



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

ISSN 2146 - 538X

CİLT / VOLUME: 11

SAYI / ISSUE : 4

YIL / YEAR : 2021

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

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



EBS CO



ULAKBİM TR DİZİN



*Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**

*Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute*

Cilt/Volume: 11 Sayı/Issue: 4 Yıl/Year: 2021

Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*

**ISSN 2146-538X**



**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*

Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Adına

*On the behalf of Gümüşhane University Science and Technology Institute*

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

*Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editör / Executive Editor**

*Doç. Dr. Serhat DAĞ*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Prof. Dr. Mehmet MERDAN*

*Prof. Dr. Salim Serkan NAS*

*Prof. Dr. Necati ÇELİK*

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*

*Prof. Dr. Fatih DÖNER*

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. Melih OKCU*

*Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU*

*Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ*

*Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL*

*Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA*

*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*

*Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU*

*Arş. Gör. İlker ERKAN*

*Arş. Gör. Halil İbrahim YÜKSEK*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 10 / 2021**

*Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi üç ayda bir çevrimiçi olarak yayımlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayımlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.*



Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

- Prof. Dr. Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet  
Prof. Dr. Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi  
Prof. Dr. Charyyar Ashyralyyev-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdon ATANGANA-Free State University  
Prof. Dr. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Prof. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi-  
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOUI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi  
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi  
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University  
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi  
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.  
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi  
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology  
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Sunil PROHIT- Rajasthan Technical University  
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.  
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütcü İmam Üni.  
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Keewook YI-Korea Basic Science Institute  
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Yong WANG- University of Manchester  
Prof. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi  
Prof. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.  
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.  
Doç. Dr. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni  
Doç. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi  
Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Neveşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet M. KAHRAMAN-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni  
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul OKCU-Atatürk Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üni  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Ilyas KHAN- Majmaah University  
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University  
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

**Araştırma Makalesi / Research Article**

Hande Büşra GEYİKLİ Fatih CANAN	<b>Examination of vertical green facades and green roofs in terms of ecological criteria and evaluation of energy efficiency</b> <i>Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi</i>	<b>1047</b>
Yavuz AVŞAROĞLU Veysel GÜMÜŞ Oğuz ŞİMŞEK Latif DİNSEVER Mehmet KUŞ	<b>Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki aylık toplam tava buharlaşma verilerinin Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile trend analizi</b> <i>Trend analysis of monthly total pan evaporation data of Southeast Anatolia Region with Mann-Kendall Test and Innovative Sen Method</i>	<b>1059</b>
Ebru ÇÖTELİ Fikret KARATAŞ	<b>Krom III klorür tuzuna maruz kalan mayalara C vitamini katılarak mayaların antioksidan enzimlerine etkisinin araştırılması</b> <i>The research of the effects on antioxidant enzymes of yeasts exposed to chromium III chloride salt by adding vitamin C</i>	<b>1071</b>
Murat GÜL Timur ARSLAN	<b>Malmquist yöntemi: Karadeniz bölgesinin turizm verimliliği üzerine bir uygulama</b> <i>Malmquist method: An application on the tourism efficiency of the Black Sea region</i>	<b>1082</b>
Ayşe Didem KILIÇ Büşra ÇAKMAK	<b>Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri</b> <i>Petrographic and geochemical characters of the Bitlis ignimbirite</i>	<b>1093</b>
Tacettin GEÇKİL Ceren Beyza İNCE	<b>Atık LDPE'nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi</b> <i>Effect of waste LDPE on the physical and workability properties of asphalt</i>	<b>1103</b>
Cansu YURTERİ Türker KURTTAŞ	<b>Uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Seyfe Gölü (Kırşehir) yüzey alanının zamansal değişiminin analizi</b> <i>Analysis of temporal changes on the surface area of the Seyfe Lake (Kırşehir) using Remote sensing and GIS techniques</i>	<b>1115</b>
Oğulcan SARI Hakan ULUTAŞ	<b>Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi</b> <i>Investigation of seismic safety of an existing residential RC building</i>	<b>1129</b>
Esin AVCI	<b>Genelleştirilmiş lineer modellerde kısmi ve augmented kısmi artıklar ve grafikleri</b> <i>Partial and augmented partial residuals and plots in generalized linear models</i>	<b>1145</b>
Nazan Sevtap CAN Arzu ŞENCAN ŞAHİN	<b>Yapay sinir ağları metodu ile günlük çiğ noktası sıcaklığı tahmini</b> <i>Daily dew point temperature estimation with artificial neural networks method</i>	<b>1154</b>
Bahtiyar EFE Edanur GÖZET	<b>Samsun ilinin turizm iklim indeksi değerlerinin trend analizi</b> <i>Trend analysis of tourism climate index values in Samsun</i>	<b>1164</b>
Engin ŞAHİN	<b>Lactobacillus paracasei biyokatalizörü ile enantiyosaf (S)-1-(4-metoksifenil) etanol üretimi</b> <i>Production of enantiopure (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol by Lactobacillus paracasei biocatalyst</i>	<b>1177</b>
Filiz KARABUDAK	<b>Fatigue analysis of the vehicle brake disc</b> <i>Araç fren diskinin yorulma analizi</i>	<b>1188</b>
Mahmutcan KARSLI Uğur KEMİKLİOĞLU Samet YAVUZ	<b>Tabanca namlu malzemesi 32CrMoV12-10 alaşımına uygulanan gaz nitrasyon ve su verme işlemlerinin darbe dayanımına etkilerinin incelenmesi</b> <i>Investigation of the impact strength of gas nitration and quenching processes applied to gun barrel material 32CrMoV12-10 alloy</i>	<b>1198</b>
Kazım Onur DEMİRARSLAN Serden BAŞAK	<b>Kamu kurumları için sıfır atık kapsamında atık kâğıt envanter çalışması: Artvin Çoruh Üniversitesi örneği</b> <i>Waste paper inventory study within the scope of zero waste for public institutions: an example of Artvin Çoruh University</i>	<b>1208</b>



Tuba TARHAN	<b>Synthesis and characterization of boron nitride nanotubes (BNNTs) with a new method and precursor materials</b> <i>Yeni bir yöntem ve öncü maddeler ile bor nitrür nanotüplerin (BNNT'lerin) sentezi ve karakterizasyonu</i>	<b>1217</b>
Dilek ŞENOL ARSLAN	<b>Türkiye'de farklı yörelerde bulunan kolemanit minerallerinin fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerinin tayini</b> <i>Determination of physical, chemical and thermal properties of colemanite minerals in different regions of Turkey</i>	<b>1225</b>
Eyyup YALÇIN Burak GÜLTEKİN Hakan BİLGİLİ Mustafa CAN	<b>Kendiliğinden organize olan tek tabaka molekülleri kullanarak organik ışık yayan diyotların veriminin iyileştirilmesi</b> <i>Increasing efficiency of organic light emitting diode by using self assembled monolayers</i>	<b>1235</b>
Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHİR Kadir KARAMAN	<b>Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini</b> <i>Prediction of the uniaxial compressive strength of basalts from the point load strength index using the conversion factor</i>	<b>1242</b>
Büşra YAYLI İlker KILIÇ	<b>Determination of nitrogen pollution amount from livestock breeding in Turkey</b> <i>Türkiye'de hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan azot kirliliği miktarının belirlenmesi</i>	<b>1250</b>
B. Hande GÜRSOY HAKSEVENLER Selma AYAZ	<b>Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği</b> <i>The effect of point and diffuse pollution sources on surface water quality, A case study for Alaşehir Aiver sub-basin</i>	<b>1258</b>
Kürşat GÜLTEKİN Yasemin KORKMAZ	<b>AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı yüzey hazırlama ve pürüzlülük işlemlerinin yapıştırma bağlantılarına etkisi</b> <i>Effect of different surface preparation and roughness treatments applied to AA2024-T3 aluminum alloys in bonded joints</i>	<b>1269</b>
Ege Anıl DİLER	<b>Comparison of the effects of microwave and spark plasma sintering on the electrical, thermal, and mechanical properties of Cu-LaB6 nanocomposites</b> <i>Mikrodalga ve kıvılcım plazma sinterlemenin Cu-LaB6 nanokompozitlerin elektriksel, ısıl ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması</i>	<b>1282</b>
Engin ÖZDEMİR	<b>Termal ısınma-soğuma döngülerine maruz bırakılan mermerlerde soğuma şeklinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması</b> <i>Investigation of the effect of cooling type on physical and mechanical properties of marbles exposed to thermal heating-cooling cycles</i>	<b>1295</b>
Süleyman ŞENYURT Melek UZUN	<b>Smarandache curves of Anti-Salkowski curve according to the spherical indicatrix curve of the unit darbox vector</b> <i>Anti-Salkowski eğrisinin birim darbox vektöründen elde edilen smarandache eğrileri</i>	<b>1304</b>
Ahmet ÜNVERDİ Salih YILMAZ Murat TOMAKİN İsmail POLAT Emin BACAKSIZ	<b>Improved performance of CdS powder-based hybrid solar cells through surface modification</b> <i>Yüzey modifikasyonu yardımıyla CdS toz bazlı hibrit güneş pillerinde performans artışı</i>	<b>1315</b>
Yaşar İNCEYOL	<b>Uygulama imar planı tadilatlarında plan değişikliği ölçütlerine uygunluğun araştırılması</b> <i>Investigation of compliance with plan amendment criteria in implementation zoning plan amendments</i>	<b>1324</b>

**Derleme Makalesi / Review Article**

Çiğdem ŞERİFOĞLU YILMAZ Volkan YILMAZ Oğuz GÜNGÖR	<b>Çok bantlı görüntülerde pan-keskinleştirme üzerine bir inceleme</b> <i>A review on pansharpening of multispectral images</i>	<b>1340</b>
--	--	-------------

## Examination of vertical green facades and green roofs in terms of ecological criteria and evaluation of energy efficiency

*Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi*

**Hande Büşra GEYİKLİ<sup>\*1a</sup>, Fatih CANAN<sup>1b</sup>**

<sup>1</sup>Konya Technical University, Faculty of Design and Architecture, Department of Architecture, 42250, Konya

• Geliş tarihi / Received: 28.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 05.07.2021

### Abstract

In this study, it is aimed to determine the results of the usage of vertical green façade and green roof systems which are increasing in use today, in four different climatic zones of our country, considering the annual heating, cooling and total energy consumption. Based on a building model in the study, the effect of the green facade and green roof applications on the buildings' annual heating and cooling loads was tried to be determined for four cities of our country with four different climatic characteristics. In selected cities in these climate regions, a traditional building and buildings with vertical green facades and green roof applications were compared. Situated in Turkey's four different climatic zones with the results achieved in this study was found to be differences in four different city's annual energy consumption. In the annual total energy consumption; Antalya city with 2.68% as a result of application of only planted roof systems, Konya city with 11.64% as the result of application of only vertical green façade systems, and highest benefit rates in Erzurum city with application of both systems and 14.38% at the end. As a result of this, considering the annual total energy consumption, green facades and green roof applications in buildings are found to have a positive effect on the energy performance of the building, even though it does not vary from region to region.

**Keywords:** Ecology, Energy efficiency, Green roof, Green wall, Sustainable architecture

### Öz

*Bu çalışmada, günümüzde kullanımı artan düşey yeşil cephe ve yeşil çatı sistemlerinin ülkemiz sınırlarında dört farklı iklim bölgesindeki kullanımının yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri dikkate alındığında ne gibi sonuçlar vereceğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, bir bina modeli esas alınarak düşey yeşil cephe ve yeşil çatı uygulamalarının, binaların yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi, ülkemizin dört farklı iklim özelliğine sahip dört kenti için belirlenmeye çalışılmıştır. Bu iklim bölgelerinde seçilen kentlerde, geleneksel bir bina ile düşey yeşil cephe ve yeşil çatı uygulamalarının kullanıldığı binalar karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ile Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde yer alan dört farklı kentin yıllık tüketim enerjilerinde farklılıklar olduğu saptanmıştır. Yıllık toplam enerji tüketiminde; sadece bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin uygulanması sonucunda %2.68 ile Antalya kenti, sadece düşey yeşil cephe sistemlerinin uygulanması sonucunda %11.64 ile Konya kenti, her iki sistemin uygulanması sonucunda ise %14.38 ile Erzurum kentinde en yüksek fayda oranları sağlanmıştır. Bunun sonucunda, yıllık toplam enerji tüketimleri dikkate alındığında, binalarda yeşil cephe ve yeşil çatı uygulamalarının, bölgeden bölgeye farklılık göstermesine rağmen binanın enerji performansını olumlu yönde etkilediği saptanmıştır.*

**Keywords:** Ekoloji, Enerji verimliliği, Yeşil çatı, Yeşil duvar, Sürdürülebilir mimarlık

<sup>\*a</sup> Hande Büşra GEYİKLİ; hbkobya@gmail.com, Tel: (0537) 513 75 35, orcid.org/0000-0003-2970-9921

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-4469-1993

## 1. Introduction

Nowadays, urbanization causes many social, economic and environmental negativities. In the man-made urban environment, the existing ecosystem, climate and urban atmosphere are changing. Unfortunately, the effects of this situation on human life are negative. Air pollution and urban heat island effect are the most important of these and adversely affect the health and life of the person in general. Reducing green vegetation, increasing concrete surfaces and intensive consumption of fossilized energy resources are the main human actions of the aforementioned adverse effects.

In the process from the 1970s to the present in the world and in our country, in the environment-themed conferences organized by the United Nations and in studies conducted in non-governmental organizations, solutions were tried to be found to overcome negative environmental developments. In discussions about creating solutions, strategies to reduce negative environmental impacts are encountered in planning and design scales (urban planning, building design) that affect the formation of the built environment. Reducing fossil-based energy consumption in buildings and increasing urban green areas are some of them. In order to achieve this goal, vertical green facades and green roofs are offered in solution suggestions. In current architectural applications, sustainable structures such as vegetation used on the facade and roof, environmentally friendly building materials and environmentally adaptable building elements have started to be produced. Vertical green facade and green roof systems are frequently preferred in today's architectural applications due to the improvement of the energy performance of buildings and the benefits they bring to the city atmosphere and the city's ecosystem.

It has been proven by various studies that green roofs and vertical green facades provide many positive effects for the building and the environment in which they are used (Besir and Cuce, 2018; Saadatin et al., 2013; Manso et al., 2021; Andric et al., 2020). These are contributing to the biodiversity in the region where it is located (Jusselme, 2019), regulating the air quality by reducing the CO<sub>2</sub> level and increasing the O<sub>2</sub> level (Liu, et al., 2021; Baik et al., 2012), helping to reduce the urban heat island effect (Sanhez and Reames, 2019; Herath et al., 2018; Asadi, 2020), contributing to rainwater management (Scholz-Barth, 2001; Xu et al., 2020; Mentens et al., 2006),

reducing the temperature (Andric et al., 2020; Coma et al., 2017; Mazzali et al., 2012), providing thermal insulation (Dede et al., 2020), preventing the wind, providing sound insulation (Azkorra et al., 2015; Galbrun and Scerri, 2017; Wong et al., 2010), shading (Vox et al., 2018; Perez Luque et al., 2017), reducing energy consumption, increasing visual value (Sutton, 2014; Jungels et al., 2013), providing recreation area (Peck, 1999), effect on fire safety (Susurova, 2015), protection against UV rays and its effect on human health (Dadvand and Nieuwenhuijsen, 2019).

Vertical green facade and green roof applications enable the emergence of new plant communities thanks to the plant layer they contain and create a food source for insects, birds and invertebrates. In fact, it has been proven by many studies that these practices cause the formation of various animal species in some regions (Jones, 2002). The plant layer also helps to clean the air by providing photosynthesis, the balance of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in the air, the removal of dirty gases, and the removal of particles and dusts (MacDonagh, 2005). Temperature increase can be prevented by the plants shading, evaporation through evapotranspiration and storage properties, and the condition of cities being warmer compared to rural areas, which is called urban heat island, can be reduced (Luckett, 2009).

While vertical green facades and green roofs reduce the temperature in the summer months, they also adjust the heat level of the spaces by providing thermal insulation in the winter months. Thus, these systems provide energy savings by minimizing energy consumption in the places where they are used (Alexandri and Jones, 2008). Apart from this, vertical green facades are used on the facades of the buildings to provide shade in the space and contribute to the cooling of the space. It can reduce the wall surface temperature up to 14°C compared to wall surfaces exposed to the sun (Tilley et al., 2012). Therefore, the energy used for air conditioning of the buildings is saved, the thermal performance of the buildings is increased and energy consumption is reduced (Loh, 2008; Papadakis et al., 2001). Energy savings can also be achieved by preventing wind. The wind causes the air temperature inside the space to drop significantly during the winter months (Perez et al., 2011). Thanks to plants, wind insulation is provided, preventing the internal temperature of the building from falling and contributing to energy efficiency. Plants also protect the insulation layer by reducing the bad effects of UV rays. Thus, it

makes the building more durable (Hasan et al., 2012).

The potential of green roofs in providing recreation areas is quite high. Especially intensive roofs can create a socialization space for the urban dweller. Apart from recreational use, agriculture can also be done on the roof, especially with soil thickness up to 30 cm (Francis et al., 2014). This soil layer and plant materials also have sound absorption properties (Aksoy and İçmek, 2010). It has a very good sound insulation especially in low frequency sounds. A sparsely vegetated green roof can reduce the sound by around 40 decibels, while a densely planted roof can reduce the sound by around 46-50 decibels (Peck et al., 1999).

It has been proven by many studies that the accessibility of the open space and natural environment views have a positive effect on human health. Studies have proven that even visual access to a natural environment can reduce stress and ailments and improve overall health, job satisfaction and productivity (Ulrich, 1984; Dadvand and Nieuwenhuijsen, 2019). At the same time, thanks to the plants, negative perceptions in a space improve and the general profile of the space becomes stronger. These practices are the cheapest and fastest way to significantly improve the main visual, economic and social conditions of the city (Mir, 2011).

In the study, the benefits of vertical green facade and green roof systems, which are increasingly used, to the ecosystem are stated and it is aimed to determine in which climatic region and under which conditions a traditional residential building and a residential building with vertical green facade and green roof systems will give better results. A comparison of annual heating and cooling loads achieved by using vertical green facade and green roof applications was made for Antalya, Samsun, Konya and Erzurum selected from four different climatic regions of Turkey.

## 2. Materials and methods

In the study, in order to evaluate the energy efficiency of vertical green facades and green roofs, Antalya (1. climate region), Samsun (2. climate region), Konya (3. climate region) and Erzurum (4. climate region) were selected from Turkey. The purpose of selecting these cities is to determine and compare the annual energy performances of vertical green facade and green roof systems in different climatic zones. At the same time, the energy performances of a

traditionally constructed residential building and a residential building with vertical green facade and green roof systems were compared (Koby, 2017).

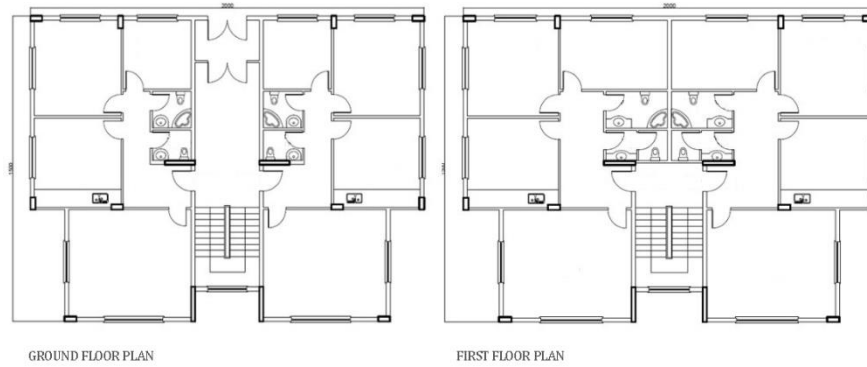
The simulation program used in the study, Design Builder (DesignBuilder, 2017), is an EnergyPlus-based software tool developed to measure and control the performance of building designs in terms of energy, carbon, lighting and comfort (Altensis, 2015). Design Builder; is a visual simulation program developed for the energy, carbon emission, lighting and comfort control of the building. Using the Design Builder, the IDF files required for EnergyPlus are created, the building model can be prepared and the necessary corrections can be made on the model for energy analysis (Aktacir et al., 2011).

The simulation process consists of 5 different stages. These are listed as follows:

- Determining the building model to be simulated
- Transferring the building model to the Design Builder program
- Identifying common and different options for the transferred building model
- Calculation of the annual total energy loads in all four cities for the created options
- Evaluation of the calculated values for each four cities and different options

The cities of Antalya, Samsun, Konya and Erzurum, which are located in the 1,2,3 and 4th climatic zones according to TS 825 standards, are respectively in the Csa, Cfb, BSk and Dfb class according to the Köppen climate classification (Köppen, t.y.). It is aimed to compare the annual heating, cooling and total energy consumption in these cities. For this, a residential building model was designed and calculations were made. The building model created is considered as a three-storey residential building with a total of 280 m<sup>2</sup> consisting of two flats (Figure 1).



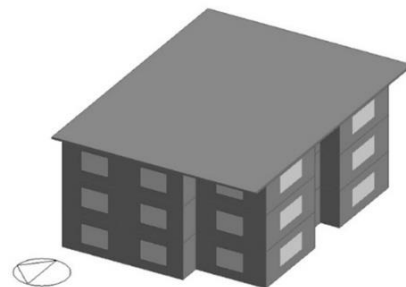


**Figure 1.** Floor plans of the model

Based on the selected building model, firstly, common features for all parameters are determined. Features such as the size of the selected building, the usage function, the number of users, the ratio of windows and doors, its form, and its orientation have been shared in all parameters. The exterior material used and the material layers used on the flat roof are considered as variable properties. Interior divider walls, doors and windows are also taken into account in the created model. The floor height has been calculated as 300 cm including the floor layer. XPS (Extruded

polystyrene foam) has been preferred as the thermal insulation material. While determining the thermal insulation layer for four different cities, the U values given in the "TS 825 Thermal Insulation Rules in Buildings" standards were taken into account. Thermal insulation thicknesses were calculated accordingly. Then, the building model was transferred to the Design Builder program and common and different layers were created for all parameters. First, the residential building was modeled, including interior wall partitions and window-door openings (Figure 2).

