of *IDH1* and *IDH2* isoforms was decreased only in kidney cancer types, whereas they only increased in lung squamous cell cancer types (Figure 1).

In the next step, we investigated how the expression of *IDH* isoforms changes as cancer progresses in cancer types that displayed upregulation for this isoform. The *IDH1* was highly expressed in esophageal and lung squamous cell carcinoma and lung and stomach adenocarcinoma as the tumor progressed (Figure 3A-D). Only in lung squamous cell carcinoma, there were no significant changes in *IDH1* expression at stage 4 compared to normal tissue (Figure 3C). The expression of *IDH2* was increased in breast urothelial and lung squamous cell carcinoma and colon and lung adenocarcinoma, along with the advancement of the tumor stage (Figure 3E-I). The bladder urothelial carcinoma displayed significantly high *IDH2* expression only in Stage 4 (Figure 3E), and there was no significant increase in *IDH2* mRNA level at Stage 4 in colon adenocarcinoma (Figure 3G). The results show a direct relationship between the expression of *IDH* isoforms (*IDH1* and *IDH2*) and cancer progression.



### 3.2. The effect of *IDH* isoform expression on patient survival probability

The next step is to examine how the increased expression of *IDH* isoforms (*IDH1/2*) affects survival probability. Among cancer types in which the *IDH1* isoform is overexpressed, high *IDH1* expression led to decreased survival status of esophageal carcinoma, lung, and stomach adenocarcinoma patients (Figure 4B, D, G). The high *IDH1* expression caused reduced survival probability in colon adenocarcinoma and kidney renal cell carcinoma, whose expression was decreased (Figure 4A, C). In addition, elevated *IDH1* expression caused survival probability in pancreas and prostate adenocarcinoma, whose expression was not significantly altered (Figure 4E, F). High *IDH2* expression decreased survival probability in bladder urothelial, breast urothelial, and lung squamous cell carcinoma and colon adenocarcinoma (Figure 4H, I, J, K). In addition, the high *IDH2* expression caused reduced survival probability in stomach adenocarcinoma whose expression decreased (Figure 4L).

### 4. Discussion

Cells undergoing metabolic and behavioral changes during carcinogenesis exhibit metabolic changes to obtain essential nutrients from the environment and use these nutrients to form new biomass (Hanahan, 2022). The TCA cycle intermediates are essential for cells because they cause epigenetic changes that affect the development or progression of cancer. In addition, the cofactors (NAD(P)H and FADH<sub>2</sub>) produced in the TCA cycle are used in the OXPHOS to get high ATP production for cancer cells which rapidly proliferate (Anderson et al., 2018). Examining gene expressions of enzymes directly involved in producing these metabolites may provide new strategies to prevent tumor growth. It is known that the elevated or reduced expression level of *IDH1* or *IDH2* has a significant effect on the metabolism of different cancers (He et al., 2022). In the literature, it was found that the *IDH1/2* expression was overexpressed in lung and breast cancer, and it was downregulated in kidney cancer (Al-Amodi et al., 2018; Li et al., 2018; Peng et al., 2019), similar to our results (Figure 1). In our study, ten common human cancer types were evaluated, and it was found that the expression of *IDH* isoforms showed tissue-specific differences and heterogeneity (Figure 1 and Figure 2). Next, the expression of *IDH* isoforms was investigated as the cancer progressed. The results show that there is a direct relationship between the expression of *IDH* isoforms (*IDH1* or *IDH2*) and the progression of breast urothelial, esophageal, and lung squamous cell carcinoma and colon, lung, and stomach adenocarcinoma (Figure 3E-I).

The studies about *IDH* were focused on its potential catabolic role in the TCA cycle (D'Adamo & Haft, 1965). Converting isocitrate into  $\alpha$ -KG by *IDH* is a crucial control point for the TCA cycle. All *IDH*-mediated reactions that result from  $\alpha$ -KG, NADH, NADPH, or isocitrate production have an essential impact on lipogenesis, redox homeostasis, and cell proliferation (Koh et al., 2004; Wise et al., 2011; Jiang et al., 2016; Du et al., 2016).  $\alpha$ -KG is an important intermediate in other metabolic processes and acts as a cofactor of enzymes role in epigenetic modification (Matilainen et al., 2017). Studies show that the effect of *IDH* on lipid synthesis is associated with cancer development. Rapidly proliferating cancer cells need new membranes; fatty acids are vital to forming new membrane processes. NADPH and citrate produced from reductive carboxylation carried out by *IDH* participate in the fatty acid synthesis pathway (Koh et al., 2004). In addition, NADPH is an important antioxidant that helps cells protect from oxidative damage caused by various cellular stresses (Minard & McAlister-Henn, 1999). On the other hand, the reversible catalyzing of the reactions by *IDH1* and *IDH2* has multiple effects on the cells due to the consumption and production of NADPH and the release and binding of CO<sub>2</sub> (He et al., 2022).