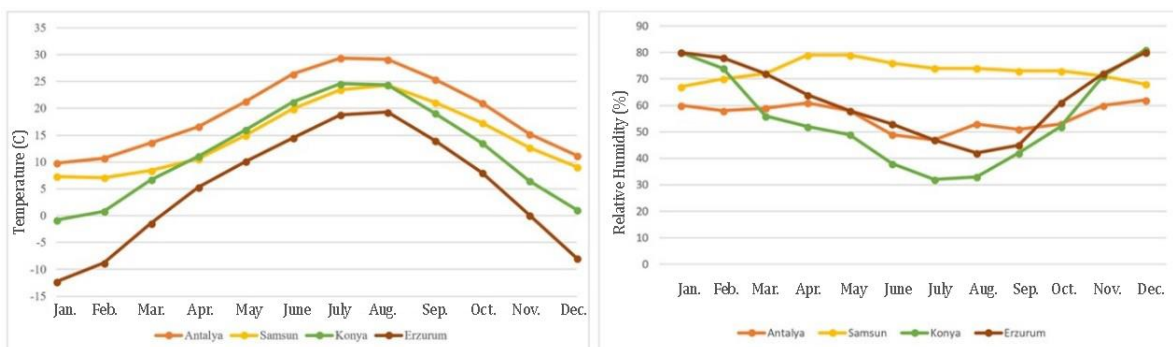
	<b>Calculated Thermal Insulation Thicknesses</b>		
	<b>Wall (cm)</b>	<b>Roof (cm)</b>	<b>Floor (cm)</b>
<b>Antalya</b>	4	6	1
<b>Samsun</b>	4	7	1
<b>Konya</b>	6	10	3
<b>Erzurum</b>	7	12	4



**Figure 2.** Calculated thermal insulation thicknesses and the model created in the Design Builder program

In the model, the weather data of the Meteonorm program were used for the climate data of Antalya, Samsun, Erzurum and Konya cities (Figure 3). Totally, 16 different options are created in line with

the default parameters. These options are listed and coded as shown in the table below to avoid confusion (Table 1).



**Figure 3.** Meteonorm temperature and humidity values

**Table 1.** 16 different options and coding based on default parameters

	Wall	Roof
1	Traditional wall	Traditional roof
2	Traditional wall	Green roof
3	Green wall	Traditional roof
4	Green wall	Green roof

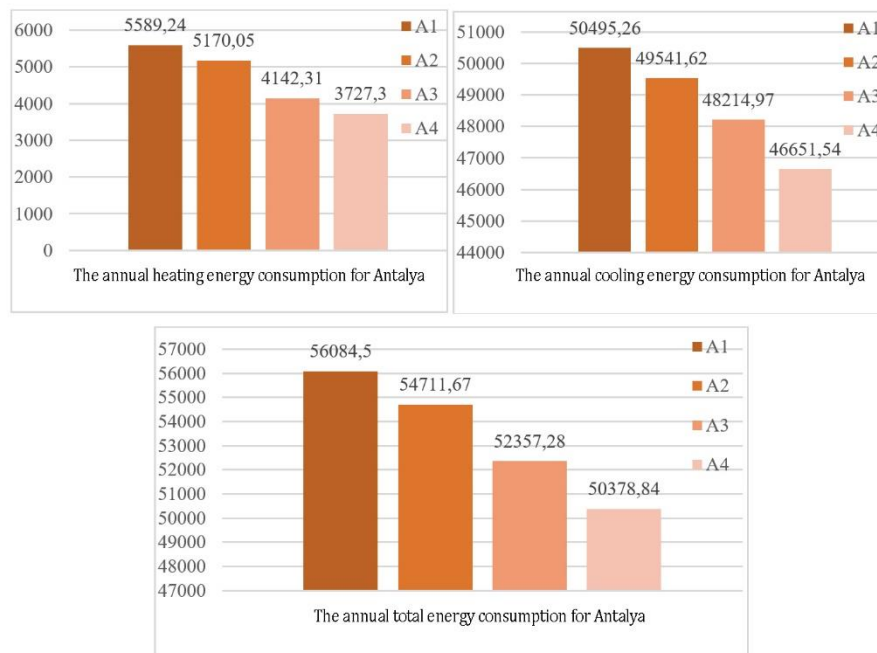
A: Antalya  
 K: Konya  
 S: Samsun  
 E: Erzurum  
 A1: Housing built with traditional wall and traditional roof in Antalya  
 S3: Housing built with a green wall and a green roof in Samsun

**3. Results**

The results achieved by different cities are as follows:

Antalya: Data 1 which traditional roof and traditional wall are the highest annual heating load values for Antalya. This is followed by data 2, 3 and 4, respectively. For the annual cooling loads,

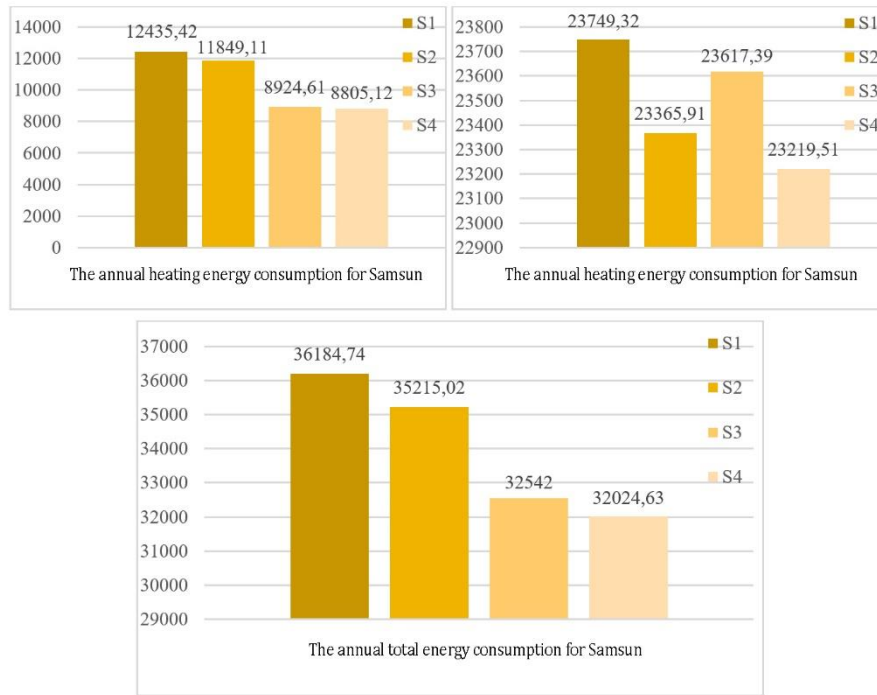
the cooling load of data 1 using traditional roof and traditional wall is the most. This value is followed by traditional wall and green roof option, which is the data 2. The lowest value is green wall and green roof option. The annual total energy consumption for Antalya, decreases from data 1 to data 4. These results show that the use of green wall and green roof benefit the total energy consumption in Antalya province (Figure 4).



**Figure 4.** Annual heating, cooling and total energy consumption values of Antalya city (kWh)

Samsun: Data 1 which the traditional roof and traditional wall options is the highest among the annual heating load values for the city of Samsun. This is followed by data 2, 3 and 4, respectively. For the annual cooling load, it is the data 1 using

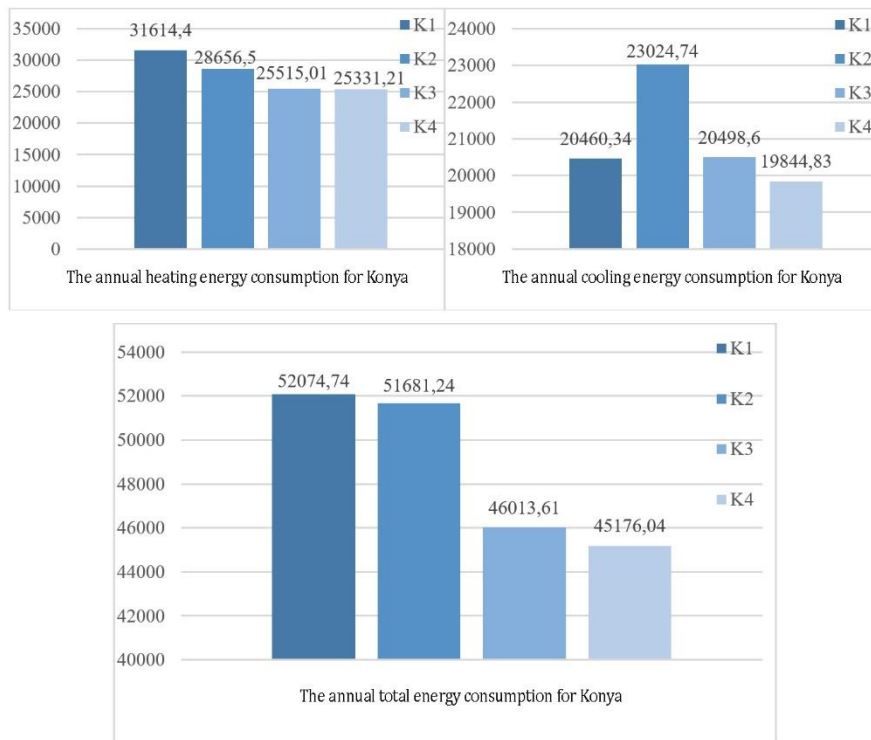
traditional roof and traditional wall most. This is followed by data 3 and then data 2. The lowest value is the data 4 using green wall and green roof options. The annual total energy consumption for Samsun decreases from data 1 to data 4 (Figure 5).



**Figure 5.** Annual heating, cooling and total energy consumption values of Samsun city (kWh)

**Konya:** The highest annual heating value for Konya city is the data 1 using traditional roof and traditional wall. This is followed by data 2, 3 and 4. Among the annual cooling load values for Konya city, data 2 using traditional roof and green wall is the highest value. This is followed by data 3 and then data 1. The lowest value is data 4 using green

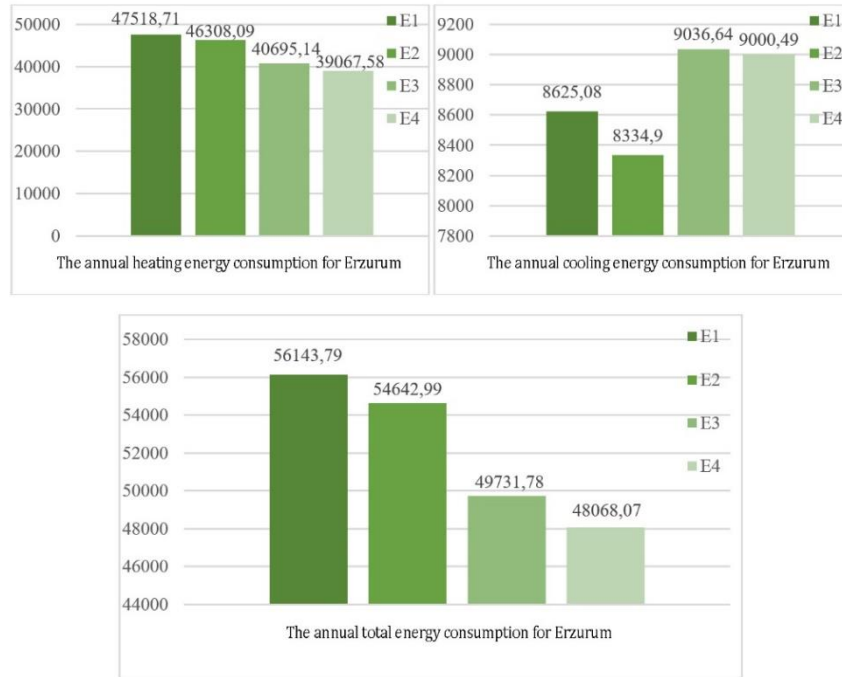
wall and green roof options. The annual total energy consumption for Konya is the highest in data 1, followed by data 2, 3 and 4, respectively. These results show that option 4, which combines the use of green wall and green roof, works best (Figure 6).



**Figure 6.** Annual heating, cooling and total energy consumption values of Konya city (kWh)

**Erzurum:** The highest annual heating value for Erzurum city is the data 1 using traditional roof and traditional wall. This is followed by data 2, 3 and 4, respectively. The highest annual cooling value is the data 3. This is followed by data 4 and then data 1. The lowest value is data 2, using traditional wall

and green roof option. The annual total energy consumption for Erzurum is the highest in data 1, followed by data 2, 3 and 4, respectively. These results show that the use of green wall and green roof benefit the annual total energy consumption in Erzurum city (Figure 7).



**Figure 7.** Annual heating, cooling and total energy consumption values of Erzurum city (kWh)

According to the results, the benefit rates provided by the use of green wall and green roof compared to traditional roof and traditional wall options are

given in table 2 for the cities of Antalya, Samsun, Konya and Erzurum.

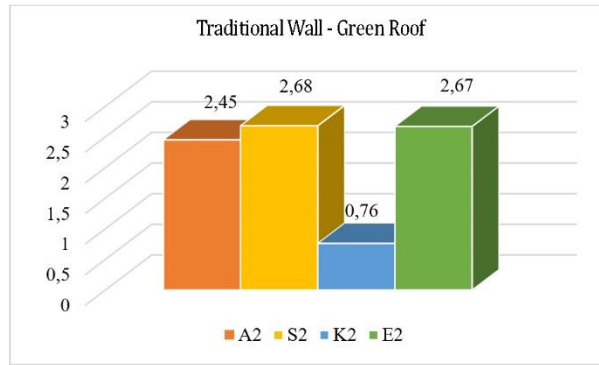
**Table 2.** Benefit rates for four different cities

	Benefit ratio for annual heating consumption (%)	Benefit ratio for annual cooling consumption (%)	Benefit ratio for annual total energy consumption (%)
A2	7.50	1.89	2.45
A3	25.89	4.52	6.65
A4	33.31	7.61	10.17
S2	4.71	1.61	2.68
S3	28.23	0.55	10.07
S4	29.19	2.23	11.50
K2	9.36	-12.53	0.76
K3	19.29	-0.19	11.64
K4	19.87	3.01	13.25
E2	2.55	3.36	2.67
E3	14.36	-4.77	11.42
E4	17.78	-4.35	14.38

In figure 8, the benefit rates obtained in annual total energy consumption by using traditional walls and green roofs for four cities are given. According to this chart, the highest rate of benefit achieved by using traditional walls and green roofs is realized with 2.68% in Samsun, which is located in the 2nd

climate zone. This is followed by Erzurum in the 4th climate zone with a rate of 2.67% and Antalya in the 1st climate zone with a rate of 2.45%. In Konya, which is located in the 3rd climate zone, the least benefit is provided with 0.76%.

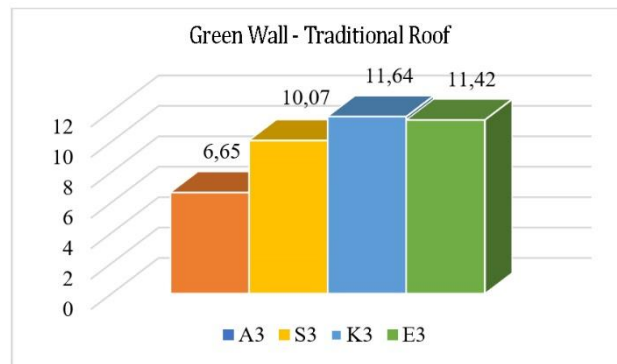




**Figure 8.** Benefit rates in traditional walls and green roofs (%)

In figure 9, the benefit rates obtained in annual total energy consumption by using green walls and traditional roofs for four cities are given. According to this chart, the highest rate of benefit achieved by using traditional walls and green roofs is realized with 11.64% in Konya, which is located

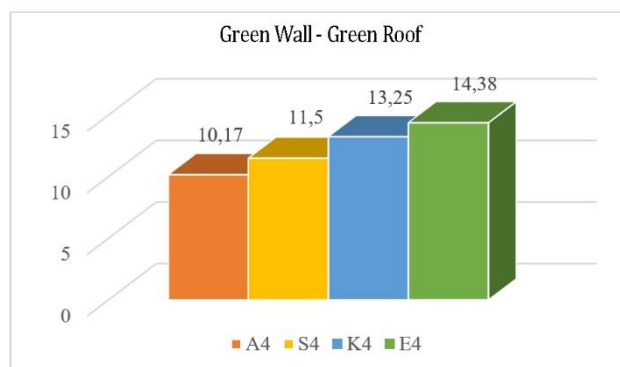
in the 3rd climate zone. This is followed by Erzurum located in the 4th climate zone with 11.42%, Samsun in the 2nd climate zone with 10.07% and Antalya in the 1st climate zone with 6.65%.



**Figure 9.** Benefit rates in green walls and traditional roofs (%)

In Figure 10, the benefit rates obtained in annual total energy consumption by using green walls and green roofs for four cities are given. According to this chart, the highest rate of benefit achieved by using traditional walls and green roofs is realized

with 14.38% in Erzurum city located in the 4th climate zone. This is followed by Konya located in the 3rd climate zone with 13.25%, Samsun in the 2nd climate zone with 11.50% and Antalya in the 1st climate zone with 10.17%.



**Figure 10.** Benefit rates in green walls and green roofs (%)

#### 4. Discussion and conclusion

In the study, simulations were made using different parameters and annual total energy consumption, annual heating consumption and annual cooling consumption have been compared for four different climatic regions of Turkey. In the simulations, it was determined in which climate zone the use of green roofs and green walls provided more positive effects than traditional roofs and traditional walls. In the calculations, it has been numerically proven that the use of green roofs and green walls provides a significant reduction in the annual total energy consumption for all regions. The findings resulting from the analysis are as follows:

- Annual total energy consumption is less in all options using green roofs and green walls compared to all options using traditional roofs and traditional walls. Therefore, greening the roof or facade of the building saves the total annual consumption energy.
- The annual heating energy consumption for all four different cities is the highest in data 1 using traditional roof and traditional wall, followed by data 2 using the green roof and traditional wall, followed by data 3 using the traditional roof and green wall. The annual heating energy consumption is the least in data 4, which the green roof and green wall are used. Therefore, as can be understood from these data, green roof and green wall provide savings in the annual heating energy consumption for all four climatic zones.
- For Antalya city, the use of green roofs and green walls shows a decrease in annual cooling energy consumption from data 1 to 4. In other words, for data 4, which green roof and green wall are used, annual cooling energy consumption is the least. Therefore, for Antalya which located in one of the hottest climates of Turkey, using greening provides a lot of savings, especially for the summer months. Likewise, with the vegetation, shading is provided inside and outside the building and this creates comfortable spaces for people.
- For Samsun city, annual cooling energy consumption is the highest in the option which traditional roof and traditional wall are used. This is followed by the data 3 using traditional roof and green wall, followed by the data 2 using green roof and traditional wall. The least value is the data 4 which uses green roof and green wall. Therefore, using only green walls in Samsun city provides less savings in annual cooling energy consumption compared to using only green roofs. However, using vegetation on both roof and wall provides savings in annual cooling energy consumption. Greening only on the roof, only the wall, or both provides a considerable savings compared to the use of traditional roofs and walls.
- For Konya city, annual cooling energy consumption is the highest data 2 which the green roof and traditional wall are used. This is followed by data 3 with a green wall and traditional roof. Then comes data 1 which includes the traditional roof and traditional wall. In this context, using only a green wall or only green roof causes damage to the annual cooling energy consumption for Konya city. However, for both options, savings are achieved in the annual total energy consumption. Data 4 which the green roof and green wall are used, is the least annual cooling energy consumption. In other words, the minimum cooling consumption occurs for a building with green roof and green wall in Konya.
- For Erzurum city, annual cooling energy consumption is the highest data 3 which green wall and traditional roof are used. This is followed by data 4, using green roof and green wall, and then data 1, using traditional roof and traditional wall. The least valuable option is the data 2, with a green roof and traditional wall. However, using only a green wall or both a green roof and green wall harms the annual cooling energy consumption, but also saves on total energy consumption. Therefore, in a city like Erzurum where the summers are cold, it is a logical solution to use these systems since the annual cooling energy consumption will not be much, as it reduces the annual heating energy consumption and the total energy consumption.
- Comparison of the benefit rates in the four cities for the data 2 which green roof and traditional wall are used are Samsun with 2.68%, Erzurum with 2.67%, Antalya with 2.45% and Konya with 0.76%. While these values are close to each other for Samsun, Erzurum and Antalya, this value is lower for Konya. Therefore, the use of green roofs and traditional walls provides considerable benefits to the annual total energy consumption for Samsun, Erzurum and Antalya, but less for Konya.

- Comparison of the benefit rates in the four cities for the data 3 which traditional roof and green walls are used are Konya with 11.64%, Erzurum with 11.42%, Samsun with 10.07% and Antalya with 6.65%. Thus, using traditional roofs and green walls provides more benefits for Konya, Erzurum and Samsun, but less benefit for the city of Antalya.
- Comparison of the benefit rates in the four cities for the data 4 which green roof and green wall are used are Erzurum with 14.38%, Konya with 13.25%, Samsun with 11.50% and Antalya with 10.17%. Therefore, using green roofs and green walls are beneficial for Erzurum, Konya, Samsun and Antalya. This situation is directly related to the climatic conditions of these cities. While the highest benefit rate is seen in Erzurum, which has the coldest climate, Antalya, which has the warmest climate, provides the least benefit rate.

As a result, green walls and green roofs are new and sustainable solutions in architecture. Although it has some disadvantages; It has many positive features such as regulating air quality, reducing the urban heat island effect, reducing and increasing the temperature, saving in energy consumption, positively affecting human health, and providing noise and wind insulation. For this reason, green walls and green roofs are environmentally friendly systems, making cities more livable and comfortable. Especially in the long run, the benefits for people, the building and the city should not be overlooked.

## References

Aksoy, Y. ve İçmek, S. (2010). Çatı bahçelerinin kent yaşamındaki yeri ve önemi: İstanbul kentinden örnekler. 5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 15-16 Nisan, 15-16. İzmir.

Aktacir, M. A., Nacar, M. A. ve Yeşilata, B. (2011). Binalarda enerji verimliliği amaçlı yazılımlar üzerine kısa bir değerlendirme. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, 853-862. İzmir.

Alexandri, E. and Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

Altensis. (2015). Design Builder Yazılımı. <http://www.altensis.com/> (Access date: 19.06.2017).

Andric, I., Kamal, A. and Al-Ghamdi, S. G. (2020). Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar. *Energy Reports*, 6, 2476-2489. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.006>.

Asadi, A., Arefi, H. and Fathipoor, H. (2020). Simulation of green roofs and their potential mitigating effects on the urban heat island using an artificial neural network: A case study in Austin, Texas. *Advances in Space Research*, 66(8), 1846-1862. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.06.039>.

Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Burés, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A. and Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>.

Baik, J. J., Kwak, K. H., Park, S. B. and Ryu, Y. H. (2012). Effects of building roof greening on air quality in street canyons. *Atmospheric Environment*, 61, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.076>.

Besir, A. B. and Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.

Coma, J., Pérez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M. and Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and environment*, 111, 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>.

Dede, O. H., Mercan, N., Ozer, H., Dede, G., Pekarchuk, O. and Mercan, B. (2021). Thermal insulation characteristics of green wall systems using different growing media. *Energy and Buildings*, 240, 110872. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110872>.

Design Builder Software Ltd. (2017) <https://www.designbuilder.co.uk/> (Access date: 22.11.2017).

Francis, J., Hall, G., Murphy, S., and Rayner, J. (2014). *Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria*. Australia. State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries, National Library of Australia Cataloguing, ISBN 978-1-74326-715-8.

Galbrun, L. and Scerri, L. (2017). Sound insulation of lightweight extensive green roofs. *Building and Environment*, 116, 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.008>.

- Hasan, M. M., Karim, A., Brown, R. J., Perkins, M. and Joyce, D. (2012). Estimation of Energy Saving of Commercial Building by Living Wall and Green Facade in Subtropical Climate of Australia. The 7th International Green Energy Conference and The 1st DNL Conference on Clean Energy, IGEC-DCCE, May 28-30, (pp 1-13). Dalian, China.
- Herath, H. M. P. I. K., Halwatura, R. U. and Jayasinghe, G. Y. (2018). Modeling a tropical urban context with green walls and green roofs as an urban heat island adaptation strategy. *Procedia Engineering*, 212, 691-698. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.089>.
- Jones, R. A. (2002). Tecticolous Invertebrates: A preliminary investigation of the invertebrate fauna on green roofs in urban London. *English Nature*, London, 1-36.
- Jungels, J., Rakow, D. A., Allred, S. B. and Skelly, S. M. (2013). Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 117, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.013>.
- Jusselme, M. D., Pruvost, C., Motard, E., Giusti-Miller, S., Frechault, S., Alphonse, V., Balland-Bolou-Bi, C., Dajoz, I. and Mora, P. (2019). Increasing the ability of a green roof to provide ecosystem services by adding organic matter and earthworms. *Applied soil ecology*, 143, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.028>.
- Kobyas, H. B. (2017). Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Köppen İklim Sınıflandırması. <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> (Access date: 15.06.2017).
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Hairong, X., Wang, D. and Wen, Z. (2021). Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>.
- Loh, S. (2008). Living Walls-A Way to Green the Built Environment. *Environment Design Guide*, pp 1-7. <http://www.jstor.org/stable/26149051>.
- Luckett, K. (2009). Green roof construction and maintenance. McGraw-Hill Education, pp 208.
- MacDonagh, L. P. (2005). Benefits of Green Roofs. *Implications*, 04(08), 1-3.
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M. and Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>.
- Mazzali, U., Peron, F. and Scarpa, M. (2012). Thermophysical performances of living walls via field measurements and numerical analysis. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 165, 251-259.
- Mentens, J., Raes, D. and Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>.
- Mir, M. (2011). Green Facades and Building Structures. Tu Delft University, Faculty of Civil Engineering-Section Materials and Environments, Master Thesis, Delft.
- Nieuwenhuijsen, M. and Khreis H. (2019). Green space and health. In *Integrating human health into urban and transport planning* (pp. 409-423). Springer, Cham.
- Papadakis, G., Tsamis, P. and Kyritsis, S., (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*, 33(8), 831-836. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00066-4).
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. E. and Bass, B. (1999). Greenbacks From Green Roofs: Forging a New Industry in Canada. Canada Mortgage & Housing Corporation, Canada, pp 78. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.7020&rep=rep1&type=pdf>.
- Perez, G., Rincon, L., Vila, A., Gonzalez, J. M. and Cabeza, L. F. (2011). Green Vertical Systems for Buildings as Passive Systems for Energy Savings. *Applied Energy*, 88(12), 4854-4859. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>.
- Pérez Luque, G., Coma Arpón, J., Sol i Felip, S. and Cabeza, L. F. (2017). Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied Energy*, 187, 424-437. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055>.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., Toudeshki A. and Sulaiman, M. Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155-168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.022>.



- Sanchez, L. and Reames, T. G. (2019). Cooling Detroit: A socio-spatial analysis of equity in green roofs as an urban heat island mitigation strategy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126331. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.014>.
- Scholz-Barth, K. (2001). Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down. *Environmental Design and Construction*, 4(1), 63-69.
- Susorova, I. (2015). Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs* (pp. 127-153). Woodhead Publishing.
- Sutton, R. K. (2014). Aesthetics for green roofs and green walls. *Journal of Living Architecture*. Issue 2, March. [https://digitalcommons.unl.edu/arch\\_land\\_faculty\\_schol/19/](https://digitalcommons.unl.edu/arch_land_faculty_schol/19/).
- Tilley, D., Price, J., Matt, S. and Marrow, B. (2012). Vegetated Walls: Thermal and Growth Properties of Structured Green Facades. Final Report to Green Roofs for Healthy Cities-Green Walls Group. Environmental Science and Technology Department College of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Experiment Station, University of Maryland, College Park, p 163.
- Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery. *Science*, 224(4647), 224-225. Doi: 10.1126/science.6143402.
- Vox, G., Blanco, I. and Schettini, E. (2018). Green façades to control wall surface temperature in buildings. *Building and Environment*, 129, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002>.
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K. and Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411-420. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>.
- Xu, L., Yang, S., Zhang, Y., Jin, Z., Huang, X., Bei, K., Zhao, M., Kong, H. and Zheng, X. (2020). A hydroponic green roof system for rainwater collection and greywater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121132>.

## Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki aylık toplam tava buharlaşma verilerinin Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile trend analizi

*Trend analysis of monthly total pan evaporation data of Southeast Anatolia Region with Mann-Kendall Test and Innovative Sen Method*

Yavuz AVŞAROĞLU\*<sup>1,a</sup>, Veysel GÜMÜŞ<sup>1,b</sup>, Oğuz ŞİMŞEK<sup>1,c</sup>, Latif DİNSEVER<sup>1,d</sup>, Mehmet KUŞ<sup>2,e</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik Bölümü, 63250, Şanlıurfa

• Geliş tarihi / Received: 02.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 05.07.2021

### Öz

Buharlaşma miktarındaki değişimin doğru bilinmesi, su kaynaklarının yönetimi, su ile ilgili yapıların tasarlanması ve su eylem planlarının hazırlanması için önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli tarımsal alanlarını barındıran Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin istasyonlarına ait aylık toplam tava buharlaşma verilerinin trendleri, parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi (Innovative Trend Analysis-ITA) ile, lineer trend eğimleri ise Sen'in trend eğim metodu ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, MK testine göre hesaplanan değerlere göre anlamlı trend sadece Şanlıurfa istasyonunda, Mayıs ve Eylül aylarında %95 güven aralığında, Ekim ayında ise %90 güven aralığında artan yönde belirlenmiş ve bu istasyonda lineer trend eğim değerlerine göre en yüksek artış miktarı Mayıs ayında %0.98/yıl olarak hesaplanmıştır. ITA yöntemiyle yapılan hesaplar sonucunda düşük, orta ve yüksek değerlerde trend varlığına rastlanmıştır. ITA yönteminin hesaplama kolaylığı, sonuçları grafiksel olarak verme yeteneği ile monotonik trend analizi yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Mann-Kendall, Tava buharlaşması, Trend analizi, Yenilikçi Şen Yöntemi

### Abstract

Determining the change in the amount of evaporation is important for water resources management, design of water structures and preparing water action plans. In this study, trends of total monthly pan evaporation data for Gaziantep, Şanlıurfa and Mardin stations located as Southeastern Anatolia Region, which is important agricultural area of Turkey, are carried out using non-parametric Mann-Kendall (MK) and Innovative Trend Analysis (ITA) methods. The linear trend slope is determined with Sen's slope method. As a result of the study, the significant increasing trend is found with MK test in May and September at 95% confidence level and in October at 90% confidence level. The highest increase in this station according to the linear trend slope values is calculated 0.98%/year. As a result of analysis with ITA method, there is a trend occurrence in low, medium, and high values. It is concluded that ITA method can be used as an alternative method to monotonic trend analysis methods, since its ease of calculation and its ability to give results graphically.

**Keywords:** Southeastern Anatolia Region, Mann-Kendall, Pan evaporation, Trend analysis, Innovative trend analysis

\*a Yavuz AVŞAROĞLU; yavsaroglu@harran.edu.tr, Tel: (0414) 318 30 00, orcid.org/0000-0003-0920-3202

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2321-9526

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-6324-0229

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-8573-1539

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0003-2215-9250

## 1. Giriş

Hidrolojik çevrimin önemli elemanlarından biri olan buharlaşma; tarım, ormancılık, ekoloji gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Buharlaşma kısaca sıvı haldeki suyun su buharı formuyla tekrar atmosfere transferi olarak tanımlanmaktadır (Bruton vd., 2000). Meydana gelen buharlaşmanın doğru bir şekilde bilinmesi, su kaynaklarının planlaması ve su yapılarının işletilmesinde oldukça önemlidir. Buharlaşma miktarını ölçmek için buharlaşma tavaları kullanılmaktadır. Buharlaşma tavaları, basit ve düşük maliyetli bir şekilde buharlaşan su miktarının ölçümünü sağlar. Buharlaşma tavalalarının, buharlaşma üzerinde etkili olan birçok fiziksel etkiyi bünyesinde bulundurmaları gibi bir avantajı vardır. Tava buharlaşması üzerine yapılan araştırmalar uzun yıllar boyunca hidro-meteorolojik değişikliklere inceleyen çalışmalara konu olmuştur (Singh vd., 2020). Bir bölgede meydana gelen buharlaşma miktarını en çok etkileyen meteorolojik parametrelerin başında, güneşlenme şiddeti, sıcaklık, nem (buhar basıncı) ve rüzgâr hızı gelmektedir.

Buharlaşma, potansiyel buharlaşma ( $ET_0$ ), tava buharlaşması ( $ET_{pan}$ ) ve gerçek buharlaşma olarak sınıflandırılmaktadır. Potansiyel buharlaşma, Brutsaert (1982) tarafından, enerjinin tek sınırlayıcı faktör olması durumunda meydana gelen buharlaşma olarak ifade edilirken, gerçek buharlaşma, büyük bir bölgedeki ortalama buharlaşma olarak tanımlanır. Atmosferdeki nem miktarı buharlaşmayı sınırlandıran bir faktör olabileceğinden, gerçek buharlaşma genellikle potansiyel buharlaşmadan daha az olacaktır. Tava buharlaşması, buharlaşma tavasından ölçülen ve bir azaltma faktörü ile çarpılarak elde edilen buharlaşma tahminlerini ifade eder. Tava buharlaşmasından, özellikle bir rezervuar tasarlanırken su bütçesinin hesaplanmasında yararlanılmaktadır.

Küresel ısınma, daha yüksek buharlaşmaya sebebiyet vermektedir. Böylece, hidrolojik döngü hızlanmakta ve bu durum su kaynaklarının düzensiz dağılımına neden olmaktadır. Tüm bunların bir sonucu olarak daha yüksek miktarda su buharı atmosfere taşınmaktadır (Menzel ve Bürger, 2002). Küresel ısınmanın son 50 yılda Dünya'nın yüzey sıcaklığının yıllık  $0.013^\circ\text{C}$  civarında arttırdığı bilinmektedir (IPCC, 2007). İklim değişikliğinin hidrolojik ve meteorolojik parametreler üzerindeki etki miktarının, tava buharlaşmasındaki değişimlerin gözlemlenerek belirlenebileceği birçok araştırmacı tarafından

bildirilmiştir (Jung vd., 2010; Oguntunde vd., 2012). Bu nedenle, hidrolojik çevrimde meydana gelmesi muhtemel değişiklikler hakkında daha doğru yaklaşımlar geliştirebilmek için, tava buharlaşmasının zamansal değişimlerinin değerlendirilmesi önemlidir. Buharlaşma miktarındaki değişimlerin hesaplanmasıyla olası kayıplarının doğru tahmin edilmesi, özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde mevcut su kaynaklarının yönetiminde, bu değişimlerin büyüklüğüne-yönüne göre yeni yapı türünün seçimi veya farklı eylem planları hazırlanması hayati bir rol oynamaktadır (Hassan vd., 2018).

Bir zaman serisi değişiminin belirlenmesi için en çok başvurulan yollardan bir tanesi ise trend analizidir. Trend analizinde, veri setinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim olup olmadığı belirlenmekte ve meydana gelen değişimin miktarı da hesaplanabilmektedir. Ele alınan zamansal veri setinin bir matematiksel dağılıma uyması zorunluluğu bulunmamasından dolayı, monotonik trendler değerlendirilirken parametrik olmayan testler ve özellikle Mann-Kendall testi (MK) yoğunlukla kullanılmaktadır (Asadi ve Karami, 2021; Chen vd., 2016; Sayyad vd., 2019). Monotonik trend analizi yöntemleri sadece trend mevcudiyeti belirlemekte, ancak zamansal değişimlerin hangi veri aralığında olduğu ise bilinmemektedir. Şen (2012) tarafından önerilen ve literatürde çoğunlukla Innovative Trend Analysis (ITA) yöntemi olarak adlandırılan Yenilikçi Şen Yöntemi ise zamansal veri setinin hangi veri aralığında (düşük, orta ve yüksek) tarihsel bir değişim sergilediğini belirlemektedir. Hidro-meteorolojik verilerin trendini belirlemede son yıllarda MK ve ITA yöntemleri sıklıkla tercih edilmektedir. Örneğin, Mann-Kendall ve ITA yöntemlerini kullanarak Wu ve Qian (2017) yağış verilerinin, Tosunoglu ve Kisi (2017) kuraklık değerlerinin, Nourani vd. (2018) yağış, akım, sıcaklık, nem verilerinin, Alashan (2020) sıcaklık değerlerinin, Kuriqi vd. (2020) akım değerlerinin ve Alifujiang vd. (2021) akış verilerinin trend analizini gerçekleştirmişlerdir. Buradan da görüleceği üzere bu yöntemler çeşitli hidro-meteorolojik verilerin trendlerinin belirlenmesinde tercih edilmiştir. Dünya genelinde buharlaşma trendi ile ilgili gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar incelendiğinde, aynı şekilde bu yöntemlerin sık bir şekilde bir arada kullanıldığı görülmektedir. MK ve ITA metotları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda; Burn ve Hesch (2007) Kanada'daki 30-50 yıl arasında veri aralığına sahip 55 istasyonda buharlaşma trendini MK yöntemi ile incelemiş, çalışma bölgesinin kuzeyinde artan trendlere, güneyinde ise azalan trendlerin

olduğunu, kuzey tarafında gerçekleştirilen buharlaşmadaki artışın rüzgâr hızına, güney bölgesinde gerçekleşen azalmanın ise buhar basıncında oluşan eksikliğe bağlı olduğunu belirtmiştir. [Jhajharia vd. \(2009\)](#) Hindistan'da 11 şehirde, [Limjirakan ve Limsakul \(2012\)](#) Tayland'daki 28 istasyona ait 1970-2007 verilerini kullanarak MK yöntemi ile buharlaşma trendlerini çalışmışlardır. Parametrik olmayan Mann-Kendall veya ITA yöntemleri ile ülkemizde yapılan buharlaşma trendi konusunu içeren çalışmalar incelendiğinde; [Aydın ve Topaloğlu \(2010\)](#) Türkiye'nin genelini 1975-2006 yılları arasındaki verileri kullanarak, [Topaloğlu ve Özfidaner \(2012\)](#) Türkiye genelinde farklı istasyonlara ait 1975-2006 yıllarındaki verileri kullanarak, [Yeşilirmak \(2013\)](#) Büyük Menderes Havzasında bulunan 15 farklı istasyona ait verileri kullanarak, [Kisi \(2015\)](#) Güneydoğu'daki 6 farklı istasyona ait 1970-2010 yıllarında kaydedilen verileri kullanarak, [Kale \(2017\)](#) 1971-2011 yılları arasındaki verileri kullanarak Çanakkale istasyonunda oluşan, [Çıtakoğlu vd. \(2017\)](#) Ege Bölgesi'nin 1971-2014 yıllarında meydana gelen, [Bacanlı ve Tanrikulu \(2017\)](#) Ege Bölgesinde bulunan 25 istasyonda elde edilen verileri kullanarak, [Bacanlı ve Çukurluoğlu \(2018\)](#) Antalya istasyonunda 1965-2017 yılları arasındaki verileri kullanarak, [Sandalcı \(2019\)](#) Sapanca Gölü'nde meydana gelen, [Arslan \(2019\)](#) Kapadokya bölgesinin, [Bağdatlı ve Arıkan \(2020\)](#) Niğde istasyonunda ve [Yagbasan vd. \(2020\)](#) Ankara'daki Mogan ve Eymir Gölü'ne ait 1997-2015 arasındaki verileri kullanarak Türkiye'deki çeşitli bölgelerdeki buharlaşmanın trendlerini belirlemiştir.

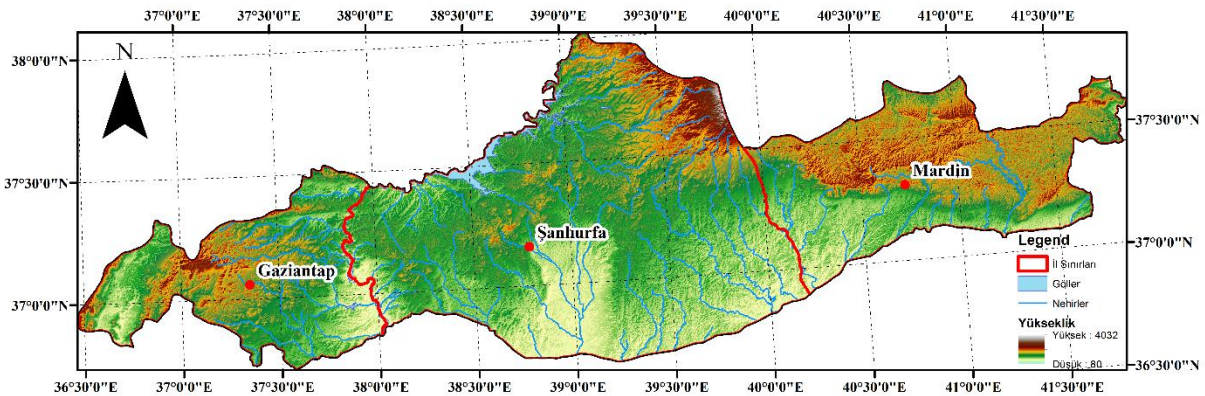
Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin birçok önemli su yapısını ve önemli tarımsal alanlarını barındıran Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin istasyonlarına ait aylık toplam tava buharlaşması verilerinin trendleri parametrik

olmayan Mann-Kendall ve ITA yöntemleriyle, doğrusal trend eğimleri ise Sen'in trend eğim metodu ile belirlenmiş ve detaylı bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan üç komşu il olan Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin illerindeki meteorolojik istasyonlarda ölçülen aylık toplam buharlaşma verileri kullanılmıştır (Şekil 1). Çalışma alanındaki iller, yüzölçümü olarak bölgenin %46'sına denk gelirken, nüfus olarak da bölgenin %56'sını oluşturmaktadır (TÜİK, 2020). Bu bölge tarım alanı olarak Türkiye için çok önemli bir konumda olup, söz konusu üç il de Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında bulunmaktadır. Ülkemizde Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan buharlaşma ölçümlerinde Class A tipi buharlaşma tavaları kullanılmakta ve gerçek buharlaşma değerlerinin hesaplanmasında buharlaşma katsayısı 0.7 kabul edilmektedir. Çalışmada kullanılan veriler Şanlıurfa için 1978-2015, Gaziantep ve Mardin istasyonları için ise 1975-2015 arasında ölçülmüş olup, istasyonlar hakkındaki bilgiler ve ölçüm yapılan aylara göre aylık toplam buharlaşma miktarlarının ortalama miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, en yüksek aylık toplam buharlaşma miktarlarının ortalaması tüm istasyonlar için temmuz ayında belirlenirken, en düşük ortalama buharlaşma değeri ise Şanlıurfa için nisan, Gaziantep ve Mardin istasyonlarında ise ekim ayında olmuştur. Gaziantep ve Mardin istasyonlarında nisan ayına ait ölçüm olmadığından değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı

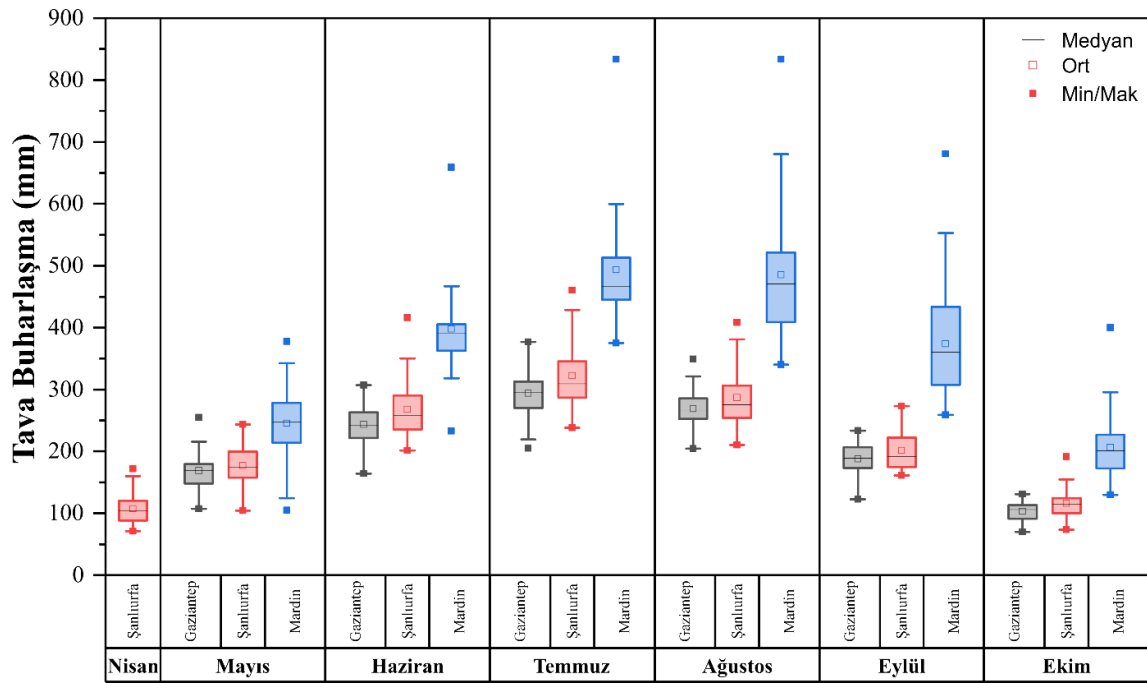


**Tablo 1.** İstasyonlara ait bilgiler ve aylık toplam buharlaşma miktarlarının ortalaması

İstasyon adı	İstasyon no	Koordinatlar	Veri aralığı	Ölçüm yapılan aylara göre toplam buharlaşma miktarları ortalaması (mm)						
				Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Gaziantep	17261	37.0585 K, 37.3510 D	1975-2015		169.03	243.25	293.86	268.99	187.65	103.18
Şanlıurfa	17270	37.1608 K, 38.7863 D	1978-2015	107.35	177.31	267.97	322.06	286.62	201.36	115.85
Mardin	17275	37.3103 K, 40.7284 D	1975-2015		245.01	397.43	493.48	485.24	373.99	206.29

Ele alınan istasyonlara ait ölçülmüş değerlerin kutu grafikleri Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre, Şanlıurfa ve Gaziantep istasyonlarının verilerinde ortalama değer ile medyan değerlerin yakın olduğu, ayrıca en büyük ve en küçük değerlerin çeyrekler açıklığı (The Interquartile Range-IQR) oldukça yakın olduğu, yani aykırı değer

olmadıkları değerlendirilebilir. Ancak, Mardin istasyonunda ölçülmüş olan buharlaşma değerleri diğer iki istasyona göre oldukça büyük olduğu, ayrıca Mardin istasyonunda özellikle en büyük değerlerin çeyrekler arası aralığın oldukça dışına çıktığı, yani aykırı değer olduğu görülmektedir.

**Şekil 2.** Ölçülmüş olan tava buharlaşma değerlerinin kutu grafikleri

## 2.2. Mann-Kendall testi

Monotonik bir test olarak değerlendirilen Mann-Kendall testi, hidro-meteorolojik verilerde istatistiksel olarak anlamlı trend olup olmadığını belirlemek için sıklıkla kullanılan parametrik olmayan bir testtir (Kendall, 1948; Mann, 1945). Bu test ile bir zaman serisindeki trend varlığı; “H<sub>0</sub>: trend yok” (sıfır hipotezi) ile kontrol edilmektedir (Yenigün vd., 2008). Buna göre, test istatistiği  $S$  ve işaret fonksiyonu Denklem 1 ve 2’de verildiği gibi hesaplanır. Daha sonra, Denklem 3 ve 4’te verilen formüller ile sırasıyla  $S$ ’in varyansı ve  $Z$  test istatistiği belirlenir.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ -1 & x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{var}(S) = \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i i(i-1)(2i+5) \right] / 18 \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

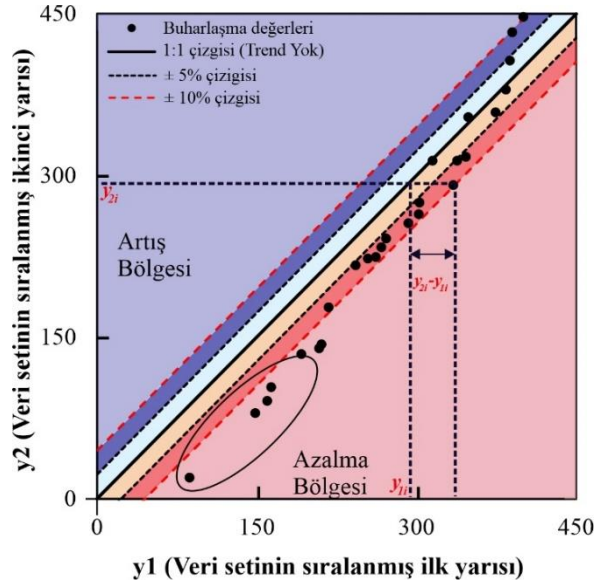
Burada,  $n$  veri sayısını,  $x$  ise  $i$  ve  $j$  zamanlarındaki veriyi,  $t_i$  değeri  $i$  uzunluğundaki bir seride tekrarlanan gözlemleri göstermektedir.

İstatistiksel olarak anlamlı bir trendin belirlenmesi için  $Z$  değeri kullanılır.  $\alpha$  anlamlılık düzeyinde  $|Z| < Z_{\alpha/2}$  olması durumunda anlamlı bir trend olmadığı,  $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$  olması durumunda ise istatistiksel olarak anlamlı bir trend olduğundan söz edilir. Bunun yanında,  $S$  değerinin işaretine göre de trendin artan ( $S$  değeri pozitif) ya da azalan yönde ( $S$  değeri negatif) olduğu sonucuna varılır.

### 2.3. Yenilikçi Şen Yöntemi (Innovative Trend Analysis-ITA)

Monotonik trend, bir zaman serisindeki “ $H_0$ :Trend Yok” hipotezinin kabulü ya da reddi sonucunu vermekte, ancak trendin lineer olup olmadığı ile

ilgili bilgi vermemektedir. Monotonik trend analizi yöntemlerinin eksik kaldığı bu noktada Şen (2012) tarafından önerilmiş olan Yenilikçi Şen Yöntemi (Innovative Trend Analysis-ITA), bir zaman serisindeki verilerin düşük, orta ya da yüksek değerlerinin trendinin olup olmadığı ile ilgili değerlendirme yapma imkanını ortaya koymaktadır. ITA yönteminde, veri seti ölçüm tarihine göre sıralanarak iki eşit parçaya bölünür ve bu iki veri seti küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sıralanmış verilerin ilki ( $y_1$ ) x eksenine, ikincisi ( $y_2$ ) ise y eksenine yerleştirilerek bunların saçılım grafiği oluşturulur. Örneği Şekil 3’te verilmiş olan bu grafik üzerine 1:1 (45°) ve bu çizgiye paralel,  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  çizgileri yerleştirilerek verilerin bu çizgilere göre dağılımları yorumlanır. Buna göre, eğer veriler 1:1 çizgisinin  $\pm\%5$  arasında ise “trend yok”,  $\%5$ - $10$  aralığında ise “trend var”,  $\%10$  çizgisinin dışında ise “güçlü trend var” denilmektedir (Caloiero, 2020). Trend yönü de yine 1:1 çizgisine göre değerlendirilir. Eğer veriler 1:1 çizgisinin üstünde ise artan yönde, altında ise azalan yönde trend şeklinde yorumlanır. Bu yöntemde her bir veri aralığı için değerlendirme yapmak mümkünken, genellikle veri seti düşük, orta ve yüksek değer olarak ayrılarak değerlendirme üç kategori için yapılmaktadır (Alifujiang vd., 2020; Ay ve Kisi, 2015; Boudiaf vd., 2021).



Şekil 3. ITA'ya göre trend oluşma durumu

ITA yönteminde sıralanmış iki veri setinin değerleri ile trend göstergesi  $D$  değeri Denklem 5'teki gibi hesaplanır.

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10 \frac{(y_{1i} - y_{2i})}{y_1} \quad (5)$$

Burada,  $D$ 'nin işareti trendin yönünü (pozitif ise artan, negatif ise azalan),  $n$  her bir alt serideki veri

sayısını,  $\bar{y}_1$  ise ilk alt serinin ortalamasını ifade etmektedir. Burada, hesaplanan  $D$  değerini MK testi ile karşılaştırmak için  $D$  değeri 10 ile çarpılmaktadır (Nisansala vd., 2020; Wu ve Qian, 2017)

#### 2.4. Sen'in trend eğim metodu

Parametrik olmayan bir test ile zaman serisinin lineer değişimi, yani eğiminin belirlenmesi amaçlanmaktadır (Sen, 1968). Bu yöntemde  $Q_i$  Denklem 6'da verilmiş olan bağıntı ile hesaplanır.

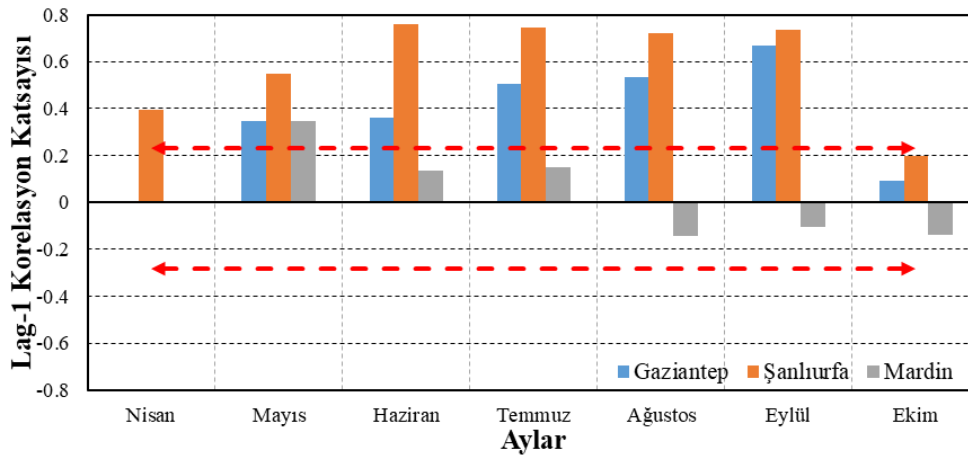
$$Q_i = (x_j - x_k)/(j - k)(i = 1, \dots, N) \quad (6)$$

Burada, veri sayısı  $N$ ,  $j$  ve  $k$  zamanlarındaki veriler  $x_j$  ve  $x_k$ 'dir. Elde edilen  $Q_i$  değerleri, küçükten büyüğe doğru sıralanır ve medyan değeri alınır. Alınan  $Q_{medyan}$  ise ilgili gözlemlerin birim zamandaki değişimi olarak değerlendirilir. Hesaplanan  $Q_{medyan}$  değerinin pozitif olması artan yönde, negatif olması ise azalan yönde bir trendin olduğunu gösterir.

### 3. Bulgular ve tartışma

Hidro-meteorolojik verilerin Mann-Kendall testi öncesi iç bağımlılığının kontrol edilmesi ve iç

bağımlılık varsa bunun giderilmesi gerekmektedir (Gumus, 2019; Yenigün vd., 2008). Bu amaçla çalışma kapsamında ele alınan istasyonların iç bağımlılığın kontrolü için, Salas (1980) tarafından önerilmiş ve detayları Gumus (2019)'da görülebilecek olan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde hesaplanan değerlerin Şekil 4'te Lag-1 (bir ay gecikmeli) korelasyon katsayısı kesikli çizgiler ile gösterilen aralıkta kalması durumunda iç bağımlılık olmadığı ve verilerin olduğu gibi kullanılması anlamına gelmektedir. Ancak, eğer kesikli çizginin dışında bir durum meydana gelecek olur ise "pre-whitening" yöntemi ile verilerin iç bağımlılık etkisinin giderilmesi gerekmektedir. "Pre-whitening" yönteminde veri setinin Lag-1 korelasyon katsayısı  $r_1$  ( $x_2 - r_1x_1, x_3 - r_1x_2, \dots, x_n - r_1x_{n-1}$ ) işlemi yapılarak yeni bir zaman serisi elde edilmektedir. Bu yaklaşım ile tüm istasyonların ele alınan ayları için Lag-1 korelasyon katsayısı ve Salas (1980)'e göre hesaplanmış aralıklar Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre, Şanlıurfa ve Gaziantep istasyonlarında ekim ayı dışındaki tüm aylarda pozitif bir iç bağımlılık görülürken, Mardin istasyonunda ise sadece mayıs ayında iç bağımlılık etkisi görülmüştür. Bu nedenle, belirtilen ilgili aylarda pre-whitening yöntemi uygulanarak yeni zaman serileri elde edilmiş ve Mann-Kendall yöntemi yeni verilere uygulanarak trend analizi yapılmıştır.



Şekil 4. Çalışılan istasyon verilerinin Lag-1 korelasyon katsayısı dağılımı

Parametrik olmayan MK yöntemi ile elde edilen  $Z$  değerleri ve Sen'in trend eğim yöntemi ile hesaplanan trend eğimleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki değerlerden görüldüğü üzere, buharlaşma ölçülen istasyon ve ayların büyük bir çoğunluğunda artan yönde bir trend tespit edilmiştir. Sadece, Mardin istasyonunda mayıs ayında ise azalan yönde bir trend tespit edilmiştir. Trend analizi yapılan istasyonlarda MK yönteminde elde edilen  $Z$  değerleri %90 ve %95

güven aralığında anlamlı trend varlığı ise Gaziantep ve Mardin'de hiçbir ayda tespit edilememiştir. Şanlıurfa istasyonunda ise mayıs ve eylül aylarında %95, ekim ayında ise %90 güven aralığında artan yönde anlamlı trend varlığı belirlenmiştir. Tabloda trend eğimleri ise iki türlü verilmiştir; birincisi mm/yıl, diğeri ise %/yıl değerinin uzun yıllar ortalama değere bölünüp 100 ile çarpılması ile elde edilmiş olan %/yıl değeridir. %/yıl değerinin verilmesinin nedeni, istasyonların

birbirleri ile kıyaslanmasının sağlanmasıdır. Eğim değerlerinde ise anlamlı trend görülen Şanlıurfa istasyonunda artış miktarı mayıs ayında %0.98/yıl, eylül ayında, %0.72 ve ekim ayında %0.53/yıl şeklinde olmuştur. En yüksek değişim ise mm/yıl olarak Şanlıurfa istasyonunda temmuz ayında

görülmüş, ancak %/yıl cinsinden Şanlıurfa istasyonunda haziran ayında meydana gelmiştir. Anlamlı trend belirlenmeyen Gaziantep ve Mardin istasyonlarında ise artış sınırlı olmuş ve değeri %0.08-%0.35 mm/yıl aralığında olmuştur.

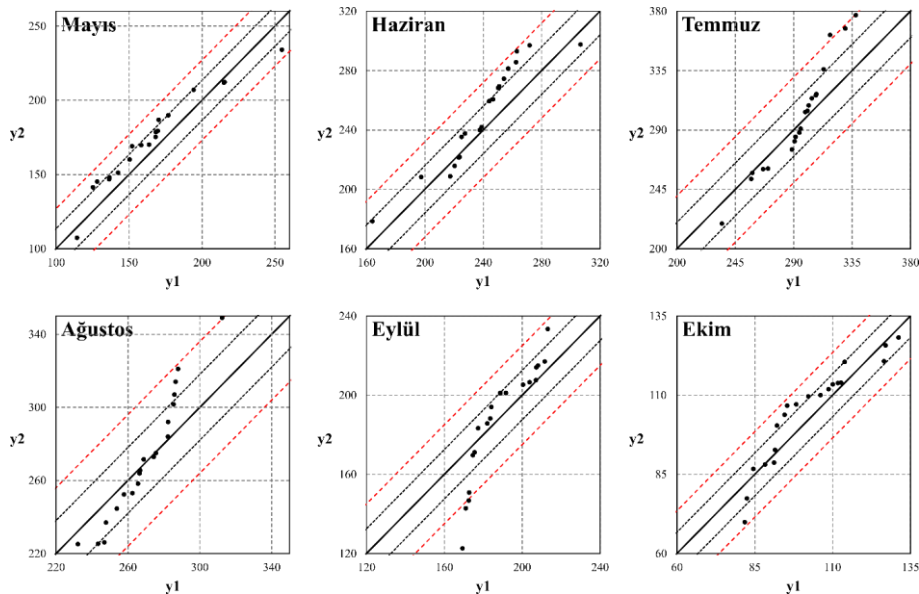
**Tablo 2.** Mann-Kendall ve trend eğim değerleri

Ay/İstasyon	Gaziantep			Şanlıurfa			Mardin		
	Z	Eğim (mm/yıl)	Eğim (%/yıl)	Z	Eğim (mm/yıl)	Eğim (%/yıl)	Z	Eğim (mm/yıl)	Eğim (%/yıl)
Nisan				1.0855	0.96	%0.89			
Mayıs	0.8505	0.6	%0.35	<b>2.2103**</b>	1.73	%0.98	-0.6641	-0.53	-%0.22
Haziran	0.734	0.79	%0.32	1.1902	2.97	%1.11	0.6402	0.32	%0.08
Temmuz	0.4777	0.3	%0.10	1.0071	3.12	%0.97	0.7638	0.53	%0.11
Ağustos	0.3146	0.43	%0.16	1.321	2.31	%0.81	1.4938	1.61	%0.33
Eylül	0.5243	0.57	%0.30	<b>2.0272**</b>	1.44	%0.72	0.6402	0.75	%0.20
Ekim	0.7076	0.17	%0.16	<b>1.7476*</b>	0.61	%0.53	0.5279	0.33	%0.16

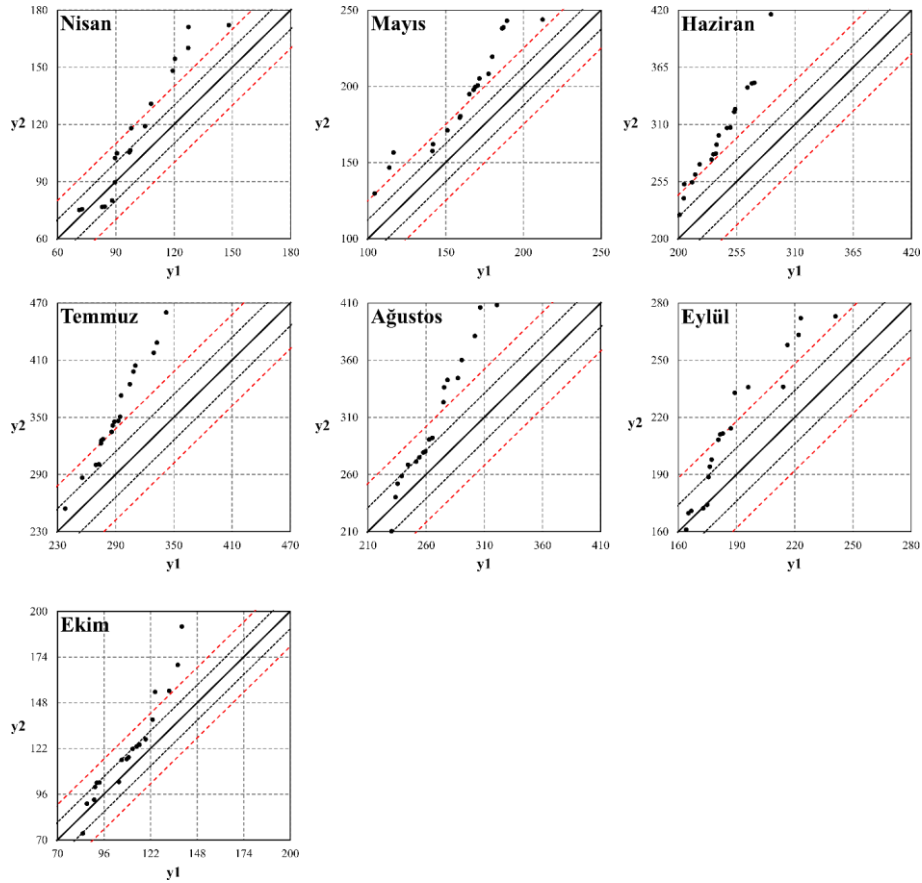
%90 güven aralığı, \*\*%95 güven aralığı

MK testi ile monotonik trendler belirlendikten sonra, ITA yöntemi kullanılarak Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin istasyonlarına ait aylık toplam tava buharlaşma değerlerinin trendleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Bu kısımda, aylık toplam tava buharlaşma değerleri düşük, orta ve yüksek değerler olarak üç ayrı aralık için değerlendirilmiştir. Düşük değerler için, Gaziantep istasyonunda, sadece eylül ayında güçlü bir azalan trend gözlemlenirken, diğer aylarda anlamlı değişim tespit edilememiştir. Şanlıurfa istasyonunda mayıs ayında güçlü artış trendi, haziran ve temmuz aylarında ise artış trendi tespit edilmiştir. Mardin istasyonunda ise sadece mayıs ve haziran aylarında bir azalma trendi görülmüştür.