One of the potential roles of *IDH* in the metabolism is driving tumor progression (Nadhan et al., 2023). The roles of *IDH1/2* isoforms in promoting tumor proliferation were studied in different cancer types (colon, lung, esophageal, breast, and pancreas) (Atalay et al., 2023; Špačková et al., 2021; Li et al., 2023; Chen et al., 2017; Zarei et al., 2023). However, studies of *IDH1/2* expression on carcinogenesis and probability of survival have been limited to some types of cancer (He et al., 2022). The study with more cancer types helps understand the biological characteristics of *IDH* isoforms to improve treatment. Our results showed that there is a direct relationship between the elevated *IDH1/2* isoforms and the progression of cancers in bladder urothelial, breast urothelial, esophageal, and lung squamous cell carcinoma and colon, lung, and stomach adenocarcinoma (Figure 3). Next, we found that survival probability decreased in some cancers such as bladder urothelial, breast urothelial, lung squamous cell and esophageal carcinoma, and colon, lung, and stomach adenocarcinoma which have elevated *IDH1* or *IDH2* expression (Figure 4).



## 5. Conclusion

In conclusion, a detailed study of the gene expressions of metabolic enzymes involved in producing metabolites that have an essential effect on cancer progression may provide new strategies to prevent tumor growth. In the present study, different isoforms of *IDH* were investigated specifically for cancer types, and it was found that *IDH1* could be a biomarker for esophageal, lung, and stomach and *IDH2* for bladder, breast, colon, and lung cancers. In the future, it is planned to study target cancer types to investigate the reorganized metabolic pathways.

## Author contribution

E. Bulut Atalay contributed to the study conception/design, interpretation of the data, the literature search, and writing – the original draft.

## Declaration of ethical code

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

## Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

## References

- Al-Amodi, H. S. A. B., Nabih, E. S., Kamel, H. F. M., El Sayed, M. A., & Dwedar, I. A. M. (2018). Wild-type isocitrate dehydrogenase 1 over-expression is related to cancer stem cells survival in lung adenocarcinoma. *Cancer Investigation*, 36(3), 185-189. <https://doi.org/10.1080/07357907.2018.1445262>
- Aljohani, A. I., Toss, M. S., Kurozumi, S., Joseph, C., Aleskandarany, M. A., Miligy, I. M., Ansari, R. E., Mongan, N. P., Ellis, I. O., Green, A. R., & Rakha, E. A. (2020). The prognostic significance of wild-type isocitrate dehydrogenase 2 (IDH2) in breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*, 179, 79-90. <https://doi.org/10.1007/s10549-019-05459-7>
- Anderson, N. M., Mucka, P., Kern, J. G., & Feng, H. (2018). The emerging role and targetability of the TCA cycle in cancer metabolism. *Protein & Cell*, 9(2), 216-237. <https://doi.org/10.1007/s13238-017-0451-1>
- Atalay, E. B., & Kayali, H. A. (2022). The elevated D-2-hydroxyglutarate level found as a characteristic metabolic change of colon cancer in both in vitro and in vivo models. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 627, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2022.08.019>
- Atalay, E. B., Senturk, S., & Kayali, H. A. (2023). Wild-type IDH1 Knockout Leads to G0/G1 Arrest, Impairs Cancer Cell Proliferation, Altering Glycolysis, and the TCA Cycle in Colon Cancer. *Biochemical Genetics*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10528-022-10325-1>
- Barnes, L. D., Kuehn, G. D., & Atkinson, D. E. (1971). Yeast diphosphopyridine nucleotide specific isocitrate dehydrogenase. Purification and some properties. *Biochemistry*, 10(21), 3939-3944. <https://doi.org/10.1021/bi00797a022>
- Chandrashekar, D. S., Bashel, B., Balasubramanya, S. A. H., Creighton, C. J., Ponce-Rodriguez, I., Chakravarthi, B. V., & Varambally, S. (2017). UALCAN: a portal for facilitating tumor subgroup gene expression and survival analyses. *Neoplasia*, 19(8), 649-658. <https://doi.org/10.1016/j.neo.2017.05.002>
- Chen, X., Xu, W., Wang, C., Liu, F., Guan, S., Sun, Y., Wang, X., An, D., Wen, Z., Chen, P., & Cheng, Y. (2017). The clinical significance of isocitrate dehydrogenase 2 in esophageal squamous cell carcinoma. *American Journal of Cancer Research*, 7(3), 700.
- Chhikara, B. S., & Parang, K. (2023). Global Cancer Statistics 2022: the trends projection analysis. *Chemical Biology Letters*, 10(1), 451-451. <https://pubs.thesciencein.org/cbl>