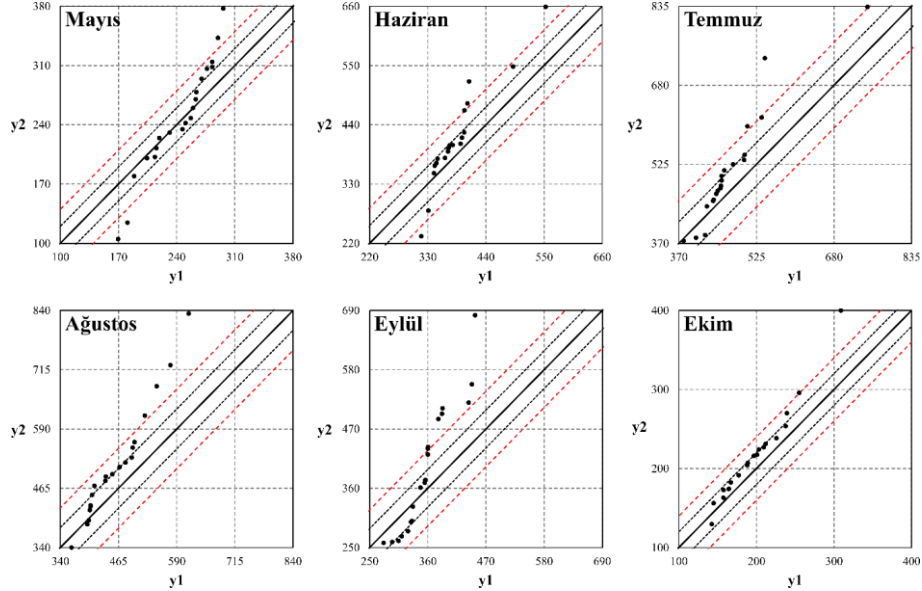
Orta değerlere göre, Gaziantep'te herhangi bir trend belirlenmemiş, Şanlıurfa'da ise ekim ayı hariç tüm aylarda artan yönde trend tespit edilmiştir. Bu artışlar nisan ayında %5-10 aralığında kalırken, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ise %10 üzerinde olmuş ve güçlü trend olarak değerlendirilmiştir. Mardin istasyonunda ise temmuz ve ağustos aylarında artan trend görülürken, eylül ayında güçlü artan trend olarak meydana gelmiştir. Yüksek buharlaşma değerlerinde Gaziantep'te haziran, temmuz ve ağustos aylarında artan trend gözlenirken, Şanlıurfa'da tüm aylarda güçlü artan trend belirlenmiştir. Mardin istasyonunda ise mayıs ayında artan trend, diğer tüm aylarda ise güçlü artan trend görülmüştür.



**Şekil 5.** ITA yöntemi sonuçları (Gaziantep istasyonu)



Şekil 6. ITA yöntemi sonuçları (Şanlıurfa istasyonu)



Şekil 7. ITA yöntemi sonuçları (Mardin istasyonu)

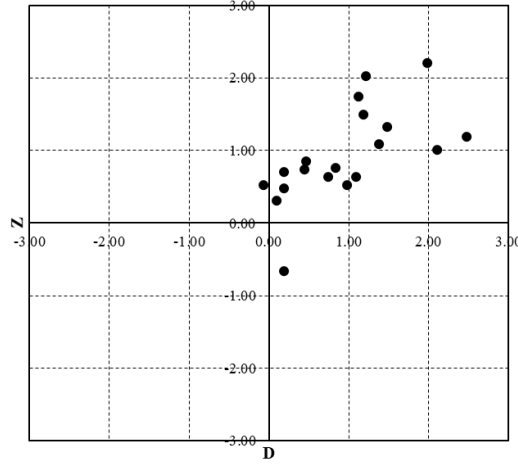
Denklem 5 ile hesaplanmış D değerleri ile Mann-Kendall yöntemi ile hesaplanmış Z değerlerinin saçılım grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre, iki değer arasındaki korelasyon katsayısı 0.636 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürde farklı parametreler için hesaplanmış olan Z ve D arasındaki korelasyon katsayısı ile uyumlu görülmektedir (Nisansala vd., 2020; Wu ve Qian,

2017). Ayrıca, genel olarak Z ve D değerleri arasında iki değer hariç işaretleri aynı olmuş, fakat özellikle MK yöntemi ile anlamlı trend belirlenen aylarda  $D > 1.96$  durumu (%95 güven aralığında anlamlı trend koşulu) sağlanmadığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde  $D > 1.96$  durumunun sağlandığı aylarda Z'nin bu şartı sağlamadığı da belirlenmiştir. Bunun nedeni, ITA yönteminde



düşük, orta veya yüksek değerlerde meydana gelen trend varlığının, D değeri üzerinde etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, D değerlerinin anlamlı monotonik trendleri belirlemede, MK

yöntemi ile uyumlu olmadığı için, bu amaçla kullanımının çok uygun olmadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 8. Z ve D değerlerinin saçılım grafiği

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında, ele alınan bölge ile ilgili yapılmış olan trend analizi çalışmalarının oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür. Topaloğlu vd. (2012)'nin Türkiye geneline ait tava buharlaşmalarının trendini değerlendirdiği çalışmada MK testi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi için yapmış oldukları bölgesel trend analizi sonucunda, nisan ayında azalan, diğer aylarda ise artan yönde istatistiksel olarak anlamlı trend belirleyememiştir. Bu çalışma kapsamında da benzer sonuçlar elde edilmiştir, ancak ITA yöntemi ile MK testi ile anlamlı trend belirlenmemiş istasyonlarda düşük, orta ve yüksek değerlerde trend varlığına rastlanmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin istasyonlarında ölçülmüş aylık toplam tava buharlaşma değerlerinin monotonik trendleri Mann-Kendall yöntemi ile düşük, orta ve yüksek değerlerinin trenleri ise ITA yöntemi ile belirlenmiştir. Tava buharlaşma değerlerinin lineer eğimleri Sen'in trend eğim metodu ile belirlenmiştir. Değerlendirme sonucunda;

- Ele alınan istasyon ve ayların büyük bir çoğunluğunda artan yönde bir trend tespit edilmiştir. Sadece, Mardin istasyonunda mayıs ayında ise azalan yönde bir trend tespit edilmiştir. Ancak anlamlı trend sadece Şanlıurfa istasyonunda mayıs ve eylül aylarında

%95 ve ekim ayında ise %90 güven aralığında artan yönde anlamlı trend varlığı belirlenmiştir.

- MK testine göre, anlamlı trend görülen Şanlıurfa istasyonunda lineer trend eğim değerlerine göre, artış miktarı mayıs ayında %0.98/yıl, eylül ayında, %0.72 ve ekim ayında %0.53/yıl şeklinde olmuştur.
- ITA yöntemi ile düşük, orta ve yüksek değerler için yapılan değerlendirme neticesinde, düşük değerler için, Gaziantep istasyonunda, eylül ayında güçlü bir azalan trend, Şanlıurfa istasyonunda mayıs, haziran ve temmuz aylarında ise artan trend, Mardin istasyonunda ise sadece mayıs ve haziran aylarında bir azalma trendi görülmüştür.
- Orta değerlere göre, Şanlıurfa istasyonunda neredeyse tüm aylarda (ekim ayı hariç), Mardin istasyonunda ise temmuz, ağustos ve eylül aylarında artan trend görülürken, Gaziantep istasyonunda trend görülmemiştir.
- Yüksek buharlaşma değerlerinde, Gaziantep istasyonunda haziran, temmuz ve ağustos aylarında, Şanlıurfa ve Mardin istasyonlarında tüm aylarda artan trend görülmüştür.

MK testi ile hesaplanan Z değerleri ve ITA yöntemi ile hesaplanan test göstergesi D değerleri karşılaştırılmış ve genel olarak birbirleri uyumlu oldukları, ancak D göstergesinin, monotonik trend belirleme amacıyla kullanımını durumunda MK



testi ile uyumlu sonuçlar çıkarmayacağı değerlendirilmiştir.

ITA yönteminin kullanım kolaylığı, sonuçları grafiksel olarak verme yeteneği ve istenilen değer aralığında bir trend varlığını araştırma imkânı sağlaması nedeniyle, monotonik trend belirleme yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

### Teşekkür

Bu çalışmadaki yazarlardan Yavuz Avşaroğlu, “Sürdürülebilir Su Kaynakları” alanında YÖK 100/2000 Doktora Bursu programındadır. Yazar katkılarından dolayı YÖK’e teşekkür etmektedir.

### Kaynaklar

- Alashan, S. (2020). Combination of modified Mann-Kendall method and Şen innovative trend analysis. *Engineering Reports*, 2(3), e12131. <https://doi.org/10.1002/eng2.12131>
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J. and Ge, Y. (2021). Trend analysis of annual and seasonal river runoff by using Innovative Trend Analysis with significant test. *Water*, 13(1), 95. <https://doi.org/10.3390/w13010095>
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B. and Groll, M. (2020). Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332. <https://doi.org/10.3390/atmos11040332>
- Arslan, O. (2019). Kapadokya Bölgesi'nin yaz ayları buharlaşma verileri için trend analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 948-953. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.598070>
- Asadi, M. and Karami, M. (2021). Modeling of relative humidity trends in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01093-9>
- Ay, M. and Kisi, O. (2015). Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3), 617-629. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1198-8>
- Aydın, F. ve Topaloğlu, F. (2010). Türkiye buharlaşma verilerinin gidiş analizi. *ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22(2), 174-184.
- Bacanlı, Ü. G. ve Çukurluoğlu, S. (2018). Antalya ilinin bazı meteorolojik verilerinin trend analizi. *SETSCI Conference Indexing System*, 2, 371-375
- Bacanlı, Ü. G. ve Tanrıkulu, A. (2017). Ege Bölgesinde buharlaşma verilerinin trend analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 980-987. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66282>
- Bağdatlı, M. C. and Arıkan, E. N. (2020). Evaluation of maximum and total open surface evaporation by using trend analysis method in Niğde Province of Turkey. *International Journal*, 6(1), 138-145. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3890231>
- Boudiaf, B., Şen, Z. and Boutaghane, H. (2021). Climate change impact on rainfall in north-eastern Algeria using innovative trend analyses (ITA). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06644-z>
- Bruton, J., Hoogenboom, G. and McClendon, R. (2000). A comparison of automatically and manually collected pan evaporation data. *Transactions of the ASAE*, 43(5), 1097. <https://doi.org/10.13031/2013.3002>
- Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the atmosphere: Theory, History, and Applications*, 1: Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1497-6>
- Burn, D. H. and Hesch, N. M. (2007). Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of hydrology*, 336(1-2), 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.011>
- Caloiero, T. (2020). Evaluation of rainfall trends in the South Island of New Zealand through the innovative trend analysis (ITA). *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 493-504. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02988-5>
- Chen, Y., Guan, Y., Shao, G. and Zhang, D. (2016). Investigating trends in streamflow and precipitation in Huangfuchuan Basin with wavelet analysis and the Mann-Kendall test. *Water*, 8(3), 77. <https://doi.org/10.3390/w8030077>
- Çıtakoğlu, H., Geyikli, S. ve Demir, V. (2017). Ege Bölgesi yaz ayları buharlaşma verilerine trend analizi. 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi
- Gumus, V. (2019). Spatio-temporal precipitation and temperature trend analysis of the Seyhan-Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 26(3), 369-384. <https://doi.org/10.1002/met.1768>
- Hassan, A., Ismail, S. S., Elmoustafa, A. and Khalaf, S. (2018). Evaluating evaporation rate from high Aswan Dam Reservoir using RS and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.10.001>

- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva: IPCC. Sciences, 77(5), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7390-x>
- Jhajharia, D., Shrivastava, S., Sarkar, D. and Sarkar, S. (2009). Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(5), 763-770. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.024>
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S. I., Sheffield, J., Goulden, M. L. And De Jeu, R. (2010). Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature*, 467(7318), 951-954. <https://doi.org/10.1038/nature09396>
- Kale, S. (2017). Analysis of climatic trends in evaporation for Çanakkale (Turkey). *Middle East Journal of Science*, 3(2), 69-82. <https://doi.org/10.23884/mejs.2017.3.2.01>
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods. London: Griffin.
- Kisi, O. (2015). An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. *Journal of hydrology*, 527, 1123-1129. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.009>
- Kuriqi, A., Ali, R., Pham, Q. B., Gambini, J. M., Gupta, V., Malik, A. and Dong, X. (2020). Seasonality shift and streamflow flow variability trends in central India. *Acta Geophysica*, 68(5), 1461-1475. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00475-4>
- Limjirakan, S. and Limsakul, A. (2012). Trends in Thailand pan evaporation from 1970 to 2007. *Atmospheric research*, 108, 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.01.010>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Menzel, L. and Bürger, G. (2002). Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *Journal of hydrology*, 267(1-2), 53-64. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00139-7)
- Nisansala, W., Abeysingha, N., Islam, A. and Bandara, A. (2020). Recent rainfall trend over Sri Lanka (1987–2017). *International Journal of Climatology*, 40(7), 3417-3435. <https://doi.org/10.1002/joc.6405>
- Nourani, V., Mehr, A. D. and Azad, N. (2018). Trend analysis of hydroclimatological variables in Urmia lake basin using hybrid wavelet Mann–Kendall and Şen tests. *Environmental Earth Sciences*, 77(5), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7390-x>
- Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Olukunle, O. J. and Olufayo, A. A. (2012). Trends and variability in pan evaporation and other climatic variables at Ibadan, Nigeria, 1973–2008. *Meteorological Applications*, 19(4), 464-472. <https://doi.org/10.1002/met.281>
- Salas, J. D. (1980). Applied modeling of hydrologic time series. Colorado: Water Resources Publication.
- Sandalcı, M. (2019). Sapanca Gölünde buharlaşmanın trend analizi. 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Yalova.
- Sayyad, R., Dakhore, K. And Phad, S. (2019). Analysis of rainfall trend of Parbhani, Maharashtra using Mann–Kendall test. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Singh, D., Kumar, A., Goyal, V., Arora, M. and Allaka, N. (2020). Temporal characteristics of evaporation trends and their attribution to meteorological drivers in Roorkee (India). *Authorea Preprints*. <https://doi.org/10.22541/au.158931107.75237406>
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Topaloğlu, F., Özfıdaner, M. and Aydın, F. (2012). Regional trends in Turkish pan evaporation. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(3&4), 960-962.
- Tosunoglu, F. and Kisi, O. (2017). Trend analysis of maximum hydrologic drought variables using Mann–Kendall and Şen's innovative trend method. *River Research and Applications*, 33(4), 597-610. <https://doi.org/10.1002/rra.3106>
- TÜİK (2020). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2020. Erişim adresi <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>
- Wu, H. and Qian, H. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2582-2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>

Yagbasan, O., Demir, V. and Yazicigil, H. (2020). Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in Central Turkey. *Water*, 12(2), 414. <https://doi.org/10.3390/w12020414>

Yenigün, K., Gümüş, V. and Bulut, H. (2008). Trends in streamflow of the Euphrates basin, Turkey. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-*

*Water Management*. <https://doi.org/10.1680/wama.2008.161.4.189>

Yeşilirmak, E. (2013). Temporal changes of warm-season pan evaporation in a semi-arid basin in Western Turkey. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27(2), 311-321. <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0605-x>

## Krom III klorür tuzuna maruz kalan mayalara C vitamini katılarak mayaların antioksidan enzimlerine etkisinin araştırılması

*The research of the effects on antioxidant enzymes of yeasts exposed to chromium III chloride salt by adding vitamin C*

Ebru ÇÖTELİ<sup>\*1,a</sup>, Fikret KARATAŞ<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Kırşehir

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 03.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 05.07.2021

### Öz

Son zamanlarda biyokimyasal, biyoteknolojik ve toksikolojik çalışmalarda mayalar oldukça sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada, maya (*Saccharomyces cerevisiae*) mikroorganizması iki farklı dozda (10 ve 40 µg/mL) krom III klorür ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ) tuzuna 12, 24 ve 36 saat boyunca maruz bırakılmıştır. Krom tuzuna maruz bırakılan maya örneklerine 10, 15 ve 20 µg/mL miktarlarında C vitamini eklenmiştir. Maya ve krom etkileşiminin mikroorganizmadaki bazı biyokimyasal parametrelere etkileri incelenmiştir. Öncelikle maya örneklerinin 12, 24 ve 36. saatteki canlılık oranları tespit edilmiştir. Ayrıca glutatyon peroksidaz (GSH-Px), Glutatyon redüktaz (GSH-Rd) ve Süperoksit dismutaz (SOD) antioksidan enzim aktivite miktarları ile total protein miktarları spektrofotometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, maya örneklerinde artan krom dozu ve süreye bağlı olarak hücre sayıları ve protein miktarlarında azalmalar, artan C vitamini dozu ve süresine bağlı olarak da hücre sayıları ve protein miktarında artışların olduğu gözlemlenmiştir. Artan krom dozuna bağlı olarak maya örneklerinin GSH-Px, GSH-Rd ve SOD enzim aktivite miktarlarında artışların olduğu tespit edilmiştir. Kontrol ve diğer gruplar karşılaştırıldığında, kromun antioksidan enzim aktivite miktarlarını artırdığı belirlenmiştir. Fakat besi ortamına eklenen farklı konsantrasyonlardaki C vitamininin, enzim aktivite miktarlarını azalttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; kromun maya mikroorganizmasında serbest radikal oluşumunu artırdığı, eklenen C vitamininin ise antioksidan özelliğinden dolayı serbest radikal oluşumunu azalttığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:**  $CrCl_3$ , GSH-Px, GSH-Rd, *Saccharomyces cerevisiae*, SOD

### Abstract

Recently, yeast are used frequently in biochemical, biotechnological and toxicological studies. In this study, yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) microorganism was exposed to chromium III chloride ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ) salt in two different doses (10 and 40 µg/mL) for 12, 24 and 36 hours. 10, 15 and 20 µg/mL of vitamin C was added to the yeast samples exposed to chromium salt. The effect of yeast and chromium interaction on some biochemical parameters in microorganism were investigated. Firstly, the survival rates of yeast samples at 12, 24 and 36 hours were determined. In addition, the amount of antioxidant enzyme activity of Glutathione peroxidase (GSH-Px), Glutathione reductase (GSH-Rd) and Superoxide dismutase (SOD) and amounts of total protein were measured by spectrophotometer. It was observed that the number microorganism and amounts of protein decreased depending on increasing chromium dose and time in yeast samples, on the other hand, with the introduction of vitamin C, increase the number of microorganism along with amount of protein. Depending on the increasing chromium dose, the activity enzyme GSH-Px, GSH-Rd and SOD of yeast samples were found to be increased. When the control and other groups were compared, it was observed that chromium increased the amounts of antioxidant enzyme activity. However, it has been obtained that different concentrations vitamin C added to the nutrient medium reduces the amounts of enzyme activity. As a result; it was concluded that while chromium increases the formation of free radicals in yeast microorganism, vitamin C, reduces the formation of free radicals due to its antioxidant properties.

**Keywords:**  $CrCl_3$ , GSH-Px, GSH-Rd, *Saccharomyces cerevisiae*, SOD

\*a Ebru ÇÖTELİ; e.coteli@ahievran.edu.tr, Tel:+9(0386)2802224, orcid.org/0000-0002-9473-0914

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-0884-027X

## 1. Giriş

Mayalar mantarlar âleminde yer almakta olup yaklaşık 1500 türünün olduğu bildirilmektedir (Barnett vd., 2000; Boekhout vd., 2003). Mayaların hücre yapılarının büyük oranda proteinler, polisakaritler, lipitler, nükleik asitlerden ve inorganik maddelerden oluştuğu bildirilmektedir. Maya hücre zarı genellikle protein, lipit ve fosfat yapıdadır (Walker, 2000; Öcal, 2008; Öztürk, 2003). En iyi tanınan maya ekmek veya bira mayası olarak adlandırılan *Saccharomyces cerevisiae*' dir (Barnett, 1992). Gıda, içecek, özellikle şarap ve biyoyakıt üretim endüstrileri *S. cerevisiae*' nin kullanıldığı alanlardır (Maria vd., 2020). Mayalar en fazla alkol üretimi, ekmek yapımında, turşuların yapımında, vitaminler, gliserol, lipidlerin ve proteinlerin üretiminde kullanılmaktadır (Jakobsen ve Norvhus, 1996; Hierro vd., 2004). Ayrıca gıda, kimya, ilaç ve zirai alanlarda da kullanılmaktadır (Hierro vd., 2004; Kahvecioğlu vd., 2004). *S. cerevisiae*' nin zengin bir folat kaynağı olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Patring vd., 2005). Son zamanlarda *S. cerevisiae* ve *S. boulardii* mayaları insan ve hayvanlarda probiyotik olarak kullanılmıştır (Blanguet vd., 2001; Saegusa vd., 2004). Günümüzde mayalardan tıp alanında da yararlanılmaktadır. Özellikle mikrobiyoloji, moleküler genetik gibi birçok ana bilim dalında kullanılan organizmalar arasındadır. Ayrıca *Clostridium difficile* bakterisinin yol açtığı kalın bağırsak iltihabı olan kolit hastalığının tedavisinde *S. cerevisiae*' nin probiyotik olarak katkı sağladığı bildirilmiştir (Yağmur, 2006). Mikroorganizmaların kullanılarak zararlı maddeleri temizleme işlemi çalışmalarında da mayalar kullanılmaktadır. Özellikle toksik ağır metal giderimi bunlardan birisidir (Zouboulis ve Katsoyannis, 2004).

Günümüzde biyoteknolojik çalışmalarda mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Özellikle maya *S. cerevisiae*' nin metal biyosorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak günümüze kadar yapılan çalışmalar, ağır metallerin maya antioksidan enzim sistemleri üzerindeki toksik etkilerini tam olarak açıklayamamıştır. Bu çalışma ile maya mikroorganizmasının gelişme ortamına değişik konsantrasyonlarda ilave edilen krom metalinin toksik etkisi ve bu toksik etkinin tolere edilmesinde C vitamininin rolünün araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla maya *S. cerevisiae* örneklerinin hücre sayıları, total protein miktarları ve antioksidan enzimleri (glutasyon peroksidaz, glutasyon redüktaz, ve süperoksit dismutaz) gibi

biyokimyasal parametrelerinin etkilenme dereceleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Biyokütlenin üretimi

Krom ( $Cr^{+3}$ )' un toksik etkisini araştırmak üzere maya *S. cerevisiae* kullanılmıştır. *S. cerevisiae* mikroorganizması Pakmaya A.Ş.' den temin edilmiştir. Mayaların geliştirilmesinde Malt Extract Broth (Malt extract 17.0 g/L+ Mycological peptone 3.0 g/L, pH:5.4±0.2) sıvı besiyeri, mayaların ekim ve sayım işlemi için Malt Extract Agar (Malt extract 30.0 g/L + Mycological peptone 5.0 g/L + Agar No. 2 15.0 g/L, pH: 5.4±0.2) tercih edilmiştir. Besiyeri bileşimindeki maddeler distile suda çözüldükten sonra otoklavda 121 °C' de 15 dk süreyle steril edilmiştir. Çalışma süresince *S. cerevisiae* mikroorganizmasını içeren kuru maya örneği +4 °C' de saklanmıştır. Bütün kültürler 30°C' de çalkalamalı etüvde (Gerhardt-Laboshake) 150 rpm' de inkübe edilmiştir (Korhan vd., 2012). Maya örneğinden 200 mg tartılarak 10 mL Malt Extract Broth içeren tüpe ekim yapılmıştır. 30°C' de 24 saat bekletilerek ön zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Zenginleştirilmiş maya örneğinden 1 mL alınarak 100 mL MEB içeren erlene aşılama yapılmış ve etüvde 30 °C' de 12 saat inkübasyona bırakılmıştır (Çabuk vd., 2007).

### 2.2. Çalışma prosedürlerinin belirlenmesi

#### 2.2.1. Deneyde kullanılan çözeltilerin hazırlanması

- *Cr<sup>+3</sup> çözeltisinin hazırlanması:*  $CrCl_3 \cdot 6H_2O$  (Merck) tuzundan 200 µg/mL stok  $Cr^{+3}$  çözeltisi hazırlanmıştır.
- *C vitamini çözeltisinin hazırlanması:* C vitamini standardından (Merck) 200 µg/mL stok C vitamini çözeltisi hazırlanmıştır.
- *Lizozom enziminin hazırlanması:* 46400 Unite/mg Lizozom enzim standartından (Sigma) 20 mg tartılmış pH' ı 7.38 olarak hazırlanan fosfat tamponundan 1.5 mL eklenerek enzimin iyice çözünmesi sağlanmıştır. Maya mikroorganizmasının parçalanmasında bu enzim kullanılmıştır.

#### 2.2.2. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygun pH' in belirlenmesi

Metal-mikroorganizma biyosorpsiyon prosesinde pH en önemli faktördür. Yapılan literatür

çalışmalarında pH değeri düşük çözeltilerde, ortamda bulunan fazla miktardaki protonlar ile metal iyonları yarışmaktadır. Böylece hücre-metal etkileşimi de azalmaktadır. Ancak ortamın pH değeri arttıkça metal iyonları daha fazla bağlanmaktadır. Ortam pH değerinin giderek artmasıyla ortamdaki OH<sup>-</sup> iyon konsantrasyonu da artacağından dolayı metal iyonlarının çöktüğü bildirilmiştir (Çabuk vd., 2007). Literatürde *S. cerevisiae* mayasının optimum çoğalma pH değerinin 3 ile 7 arasında olduğu belirlenmiştir (Bailey ve Ollis, 1986). Çalışmamızdaki uygun pH değerini belirlemek için; beş erlene maya kültürümüzden aynı miktarda alınarak, stok 10 ppm Cr<sup>+3</sup> çözeltisinden aynı miktarlarda kültür örneklerine eklenmiştir. Örneklerin pH'ları 3, 4, 5, 6, 7 olacak şekilde 1 M HCl ve 1M NaOH çözeltileri ile ayarlanmıştır. Örnekler 30 °C'deki çalkalamalı etüvde 12, 24 ve 36. saat boyunca bekletilmiştir. Bu saatlerdeki kültürlerin canlılık oranları (cfu/mL) belirlenmiştir.

### 2.2.3. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygun Cr+3 dozlarının belirlenmesi (LD50)

Stok krom (III) çözeltisi CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (Alfa Aesar) tuzundan hazırlanmıştır. *S. cerevisiae*' da kromun toksik etkisini araştırmak için; aynı miktar maya örneklerine 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm stok Cr<sup>+3</sup> çözeltilerinden aynı miktarda eklenmiştir. Bütün örneklerin pH' ı 4.0'e ayarlanarak 30°C'deki çalkalamalı etüve bırakılmıştır. Başlangıç kültür numunesi ile değişik konsantrasyonlarda Cr<sup>+3</sup> eklenen numunelerin 12, 24 ve 36. saatteki canlılık oranlarının (cfu/mL) nasıl değiştiği araştırılmıştır.

### 2.2.4. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygulanacak C vitamini dozlarının belirlenmesi

200 ppm C vitamini stok çözeltisi C vitamini standardından (Merck) hazırlanmıştır. Çalışmamızda 10 ve 40 µg/mL krom (Cr+3) dozuna maruz bırakılan maya örneklerimizin bazılarında 10, 15 ve 20 µg/mL konsantrasyonlarda C vitamini eklenmiştir.

### 2.2.5. Deney düzeneğinin hazırlanması

Saf olarak üretilen maya örnekleri dokuz gruba ayrılmıştır.

*Grup 1* = maya örneği + su

*Grup 2* = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+su,

*Grup 3* = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+10 µg/mL C vitamini+su,

*Grup 4* = maya örneği+10 µg/mL krom III klorür tuzu +15 µg/mL C vitamini+su,

*Grup 5* = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+20 µg/mL C vitamini+su,

*Grup 6* = maya örneği +40 µg/mL krom III klorür tuzu + su,

*Grup 7* = maya örneği +40 µg/mL krom III klorür tuzu+10 µg/mL C vitamini+su,

*Grup 8* = maya örneği+40 µg/mL krom III klorür tuzu+15 µg/mL C vitamini+su,

*Grup 9* = maya örneği+40 µg/mL krom III klorür tuzu+20 µg/mL C vitamini+su

katılarak numuneler hazırlanmıştır. Toplam 120 mL örnek hazırlamak için; 10 µg/mL Cr<sup>+3</sup> uygulanacak gruplara (6 mL), 40 µg/mL Cr<sup>+3</sup> uygulanacak gruplara (24 mL) stok Cr<sup>+3</sup> çözeltisinden eklenmiştir. Ayrıca 10 µg/mL C vitamini uygulanacak gruplara (6 mL), 15 µg/mL C vitamini için (9 mL), 20 µg/mL C vitamini için (12 mL) stok C vitamini çözeltisinden ilave edilmiştir. Bütün numuneler pH=4' e ayarlanmıştır.

### 2.2.6. Ham özüt hazırlanması

Sıvı besi ortamındaki hücrelerden ham özüt hazırlanmıştır (Jakubowski ve Bartosz, 2000). Kontrol grubu ve Cr<sup>+3</sup> uygulanmış deney grubundaki hücreler, 4500 rpm' de 20 dakika santrifüj edilerek çöktürülmüştür. Hücre çökeltisi steril saf su ile 2 kez yıkanmıştır. Daha sonra pH' ı 7.38 olan fosfat tamponuyla sulandırılmış Lizozom enziminden hücre çökeltisine birkaç damla eklenerek 5 dk vortekslenmiştir. 1.5 mL deiyonize su ile süspanse edilerek her bir örnek üzerine asit ile yıkanmış 1.0 g cam boncuk (0.25- 0.30 mm çapında) ile mekanik parçalama işlemi yapılmıştır. Santrifüjlenen örneklerin üst sıvılarından 1'er mL alınarak numune tüplerine aktarılmıştır. Elde edilen ham özütler deneylerde kullanılmak üzere - 20 °C'da saklanmıştır.

### 2.2.7. Ham özütteki total protein derişiminin tayini

Total protein derişimi tayin metodu; proteinlerin alkali bakır sülfat ilavesiyle, fosfotungstik asit ile mavi renkli kompleks oluşturması esasına dayanmaktadır. Oluşan bu renkli bileşiğin spektrofotometrede 750 nm dalga boyunda absorbansı ölçülerek kantitatif olarak protein miktarı belirlenmiştir (Lowry vd., 1951). Standart olarak sığır serum albumin (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.



### 2.2.8. Glutasyon peroksidaz (GSH-Px) analiz yöntemi

Glutasyon peroksidaz enzimi (GSH-Px)  $H_2O_2$  varlığında indirgenmiş glutayonun (GSH) yükseltgenmiş glutatyona (GSSG) yükseltgenmesini kataliz etmektedir.  $H_2O_2$ ' in bulunduğu ortamda GSH-Px'in oluşturduğu GSSG, GSH-Rd ve NADPH yardımıyla tekrar GSH' a indirgenmektedir. GSH-Px aktivitesi NADPH' ın  $NADP^{+}$  ye yükseltgenmesi sırasındaki absorbans farkının 340 nm' de okunmasıyla ölçülmektedir (Paglia ve Valetine, 1967).

### 2.2.9. Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) analiz yöntemi

Glutasyon redüktaz GSSG' nin NADPH tarafından GSH' a indirgenmesini katalize etmektedir. Enzim aktivitesi, tepkime sırasında yükseltgenen NADPH' ın 37 °C de 340 nm dalga boyundaki absorbans farkı ile belirlenmektedir (Beutler, 1984).

### 2.2.10. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin tayini

SOD, oksidatif enerji üretimi sırasında oluşan toksik süperoksit radikallerinin ( $O_2^{\cdot-}$ ) hidrojen

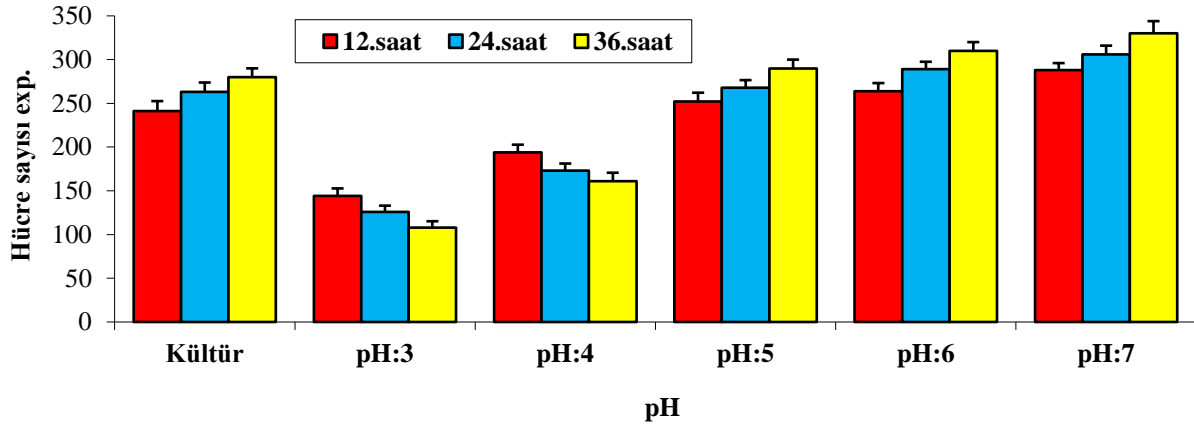
peroksit ve moleküler oksijene dismutasyonunu hızlandırır. Bu yöntem, ksantin ve ksantin oksidaz (XOD) kullanılarak oluşturulan süperoksit radikallerinin, nitro blue tetrazolium (N.B.T) ile meydana getirdiği mavi renkli formazan boyasının 560 nm dalga boyunda verdiği optik dansitenin (OD) okunması esasına dayanmaktadır (Sun vd., 1988).

### 2.2.11. İstatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada incelenen her bir grup için tekrar sayısı (n) = 3 olacak şekilde analiz edilmiştir. Çalışmadaki sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir. Deneysel sonuçlar SPSS 17.0 istatistiksel bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde One-Sample T testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak belirlenmiştir.

## 3. Bulgular

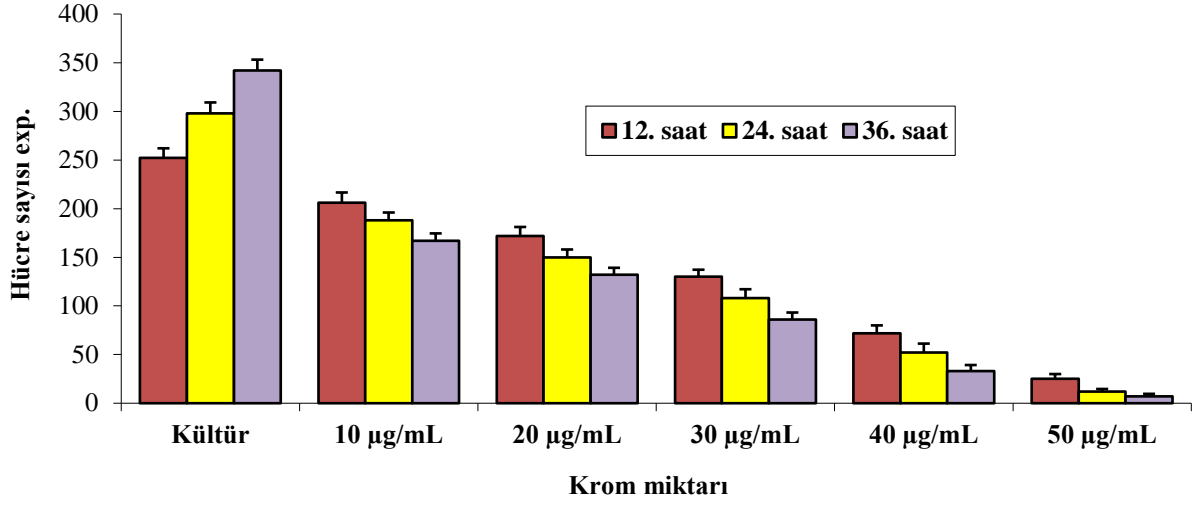
Başta başlangıç kültürü olmak üzere pH' ı 3-7 civarında ayarlanmış *S. cerevisiae* örneklerinin 12, 24. ve 36. saatteki hücre sayıları (cfu/mL) incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. *S. cerevisiae* ile krom etkileşiminde uygun pH' ın belirlenmesi (Grafikteki hücre sayıları  $10^6$  ile çarpılmalıdır).

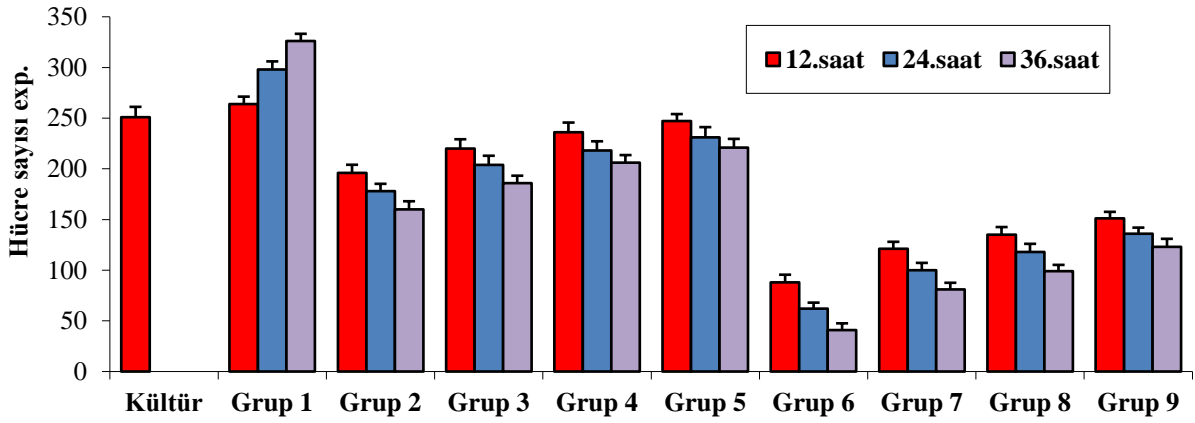
Metal-mikroorganizma etkileşiminde diğer bir faktör de uygun (LD50) krom (III) dozlarının belirlenmesidir. Bu amaçla 10-50  $\mu\text{g/mL}$  konsantrasyonlardaki krom çözeltileri ile maya

mikroorganizmasının pH 4' teki toksik etkileşimi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 2' de gösterilmektedir.



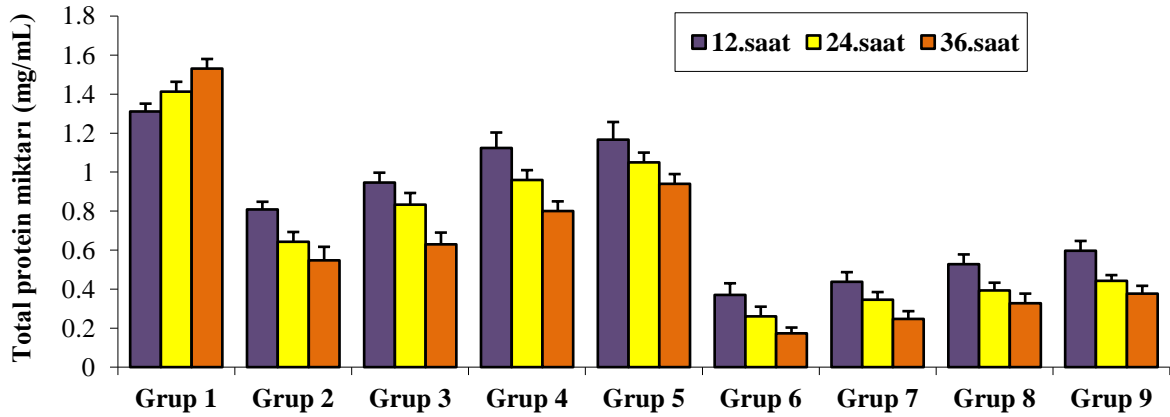
Şekil 2. *S. cerevisiae* 'ya uygulanacak uygun krom dozlarının belirlenmesi (Grafikteki hücre sayıları  $10^6$  ile çarpılmalıdır).

Dokuz farklı gruba ayrılmış maya örneklerinin 12, 24 ve 36. saatlerdeki hücre sayıları Şekil 3' de gösterilmektedir.



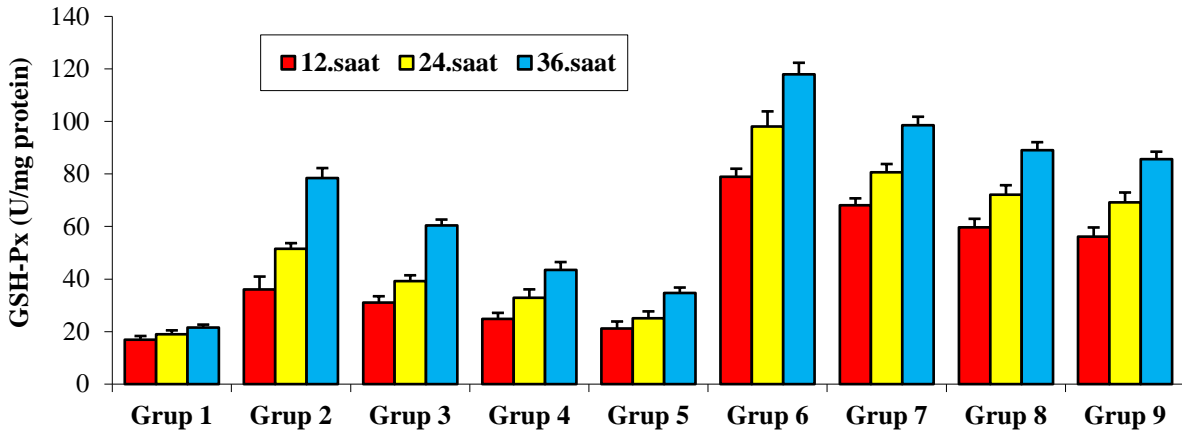
Şekil 3. Antioksidan enzimler ile total protein analizlerinin incelendiği kültürlerdeki hücre sayıları (cfu/mL) (Grafikteki hücre sayıları  $10^6$  ile çarpılmalıdır).

Dokuz farklı gruba ayrılmış maya kültürlerinin total protein miktarlarının analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 4' de gösterilmiştir.