- D'Adamo Jr, A. F., & Haft, D. E. (1965). An alternate pathway of  $\alpha$ -ketoglutarate catabolism in the isolated, perfused rat liver: I. Studies with dl-glutamate-2-and-5-<sup>14</sup>C. *Journal of Biological Chemistry*, 240(2), 613-617. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)45218-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)45218-5)
- Dalziel, K. (1980). Isocitrate dehydrogenase and related oxidative decarboxylases. *FEBS letters*, 117, K45-K55. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(80\)80569-2](https://doi.org/10.1016/0014-5793(80)80569-2)
- Du, J., Yanagida, A., Knight, K., Engel, A. L., Vo, A. H., Jankowski, C., Sadilek, M., Tran, V. T. B. Manson, M. A. Ramakrishnan, A. Hurley, J. B., & Chao, J. R. (2016). Reductive carboxylation is a major metabolic pathway in the retinal pigment epithelium. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(51), 14710-14715. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604572113>
- Eniafe, J., & Jiang, S. (2021). The functional roles of TCA cycle metabolites in cancer. *Oncogene*, 40(19), 3351-3363. <https://doi.org/10.1038/s41388-020-01639-8>
- Gabriel, J. L., Zervos, P. R., & Plaut, G. W. (1986). Activity of purified NAD-specific isocitrate dehydrogenase at modulator and substrate concentrations approximating conditions in mitochondria. *Metabolism*, 35(7), 661-667. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(86\)90175-7](https://doi.org/10.1016/0026-0495(86)90175-7)
- Hanahan, D. (2022). Hallmarks of cancer: new dimensions. *Cancer Discovery*, 12(1), 31-46. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>
- He, Q., Chen, J., Xie, Z., & Chen, Z. (2022). Wild-Type Isocitrate Dehydrogenase-Dependent Oxidative Decarboxylation and Reductive Carboxylation in Cancer and Their Clinical Significance. *Cancers*, 14(23), 5779. <https://doi.org/10.3390/cancers14235779>
- Jiang, L., Shestov, A. A., Swain, P., Yang, C., Parker, S. J., Wang, Q. A., Terada, L. S., Adams, N. D., McCabe, M. T., Pietrak, B., Schmidt, S., Metallo, C. M., Dranka, B. P., Schwartz, B., & DeBerardinis, R. J. (2016). Reductive carboxylation supports redox homeostasis during anchorage-independent growth. *Nature*, 532(7598), 255-258. <https://doi.org/10.1038/nature17393>
- Koh, H. J., Lee, S. M., Son, B. G., Lee, S. H., Ryoo, Z. Y., Chang, K. T., Park, J. W., Park, D. C., Song, B. J., Veech, R. L., Song, H., & Huh, T. L. (2004). Cytosolic NADP<sup>+</sup>-dependent isocitrate dehydrogenase plays a key role in lipid metabolism. *Journal of Biological Chemistry*, 279(38), 39968-39974. <https://doi.org/10.1074/jbc.M402260200>
- Kong, M. J., Han, S. J., Kim, J. I., Park, J. W., & Park, K. M. (2018). Mitochondrial NADP<sup>+</sup>-dependent isocitrate dehydrogenase deficiency increases cisplatin-induced oxidative damage in the kidney tubule cells. *Cell Death & Disease*, 9(5), 488. <https://doi.org/10.1038/s41419-018-0537-6>
- Koseki, J., Colvin, H., Fukusumi, T., Nishida, N., Konno, M., Kawamoto, K., Tsunekuni, K., Matsui, H., Doki, Y., Mori, M., & Ishii, H. (2015). Mathematical analysis predicts imbalanced IDH1/2 expression associates with 2-HG-inactivating  $\beta$ -oxygenation pathway in colorectal cancer. *International Journal of Oncology*, 46(3), 1181-1191. <https://doi.org/10.3892/ijo.2015.2833>
- Li, H., Li, J. J., Lu, W., Yang, J., Xia, Y., & Huang, P. (2023). Targeting Mitochondrial IDH2 Enhances Antitumor Activity of Cisplatin in Lung Cancer via ROS-Mediated Mechanism. *Biomedicines*, 11(2), 475. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020475>
- Li, J., He, Y., Tan, Z., Lu, J., Li, L., Song, X., Shi, F., Xie, L., You, S., Luo, X., Li, N., Li, Y., Liu, X., Tang, M., Weng, X., Yi, W., Fan, J., Zhou, J., Qiang, G., Qiu, S., Wu, W., Bode, A. M., & Cao, Y. (2018). Wild-type IDH2 promotes the Warburg effect and tumor growth through HIF1 $\alpha$  in lung cancer. *Theranostics*, 8(15), 4050. <https://doi.org/10.7150/thno.21524>
- Martínez-Reyes, I., & Chandel, N. S. (2020). Mitochondrial TCA cycle metabolites control physiology and disease. *Nature communications*, 11(1), 102. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13668-3>
- Matilainen, O., Quirós, P. M., & Auwerx, J. (2017). Mitochondria and epigenetics—crosstalk in homeostasis and stress. *Trends in Cell Biology*, 27(6), 453-463. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2017.02.004>
- Minard, K. I., & McAlister-Henn, L. (1999). Dependence of peroxisomal  $\beta$ -oxidation on cytosolic sources of NADPH. *Journal of Biological Chemistry*, 274(6), 3402-3406. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.6.3402>