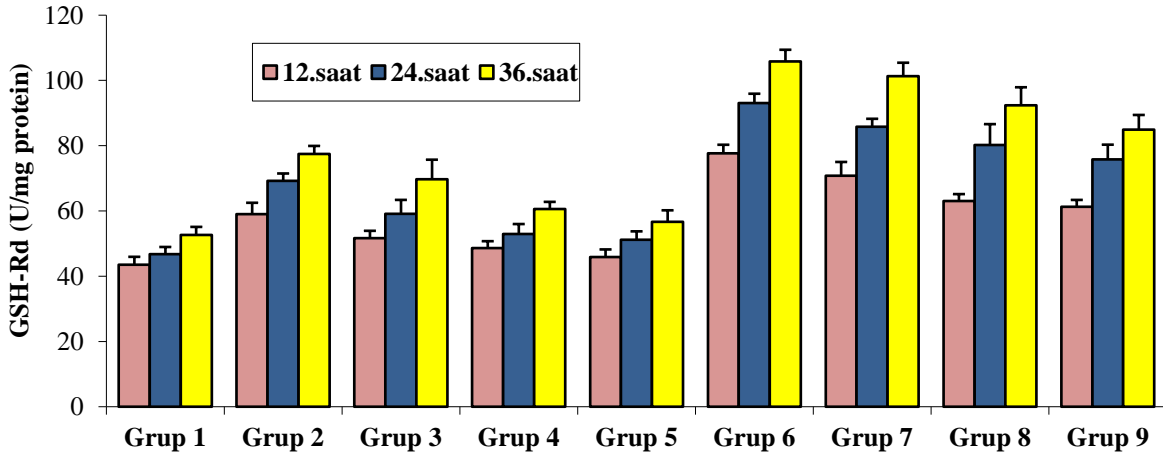
Şekil 4. Örneklerin 12, 24 ve 36. saatteki total protein miktarları

İki farklı dozda krom uygulanan *S. cerevisiae* örneklerine üç farklı dozda C vitamini çözeltilerinin katılmasıyla, mayaların GSH-Px enzim aktivite miktarları Şekil 5’ de gösterilmiştir.



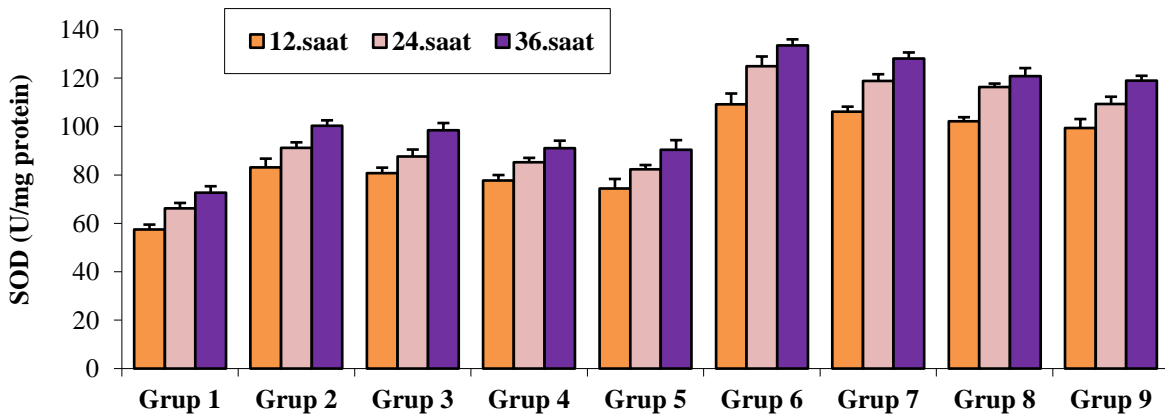
Şekil 5. Örneklerin 12, 24 ve 36. saatteki GSH-Px enzimi aktivite değerleri

Maya örneklerindeki GSH-Rd enzim aktivite miktarları Şekil 6’ da gösterilmiştir.



Şekil 6. Örneklerin 12, 24 ve 36. saatteki GSH-Rd enzimi aktivite değerleri

Maya örneklerinin SOD enzim aktivite miktarları da Şekil 7’ de gösterilmiştir.



Şekil 7. Örneklerin 12, 24 ve 36. saatteki SOD enzimi aktivite değerleri

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Krom canlılar için gerekli eser elementlerden biri olup, fazla miktarlarda alındığında toksik olabilir (Piotrowska vd., 2008; Yang ve Chen, 2007). Kromdan etkilenen diğer bir canlı grubu mikroorganizmalardır. Oksidatif stresin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla oksidasyon-antioksidasyon mekanizmalarını aydınlatma ve çözümler üretmeye yönelik pek çok araştırma yürütülmektedir. Özellikle başta insan olmak üzere, çeşitli canlı sistemlerinde bu mekanizmalar çok önemlidir. Maya hücreleri ile memeli hücreleri büyük oranda benzerdirler (Costa ve Moradas-Ferreira, 2001). Bu sebeple oksidatif stresin yol açtığı yaşlanma (Droge, 2003), apoptosis (Mandavilli vd., 2002) ve çeşitli hastalıkları (Davies vd., 1999), aydınlatma çalışmalarında önemlidir. Maya mikroorganizmasının stresinin; metabolizma sırasındaki kimyasal stres, üreme ortamında bulunan bileşiklerin etkileri veya mayalar tarafından üretilen toksik metabolitlerden kaynaklandığı bildirilmektedir (Walker, 1998).

Bu çalışmada maya mikroorganizmasının üstel fazındaki çoğalması esnasında alınan kültürler kullanılmıştır. Canlı hücre sayısının maksimum seviyede olduğu bu evrede, krom-maya etkileşiminin araştırılması amaçlanmıştır. *S. cerevisiae* ile krom (III) toksik etkileşiminin pH 5, 6 ve 7' de olmadığı, pH 3' de ise etkileşimin fazla derecede olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada biyokimyasal parametrelerin ölçülebilmesi için; krom metali ile maya mikroorganizmasının pH 4' teki toksik etkileşiminin incelenmesine karar verilmiştir. Metal-mikroorganizma etkileşiminde diğer bir faktör de ise uygun krom (III) dozlarının tespit edilmesidir. 50 µg/mL konsantrasyondaki kromun lethal doz olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple çalışmada 10 ve 40 µg/mL olmak üzere iki farklı krom dozlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada, mikroorganizma *S. cerevisiae*' nin çoğalma ortamlarına 10 ve 40 µg/mL gibi farklı iki krom dozu ile 10, 15 ve 20 µg/mL olmak üzere üç farklı dozda C vitamini eklenerek pH 4' te çalışma prosedürü hazırlanılarak (Şekil 1 ve 2), çalışmadaki biyokimyasal parametreler araştırılmıştır.

Dokuz farklı gruba ayrılmış maya örneklerinin 12, 24 ve 36. saatlerdeki hücre sayıları incelendiğinde, kontrol grubuna göre, kromun iki farklı dozunun (10 ve 40 µg/mL) uygulandığı maya örneklerinin hücre sayılarında azalmalar ( $p<0.005$ ) gözlenmiştir. Fakat ortama farklı dozlarda C vitamini eklenmesiyle doza bağlı olarak hücre sayısının da arttığı ( $p<0.005$ ) belirlenmiştir. Ayrıca

kontrol grubunda zamana bağlı olarak maya hücre sayısında artış ( $p<0.005$ ) gözlenmiş iken, diğer gruplarda zamana bağlı olarak azalmaların ( $p<0.05$ ) olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).  $H_2O_2$  ile stres oluşturulmuş *Schizosaccharomyces pombe* mayasında yapılan çalışmada *S. pombe* hücrelerinde canlılık oranlarının,  $H_2O_2$  derişimi ile ters orantılı olarak değiştiği rapor edilmiştir (Pekmez, 2004). Yine  $H_2O_2$  ile stres oluşturulmuş *S. pombe* kültürlerinde bazı guruplara E vitamini analogu olan Trolox verilmiş, trolox verilen kültürlerin canlı hücre sayılarında artışların olduğu bildirilmiştir. Trolox'un  $H_2O_2$  stresini önlediği belirtilmiştir (Hamad, 2007). Bulgularımızın literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Kültürlerin total protein miktarları karşılaştırıldığında; kontrol grubunda zamana bağlı olarak protein miktarlarında artış ( $p<0.005$ ) gözlenirken, diğer gruplarda zamana bağlı olarak azalmalar ( $p<0.05$ ) saptanmıştır. Ayrıca kromun her iki dozunda ortama katılan C vitamini miktarına bağlı olarak protein miktarlarında da artışların olduğu ( $p<0.05$ ) belirlenmiştir (Şekil 4). Yapılan bir çalışmada, *S. cerevisiae*'de oksidatif stresin spesifik olarak protein hasarına neden olduğu bildirilmiştir (Cabiscol vd., 2000). Diğer bir maya türü olan *Schizosaccharomyces pombe*'de  $H_2O_2$  ile stres oluşturulmuş gruplar ile kontrol grubunun total protein değerleri karşılaştırılmış ve stres oluşturulan grupların total protein değerlerinin kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır (Pekmez, 2004). Ayrıca *Schizosaccharomyces pombe*'de yapılan diğer bir çalışmada,  $H_2O_2$  ile stres oluşturulmuş grupların bazılarında Trolox eklenmiş ve total protein değerleri karşılaştırılmıştır. Trolox verilen gruplarda total protein değerlerinin kontrol grubuna göre daha az düştüğü bildirilmiştir (Hamad, 2007). Mikroorganizma hücre sayısının arttığı kültürlerde, protein miktarının fazla olduğu rapor edilmiştir (Jianlong vd., 2004). Bu literatürlerle bulgularımızın uyum içinde olduğu belirlenmiştir.

Antioksidanlar hücrelere zarar veren serbest radikalleri ve reaktif oksijen türlerinin neden oldukları hasarı hücre içi ve hücre dışı savunma ile etkisiz hale getirirler. Hücre içi savunma glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz ve süperoksit dismutaz vb. enzimler tarafından sağlanır (Heves, 2008). Antioksidan enzimlerin başında GSH-Px gelir. Hidrojen peroksidin yüksek konsantrasyonlarının ve büyük molekülü lipit hidroperoksitlerinin indirgenmesinde görev yapar (Szaleczky vd., 1999). Bu çalışmada kontrol grubunda zamana bağlı olarak GSH-Px enzim

aktivite miktarlarında artışların olduğu ( $p<0.005$ ) gözlenirken, diğer grupların hepsinde de zamana bağlı olarak enzim aktivite miktarlarında artışların olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu artışların kontrol grubundan daha fazla olduğu ( $p<0.05$ ) belirlenmiştir. Krom dozunun artışına bağlı olarak gruplarda GSH-Px enzim aktivite miktarlarında artışlar ( $p<0.05$ ) belirlenirken, artan C vitamini dozuna karşılık enzim aktivite miktarlarında düşüşlerin ( $p<0.05$ ) olduğu görülmüştür (Şekil 5). *S. cerevisiae*' da  $CCl_4$ ' ün yol açtığı hücre hasarına *Pistacia vera* L.' nin koruyucu etkileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada  $CCl_4$ ' ün uygulandığı gruptaki GSH-Px enzim miktarının, kontrol grubu enzim miktarından düşük olduğu, *Pistacia vera* L. verilen gruplarda bu düşüşlerin daha az olduğu bildirilmiştir (Gokce, 2021). Bu çalışmada krom stresine maruz bırakılan *S. cerevisiae*' nin GSH-Px enzim aktivite miktarlarında artışlar gözlenmiştir. *S. cerevisiae* mikroorganizmasının farklı stres koşullarda, farklı antioksidan cevaplar verdiği sonucuna varılmıştır.

GSH-Rd enzimi, GSH-Px enzimi ile birlikte glutasyon redoks döngüsünde hidroperoksitlerin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Sorg, 2004). Kontrol grubunda zamana bağlı olarak GSH-Rd enzim aktivite miktarlarında artışlar ( $p<0.005$ ) gözlenirken, diğer grupların tümünde zamana bağlı olarak enzim aktivite miktarlarında artışların olduğu ( $p<0.05$ ) tespit edilmiştir. Kontrol grubunun dışındaki gruplarda artışların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kromun doz artışına bağlı olarak, gruplardaki GSH-Rd enzim aktivite miktarlarında artmalar ( $p<0.005$ ) olurken, C vitamini doz artışına bağlı olarak GSH-Rd enzim aktivite miktarlarında azalmaların ( $p<0.005$ ) olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Akvaryum sularına 1 ve 10 mg/L dozunda Cr (III) ilave edilerek akvaryum balıklarının beyinlerinde yapılan bir çalışmada, kromun dozuna bağlı olarak GSH-Rd enzim aktivite miktarlarında düşüşlerin olduğu bildirilmiştir (Lushchak vd., 2009). Ayrıca çeşitli dozlarda Dietilditiokarbamat (DDC) maddesine maruz bırakılan *S. cerevisiae* hücrelerinin GSH-Rd enzim aktivite miktarının doz miktarına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Lushchak vd., 2005). Bulgularımızın Dietilditiokarbamat (DDC) maddesine maruz bırakılan *S. cerevisiae* hücrelerinin yapıldığı bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Süperoksit Dismutaz (SOD) enzimi, molekül ağırlığı 17-85 k DA aralığında olan, süperoksit radikallerinin dismutasyonunu sağlayarak moleküler oksijen ve  $H_2O_2$ ' e katalize eden metalloenzimdir. SOD enzimi oksijeni metabolize

eden tüm hücrelerde bulunur ve aerobik organizmaları süperoksitin zararlı etkisine karşı koruma ve oksijen toksisitesini önlemede etkin olduğu bildirilmiştir (Sheng vd., 2004). Kontrol grubunda zamana bağlı olarak SOD enzim aktivite miktarlarında artışlar ( $p<0.005$ ) gözlenirken, diğer grupların tümünde zamana bağlı olarak enzim aktivite miktarlarında artmaların ( $p<0.005$ ) olduğu tespit edilmiştir. Krom dozunun artışına bağlı olarak grupların SOD enzim aktivite miktarlarında artmalar ( $p<0.005$ ), artan C vitamini dozuna karşılık SOD enzim aktivite miktarlarında ise azalmaların ( $p<0.005$ ) olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). İyonize radyasyon uygulanmış *S. cerevisiae* hücrelerinde SOD enziminin koruyucu etkileri araştırılmıştır. İyonize radyasyon uygulanmış yabani tip ve SOD geni delesyonlu suşlar arasında karşılaştırmalar yapılmış ve canlılık oranları ile protein karbonil düzeyleri arasında belirgin farklılıklar gözlenmiştir (Lee vd., 2001). *S. cerevisiae*'da CuZn-SOD enzimi eksikliğinin replikasyon ömrünün kısalmasına yol açtığı ve mayaya askorbat eklenmesiyle mayanın replikasyon ömrünün arttığı bildirilmiştir. Askorbatın bu görevi CuZn-SOD enzim aktivite miktarını arttırarak gerçekleştirdiği rapor edilmiştir (Wawryn vd., 1999; Swiecilo vd., 2000; Wawryn vd., 2002). Ayrıca *S. cerevisiae* hücreleri hiperosmotik basınca ve 0.2 mM  $H_2O_2$  dozuna maruz bırakılmış, her iki koşulda da SOD enzimi aktivite miktarlarının kontrol grubuna göre arttığı bildirilmiştir (Lu vd., 2005). Yine Mn, Cd, Fe ve Mg metallerinin *S. cerevisiae* mayasındaki antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri incelenmiş ve kontrol grubu ile bu metalleri içeren grupların SOD enzim aktivite miktarları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda bu metalleri ihtiva eden grupların SOD enzim aktivite miktarlarında artışların olduğu ve özellikle Cd ile muamele edilen gruplarda bu artışların daha fazla olduğu bildirilmiştir (Kireççi, 2018). Bulgularımızın belirtilmiş olan literatürlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda memeli hücreleri gibi ökaryotik bir canlı olan *S. cerevisiae*' da kromun yol açtığı oksidatif strese karşı antioksidan cevap ile bu cevaba antioksidan özelliği bilinen C vitamininin etkisi araştırılmıştır. Sonuçta; kromun artan dozuna karşı maya örneklerinin hücre sayıları ile total protein miktarları azalırken, GSH-Px, GSH-Rd ve SOD enzim aktivite miktarlarında ise artışlar gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda kromun *S. cerevisiae*' da oksidatif strese yol açtığı, maya metabolizmasını değişikliğe uğrattığı ve ortama ilave edilen C vitamininin ise etkin bir süpürücü ve koruyucu olarak görev yaptığı tespit edilmiştir.

Ökaryotik bir canlı olan *S. cerevisiae* ile yapılan bu tarz çalışmaların; memeli hücrelerindeki redoks dengelerinin aydınlatılması ve literatür bilgisine katkılar sağlanması açısından faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

## Teşekkür

Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (FÜBAP) tarafından FF 11.01 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

## Kaynaklar

Bailey, J.E. and Ollis, D.F. (1986). Biochemical engineering fundamentals. 2nd Edition, Mc Graw Hill. Singapore.

Barnett, J.A. (1992). The taxonomy of the genus *Saccharomyces* Meyen ex Reess: A short review for nontaxonomists. *Yeast*, 81, 1-23.

Barnett, J.A., Payne, R.W. and Yarrow, D. (2000). *Yeasts: characteristics and identification*, 3th Ed., Cambridge University Press, Cambridge p. 1139.

Beutler, E. (1984). Red cell metabolism. A manual of biochemical methods. 3th Ed. Grune & Stratton Orlando.72-73, 7475, 105-106. ed, USA.

Blanguet, S., Marul-Bonin, S., Beyssac, E., Pompon, D., Renaud, M. and Alric M. (2001). The 'biodrug' concept: on innovative approach to therapy. *Trends in Biotechnology*, 19 (10), 393-400.

Boekhout, T., Robert, V. and Phaff, H., (2003). *Yeast in food: beneficial and detrimental aspects*. CRC Pres: Boca Raton,69-121.

Cabiscol, E., Puilats, E., Echave, P., Herrero, E. and Ros, J. (2000). Oxidative stress promotes specific protein damage in *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biological Chemistry*, 275 (35), 27393-27398.

Costa, V. and Moradas-Ferreira, P. (2001). Oxidative stress and signal transduction in *Saccharomyces cerevisiae*: insights into ageing, apoptosis and diseases. *Molecular Aspects of Medicine*, 22, 217-246.

Croce, C.D., Bronzetti, G., Cini, M., Caltavuturo, L. and Po1, G. (2003). Protective effect of lipoic acid against hydrogen peroxide in yeast cells. *Toxicology in Vitro*, 17, 753- 759.

Çabuk, A., Akar, T., Kotluk, Z. ve Şaşmaz, S. (2007). *Saccharomyces cerevisiae* hücreleri ile ağır metal giderimi ve metal toleransı. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 05-3:1-7.

Davies, M.J., Fu, S., Wang, H. and Dean, R.T. (1999). Stable markers of oxidant damage to proteins and their application in the study of human disease. *Free Radical Biology and Medicine*, 27(11-12), 1151-1163.

Droge, W. (2003). Oxidative stress and aging. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 543, 191-200.

Gokce, Z. (2020). The protective effect of *pistacia vera* L. (Pistachio) against to carbon tetrachloride (CCl4)-induced damage in *saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, 22, 4. <https://doi.org/10.23751/pn.v22i4.9901>

Hamad, İ. (2007). Oksidatif stres uygulanmış *Schizosaccharomyces pombe*'de protein oksidasyonuna karşı doğal antioksidanların koruyucu etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Heves, M.D. (2008). Akyıldız (*Ornithogalum sigmoideum* Freyn Et Sint.)'in antioksidan aktivitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hierro, N., Gonzalez, A., Mas, A. and Guillamon, J.M. (2004). New PCR based methods for yeast identification. *Journal of Applied Microbiology*, 97, 792-801. <https://doi.org/10.1111/j.13652672.2004.02369.x>

Jakobsen, M. and Norvhus, J. (1996). Yeast and their possible beneficial and p. negative effects on the quality of dairy products. *International Dairy Journal*, 6, 755-768.

Jakubowski, W. and Bartosz, G. (2000). 2,7-Dichlorofluorescein oxidation and reactive oxygen species: what does it measure?. *Cell Biology International*, 24 (10): 757-760. <https://doi.org/10.1006/cbir.2000.0556>.

Jianlong, W., Zeyu, M. and Xuan, Z. (2004). Response of *Saccharomyces cerevisiae* to chromium stres. *Process Biochemistry*, 39, 1231-1235.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2004). Metallerin çevresel etkileri I-II, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (Seminer çalışması 24s).