- Nadhan, R., Kashyap, S., Ha, J. H., Jayaraman, M., Song, Y. S., Isidoro, C., & Dhanasekaran, D. N. (2023). Targeting oncometabolites in peritoneal cancers: preclinical insights and therapeutic strategies. *Metabolites*, 13(5), 618. <https://doi.org/10.3390/metabo13050618>
- Peng, M., Yang, D., Hou, Y., Liu, S., Zhao, M., Qin, Y., Chen, R., Teng, Y., & Liu, M. (2019). Intracellular citrate accumulation by oxidized ATM-mediated metabolism reprogramming via PFKP and CS enhances hypoxic breast cancer cell invasion and metastasis. *Cell Death & Disease*, 10(3), 228. <https://doi.org/10.1038/s41419-019-1475-7>
- Pollard, P. J., & Ratcliffe, P. J. (2009). Puzzling patterns of predisposition. *Science*, 324(5924), 192-194. <https://doi.org/10.1126/science.1173362>
- Ramachandran, N., & Colman, R. F. (1980). Chemical characterization of distinct subunits of pig heart DPN-specific isocitrate dehydrogenase. *Journal of Biological Chemistry*, 255(18), 8859-8864. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)43581-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)43581-8)
- Siegel, R. L., Miller, K. D., Wagle, N. S., & Jemal, A. (2023). Cancer statistics, 2023. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 73(1), 17-48. <https://doi.org/10.3322/caac.21763>
- Špačková, J., Gotvaldová, K., Dvořák, A., Urbančoková, A., Pospíšilová, K., Větvička, D., Leguina-Ruzzi, A., Tesařová, P., Vítek, L., Ježek, P., & Smolková, K. (2021). Biochemical background in mitochondria affects 2HG production by IDH2 and ADHFE1 in breast carcinoma. *Cancers*, 13(7), 1709. <https://doi.org/10.3390/cancers13071709>
- Tang, Z., Kang, B., Li, C., Chen, T., & Zhang, Z. (2019). GEPIA2: an enhanced web server for large-scale expression profiling and interactive analysis. *Nucleic Acids Research*, 47(W1), W556-W560. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz430>
- Wise, D. R., Ward, P. S., Shay, J. E., Cross, J. R., Gruber, J. J., Sachdeva, U. M., Platt, J. M., DeMatteo, R. G., Simon, M. C., & Thompson, C. B. (2011). Hypoxia promotes isocitrate dehydrogenase-dependent carboxylation of  $\alpha$ -ketoglutarate to citrate to support cell growth and viability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19611-19616. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117773108>
- Zarei, M., Hajihassani, O., Hue, J. J., Graor, H. J., Rothermel, L. D., & Winter, J. M. (2023). Targeting wild-type IDH1 enhances chemosensitivity in pancreatic cancer. *BioRxiv*, 2023-03. <https://doi.org/10.1101/2023.03.29.534596>

## 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 iletir.

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.