Kireççi, O.A. (2018). Mn, Cd, Fe ve Mg metallerinin *Saccharomyces cerevisiae* mayasında antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 520-528. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.359165>

Korhan, H., Halipçi, H.N., Kertmen, M. ve Dığrak, M. (2012). *Saccharomyces cerevisiae* biyokütlesi ile remazol navy blue boyar maddesinin



- biyosorpsiyonu. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 15 (3).
- Lee, J.H., Choi, I.Y., Kıl, I.S., Kim, S.Y., Yang, E.S. and Park, J.W. (2001). Protective role of superoxide dismutases against ionizing radiation in yeast. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1526, 191-198. [https://doi.org/10.1016/s0304-4165\(01\)00126-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4165(01)00126-x)
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193 (1), 265-275.
- Lu, F., Wang, Y., Bai, D. and Du, L. (2005). Adaptive response of *Saccharomyces cerevisiae* to hyperosmotic and oxidative stress. *Process Biochemistry*, 40, 3614–3618. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.061>
- Lushchak, V., Semchyshyn, H., Lushchak, O. and Mandryk, S. (2005). Diethyldithiocarbamate inhibits in vivo Cu, Zn superoxide dismutase and perturbs free radical processes in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 338 (4), 1739–1744. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.10.147>
- Lushchak, O.V., Kubrak, O.L., Torous, I.M., Nazarchuk, T.Y., Storey, K.B. and Lushchak, V.I. (2009). Trivalent chromium induces oxidative stress in goldfish brain. *Chemosphere*, 75 (1), 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.052>
- Mandavilli, B.S., Santos, J.H. and Van Houten, B. (2002). Mitochondrial DNA repair and aging. *Mutation Research*, 509 (1-2), 127-151. [https://doi.org/10.1016/s0027-5107\(02\)00220-8](https://doi.org/10.1016/s0027-5107(02)00220-8)
- Öcal, E. (2008). *Saccharomyces cerevisiae* 4 ve *Saccharomyces cerevisiae* 2S1 TP (3-2) suşlarının ağır metal dirençlilikleri ve hücresel total protein miktarlarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, H. (2003). In-vitro-studien zum Einfluss von topinamburmehl und *Saccharomyces boulardii* auf den mikrobiellen vorgagenstoffwechsel. Diss, Tierärztliche Hochschule Hannover, Germany, 91.
- Paglia D.E. and Valetine, W.N. (1967). Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 70,158-169.
- Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A.S. and Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*, 6 (1), 1-31. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2020001>
- Patring, J.D., Jastrebova, J.A., Hjortmo, S.B., Andlid, T.A. and Jägerstad, I.M. (2005). Development of a simplified method for the determination of folates in baker's yeast by HPLC with ultraviolet and fluorescence detection. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53, 2406–2411.
- Pekmez, M., (2004). Oksidatif stres uygulanmış *Schizosaccharomyces pombe*'de moleküler çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Piotrowska, A., Mlyni, K., Siwek, A., Dybala, M., Opoka, W., Poleszak, E. and Nowak, G. (2008). Antidepressant like effect of chromium chloride in the mouse forced swim test: involvement of glutamatergic and serotonergic receptors. *Pharmacological Reports*, 60 (6), 991–995.
- Saegusa, S., Totsuka, M., Kaminogawa, S. and Hasai, T. (2004). *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae* induce interleukin-8 production from intestinal epithelial-like caco-2 cells in the presence of butyric acid. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 41, 227-235.
- Sheng, L., Zheng, X., Tong, H., Liu, S., Du, J. and Liu, Q. (2004). Purification and characterization of cytosolic isoenzyme III of Cu, Zn- Superoxide dismutase from tobacco leaves. *Plant Science*, 167 (6), 1235-1241.
- Sun, Y., Oberley, L.W. and Li, Y. (1988). A simple method for clinical assay of Superoxide Dismutase. *Clinical Chemistry*, 34(3), 497–500.
- Swiecilo, A., Krawiec, Z., Wawryn, J., Bartosz, G. and Bilinski, T. (2000). Effect of stress on the life span of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Acta Biochimica Polonica*, 47 (2), 355–364.
- Szaleczky, E., Prechl, J., Fehér, J. and Somogyi, A. (1999). Alterations in enzymatic antioxidant defence in diabetes mellitus-a rational approach. *Postgraduate Medical Journal*, 75 (879), 13-17. <https://doi.org/10.1136/pgmj.75.879.13>
- Walker, G.M. (1998). *Yeast Physiology and Biotechnology*, John Wiley & Sons, England, 0-471-964468.
- Walker, G.M. (2000). *Yeast physiology and biotechnology*, Wiley and Sons, England.
- Wawryn, J., Krzepilko, A., Myszk, A. and Bilinski, T. (1999). Deficiency in superoxide dismutases shortens life span of yeast cells. *Acta Biochimica Polonica*, 46 (2), 249–353.
- Wawryn, J., Swiecilo, A., Bartosz, G. and Bilinski, T. (2002). Effect of superoxide dismutases

- deficiency on the life span of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. An oxygen-independent role of Cu, Zn superoxide dismutase. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1570 (3), 199–202. [https://doi.org/10.1016/s03044165\(02\)00197-6](https://doi.org/10.1016/s03044165(02)00197-6)
- Yağmur, G. (2006). Mitokondriyal mutantların bira fermentasyonu üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Yang, L. and Chen, J.P. (2007). Biosorption of hexavalent chromium onto raw and chemically modified *Sargassum* sp. *Bioresource Technology*, 99 (2), 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.021>
- Zouboulis, A.I. and Katsoyiannis, I.A. (2004). Recent advances for the bioremediation of arsenic from contaminated groundwater sources. In: 6th Intern. Conf. On “Metallurgy, Refractories and Environment” (invited lecture), organized by T.U. Kosice (Slovakia) and Slovak Metallurgical Society in High Tatras (Slovakia), Proceedings published by the Organizers (E. Vircikova, ed.), 267-274.

## Malmquist yöntemi: Karadeniz Bölgesi'nin turizm verimliliği üzerine bir uygulama

*Malmquist method: An application on the tourism efficiency of the Black Sea Region*

Murat GÜL<sup>\*1,a</sup>, Timur ARSLAN<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 28200, Giresun

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 07.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.07.2021

### Öz

Malmquist yöntemi klasik Veri Zarflama Analizindeki statik incelemedeki eksikliği gidermek amacıyla geliştirilmiş parametrik olmayan bir yöntemdir. Verimliliği konu alan tüm araştırmalar genellikle klasik Veri Zarflama Analizi ile yapılmaya çalışılmış. Bu yüzden dinamik bir Veri Zarflama Analizi olan Malmquist yöntemini kullanan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu çalışmanın amacı verimliliğin zaman içerisinde nasıl değiştiğine izin veren Malmquist Toplam Faktör Verimlilik endeksini kullanarak Karadeniz Bölgesi'nde yer alan illerin turizm verimliliğini araştırmaktır. Bu çalışmaya göre illerin ortalama Malmquist Toplam Faktör Verimliliğinin % 9.6 oranında arttığı ve bu artışta tamamen teknolojik değişim değerlerindeki ilerleme kaynaklı olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Karadeniz Bölgesi, Malmquist toplam faktör verimliliği, Teknik etkinlik, Teknolojik değişim, Turizm verimliliği

### Abstract

The Malmquist method is a non-parametric method developed to address the lack of static examination in classical data enveloping analysis. All research on efficiency was usually conducted with classical data enveloping analysis. That is why studies using the Malmquist method, a dynamic Data Enveloping Analysis, have been limited. Therefore, the aim of this study is to investigate this issue with the Malmquist Total Factor Efficiency index, which allows how the Tourism Efficiency of the provinces in the Black Sea Region changes over time. According to this study, the average Malmquist Total Factor Efficiency of the provinces has increased by 9.6 %, and this increase is entirely due to progress in technology change values.

**Keywords:** Black Sea Region, Malmquist total factor efficiency, Technical efficiency, Technological change, Tourism service

\*a Murat GÜL; murat.gul@giresun.edu.tr, Tel: (0454) 310 14 00, orcid.org/0000-0001-9950-699X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-1401-2697

## 1. Giriş

Verimlilik; kaynak (girdi) ve ürün (çıkıtı) arasındaki oransal ilişki olup matematiksel olarak çıktının, girdiye bölümüdür (Kök ve Deliklitaş, 2003). Günümüzde ön plana çıkan rekabet olgusu neticesinde bir çıktıyı daha az girdiyle veya tek bir girdi ile daha fazla çıktı elde edebilme çabası verimlilik kavramının temelini oluşturmaktadır. Verimliliğin ölçülmesinde temel olarak parametrik ve parametrik olmayan yöntemler kullanılır. Regresyon analizi, faktör analizi ve stokastik sınır yaklaşımı (SFA) gibi parametrik yöntemlerde, üretim fonksiyonu önceden ayarlanır ve sonra hata terimi tahmin edilir. Geri hata yayılımı (BP) sinir ağı, yapay sinir ağı (YSA), hiyerarşik analiz, gri sistem teorisi (GST) ve Veri Zarflama Analizi (DEA) gibi parametrik olmayan yöntemlerde ise üretim fonksiyonunu önceden ayarlamaya ihtiyaç yoktur ve esas olarak doğrusal programlama yaklaşımı ile çözümler (Yi ve Liang, 2015).

Ancak Veri Zarflama Analizi modelleri verimliliğin uzun dönem veya zaman boyutunu yansıtmaz (Jingrong vd., 2015). Bu engeli aşmak için verimliliğin zaman içinde değişimini gösteren Malmquist endeksi kullanılmıştır (Caves vd., 1982a; Färe vd., 1994).

Turizm sektörü ise hâlihazırda dünya ekonomisinin hızla gelişen ve önemli bölümünü oluşturan sektörlerin başında gelmektedir. Bu anlamda 2018 yılı verilerine göre Dünya Turizmde Türkiye gelen turist sayısında 6. sırada, Turizm geliri bakımından 14.sıradadır (UNWTO, 2019). Turizmin milli gelire sağladığı katkı yanında, elde edilen döviz gelirleri sayesinde ödemeler dengesi açığını kapanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Dünya Turizm Örgütü'ne göre, uluslararası seyahat ve turizm 319 milyon doğrudan ve dolaylı iş sağlıyor ve dünya ekonomisinin büyümesini geride bırakarak küresel ekonomiye 8.8 trilyon ABD dolarlık katkıda bulunuyor (UNWTO, 2019). İç turizm de dikkate alınır ise bu rakamlar önemli ölçüde artacaktır. Bu yüzden Turizmde verimlilik her zaman ilgi odağı olmuştur. Ancak verimlilik artış ve azalışlarına ait dinamik değişimleri parametrik olmayan sayısal yöntemlerle araştırılması sınırlı olmuştur.

Turizm faaliyetlerinin önemi göz önüne alındığında, çeşitli birimlerin ne kadar verimli olduğunu araştırmak ilginçtir. Bu birimler, oteller, turizm acenteleri ve hava alanları gibi farklı sektörlerdeki şirketler olabilir. Turizm endüstrisinde verimlilik değerlendirmesi, literatürde büyük ilgi görmüştür (Assaf, 2010;

Chen, 2007; Köksal ve Aksu, 2007). DEA, birden çok girdi ve çıktıyı işleyebildiği ve fonksiyonel form hakkında bir varsayım gerektirmediği için çok popüler olduğundan, üretim teorisine dayanan sınır kavramı açısından verimliliği tahmin etmenin ana yöntemi olarak, DEA modelleri, Turizm alanında birçok çalışmada verimlilik ölçümleri için kullanılmıştır (Johns vd., 1997; Anderson vd., 2000; Reynolds ve Biel, 2007; Barros ve Dieke, 2007).

Malmquist yöntemi, verimlilik artışının derecesini ve zaman içindeki değişim eğilimlerini tahmin etmek için yararlı bir yaklaşımdır (Caves vd., 1982a). Malmquist verimlilik endeksi kullanılarak, verimlilik değişikliği teknolojik değişim endeksine ve teknik değişim endeksine ayrıştırılabilir (Färe vd., 1994). Daha spesifik olarak, DEA tabanlı Malmquist verimlilik endeksi, sadece iki farklı zaman periyodu arasındaki verimliliği karşılaştırmakla kalmaz, aynı zamanda her bir karar verme biriminin (KVB-Decision Making Unit-DMU) çalışma koşullarını göz önünde bulundurarak farklı zaman periyotlarında DMU'ların göreceli performansıyla verimliliği ölçer (Jafari, 2014). Bununla birlikte, Malmquist yöntemi, Turizm alanında çoğunlukla otel ve seyahat acentesi verimliliği gibi mikro birimlerin verimlilik ölçümleri için benimsenmiştir (Assaf ve Barros, 2011; Lee vd., 2012; Barros, 2007; Luo vd., 2014). Son olarak, önceki çalışmalar esas olarak mikro düzeydeki işletmelere odaklanmış ve ulusal ve yerel düzeydeki destinasyonların analizinden yoksundur. Assaf ve Dwyer (2013), turizm endüstrisinin verimlilik ölçümünün kamu politikası ve düzenlemesi için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, bir ülkenin veya bölgenin ekonomik büyümesini sağlamak için turizm için her türlü kaynağı en iyi şekilde yönetmek ve kullanmak için verimlilik değerlendirilmelidir. Bölgesel anlamda yıllara göre turizm verimliliği çok az ilgi görmüştür. Bu çalışma ile yukarıda tespit edilen boşluğu gidermek amaçlanmıştır.

Turizm oldukça mevsimlik bir sektördür; bu nedenle, zaman içindeki verimlilik değişikliklerini değerlendirebilen metodolojilerin dikkate alınması gerekir (Tsai vd., 2011). Aynı zamanda turizm, daha fazla turist çekmek ve gelirleri artırmak için performanslarını artırmak zorunda kalan bölgeler, iller arasında rekabetçi bir faaliyet olma eğiliminde olmuştur (Enright ve Newton, 2004).

Malmquist yöntemi, toplam faktör verimlilik değişikliğinin bir ölçüsünü elde etmek için panel verileri kullanır. Bu çalışmada Karadeniz

Bölgesindeki iller karar verme birimi olarak ele alındı. Sadece belli bir dönem değil 7 yıl boyunca etkinlik değerlemesi yapılmış olması açısından da literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Turizm konusunda birçok çalışma yapılmasına rağmen bölgesel anlamda turizm verimliliği konusunda çok fazla çalışmaya rastlanmamaktadır. Karadeniz bölgesi Türkiye’de Turizm açısından gelişmekte olan bir bölgedir. Bu anlamda bu çalışmanın amacı makro ve ulusal düzeyde Karadeniz bölgesinin turizm verimliliğini yıllara göre Malmquist verimlilik endeksi ile ölçmektir. Bu araştırmanın sonuçlarından faydalanarak illerin performansını karşılaştırmak ve turizm ile ilgilenen genel ve yerel yöneticilere bir fikir vermektir.

## 2. Materyal ve metod

Veri Zarflama Analiz modeli ilk olarak Farrel (1957) 'in çalışmasına dayanan Charnes vd., (1978) tarafından yapılan çalışmada sunulmuştur (Cooper vd., 2004).

Veri Zarflama Analizi, homojen yapıdaki DMU olarak adlandırılan ekonomik birimlere ait çok sayıda girdi ve çıktının karşılaştırılmasında, karar birimi görelî performans ölçümünde kullanılan metottur (Kecek, 2010). DEA modellerinde herhangi bir fonksiyonel ilişki ve dağılım varsayımı yapmadığından parametrik olmayan doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir (Shang vd., 2008).

### 2.1. Malmquist yöntemi

Malmquist yöntemi, Malmquist Toplam Faktör Verimlilik endeksine dayalı olarak verimliliğin zaman boyutunu dikkate alarak etkinliği ölçmek ve bu etkinliğin nedenlerini araştırmak amacıyla geliştirilen bir yöntemdir (Keskin, 2006).

Toplam Faktör Verimliliği (TFV) işletmelerin kararlı yapıda büyüme çalışmalarının değerlendirilmesinde temel bir gösterge olarak kullanılır. Toplam Faktör Verimliliği işletmelerin birbirleri ile aralarında ortaya çıkan gelişme ve büyüme farklılıklarının sebeplerini açıklamaktadır. Malmquist Toplam Faktör Verimliliğinin diğer bir faydası gelişme kaynaklarını ayırarak, işletme tarafından büyümenin ilerlemesini sağlayan unsur olarak hangi üretim faktörünün daha etkin bir şekilde üretimde kullanıldığı belirlenmesi açısından oldukça önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. İşletmeler kaynaklarını doğru biçimde kullanmak istediklerinden, büyüme aşamasında işletmelerin yeni kaynakların

aranmasını mecbur kılarken diğer yandan mevcut kaynakların en etkin şekilde kullanılması problemini ortaya çıkarır (Vergil ve Abasiz, 2008).

Malmquist Endeksi, Veri Zarflama Analizi (DEA) kullanılarak iki fonksiyon şeklinde elde edilmektedir. Bu fonksiyonlardan birincisi teknik değişimi, ikincisi ise teknolojik etkinlikteki değişimi tanımlar. Bu yüzden bu endeks parametrik yöntemler ve doğrusal programlama yöntemleri doğrultusunda hesaplanır (Liu ve Wang, 2008).

Bu endeks, her bir veri noktasının ortak teknolojiye göre nispi uzaklık oranlarını hesaplayarak, iki veri noktası arasındaki toplam faktör verimliliğindeki değişimi ölçer ve Malmquist (1953) tarafından geliştirilen uzaklık fonksiyonuna dayalı olarak ifade edilir. Uzaklık fonksiyonları hem çıktı eksenli hem de girdi eksenli uzaklık fonksiyonları olarak tanımlanabilir (Deliktaş, 2002). Çıktı odaklı yaklaşımda, belirli bir girdiyle en fazla üretilecek çıktı miktarı (çıktı maksimizasyonu); girdi odaklı yaklaşımda ise, belirli bir çıktıyı üretmede kullanılacak en az girdi miktarı (girdi minimizasyonu) dikkate alınır. Bu durumda dual olan iki optimizasyon probleminin çözümü aynı etkinlik sınırını vermekte ama bazen etkili olmayan (etkinsiz) birimlerde farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Keskin, 2006).

İlk defa Caves vd., (1982b) tarafından geliştirilen Malmquist Toplam Faktör Verimliliği endeksi, iki dönem arasındaki verimlilik değişimini her bir girdi-çıktı bileşimlerinin ortak teknolojik sınıra olan uzaklığını hesaplayarak ölçmektedir. Malmquist endeksini oluşturmanın ilk adımı uzaklık fonksiyonunu tanımlamaktır. Çıktıya göre uzaklık fonksiyonu

$$D_t(x, y) = \min\{\delta: (x, y)/\delta \in P(x)\} \quad (1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $x$  ve  $y$ , sırasıyla girdi ve çıktı değişkenlerinin matrislerini gösterir.  $\delta$ , çıktı yönlü bir verimliliği gösterebilir.  $P(x)$  olası bir üretim sınırı olarak tanımlanır.  $y$  vektörü,  $P(x)$  sınırı (üretim sınırı) üzerinde ise, fonksiyonun değeri 1'e eşit olacaktır.  $y$  vektörü,  $P(x)$  içindeki teknik olmayan bir noktayı tanımlıyorsa, fonksiyon değeri 1'den büyük olacaktır. Tersine  $y$ ,  $P(x)$  dışında mümkün olmayan bir noktayı tanımlıyorsa, fonksiyon değeri 1'den küçük olacaktır (Deliktaş, 2002).

Eğer  $t$  dönemi teknolojisini referans teknoloji olarak alınırsa, iki dönem arasındaki toplam faktör verimliliğindeki değişim;

$$M_t = \frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \quad (2)$$

Alternatif olarak eğer t+1 dönemindeki teknoloji referans alınrsa;

$$M_{t+1} = \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \quad (3)$$

Yukarıda gösterilen verimlilik endeksleri sadece teknoloji Hicks nötr ise eşit olacaktır. Bu yüzden hem kısıtlayıcı bir varsayımdan kurtulmak hem de hangi dönemin referans alınacağı belirlemenin zorluğundan kurtulmak için Malmquist Toplam Faktör Verimliliği endeksi, iki endeksin geometrik ortalaması alınarak tanımlanmıştır.

$$M_{t,t+1} = \left[ \frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \cdot \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$M_{t,t+1} = \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \cdot \left[ \frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \cdot \frac{D_t(x_t, y_t)}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Parantezin dışında yer alan terim, iki dönem arasındaki teknik etkinlikteki değişmeyi ölçmektedir. Bu oran spesifik girdi-çıkıtı bileşiminin iki dönem arasında en iyi üretim sınırına ne kadar yaklaşabildiğini göstermektedir. Parantez içindeki terim ise iki dönem arasındaki teknolojiye meydana gelen değişmeyi açıklamaktadır. Üretim sınırları eğrisinin iki dönem arasında yer değiştirmesi ya da kayması olarak yorumlanmaktadır.

Malmquist Toplam Faktör Verimliliği endeksinin teknik etkinlikteki değişmeye ve teknolojik değişmeye ayrıştırılması her iki faktörün toplam faktör verimliliğine olan katkısını belirlemeye yarar. Böylece, denklem (5) iki bölüme

ayrıldığında teknik etkinlikteki değişme ve teknolojik değişme ayrı ayrı ölçülebilir:

Teknik Etkinlikteki Değişim(TED) =

$$\frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \quad (6)$$

Teknolojik Değişim(TD) =

$$\left[ \frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \cdot \frac{D_t(x_t, y_t)}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Teknolojik değişim karar birimlerinin üretim sınırı eğrisinde gerçekleştirdikleri kaymaları (frontier effect) gösterirken, Teknik etkinlikteki değişim ise karar birimlerinin üretim sınırını yakalama etkisini (catching-up effect) göstermektedir (Mahadevan, 2002).

Diğer yandan, TED ile TD çarpımı toplam faktör verimliliğindeki değişmeyi verir. Yani,

$$M_{t,t+1} = TED * TD \quad (8)$$

$M_{t,t+1}$  endeksinin 1'den büyük olması, toplam faktör verimliliğinin (t) döneminden (t+1) dönemine arttığını, bu değer 1'den küçük olması, toplam faktör verimliliğinin (t) döneminden (t+1) dönemine azaldığını göstermektedir (Coelli, 1996).

### 3. Bulgular

Karadeniz Bölgesinde yer alan illerin Turizm Verimliliğinin zaman içerisinde nasıl değiştiğini Malmquist Toplam Faktör Verimlilik endeksi (MTFV) ile araştırmak için uygulama kısmında 2011–2018 yılları arasında girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Turizm verimliliği için malmquist yönteminde kullanılan değişkenlerin tanımı

Değişken türü	Tanım	Kaynak
Girdi	Turizm işletme belgeli konaklama tesislerinde Tesise geliş sayısı (Yabancı)	Türkiye İstatistik Kurumu*
Girdi	Turizm işletme belgeli konaklama tesislerinde Tesise geliş sayısı (Vatandaş)	Türkiye İstatistik Kurumu*
Girdi	Turizm işletme belgeli konaklama tesislerinde geceleme sayısı (Yabancı)	Türkiye İstatistik Kurumu*
Girdi	Turizm işletme belgeli konaklama tesislerinde geceleme sayısı (Vatandaş)	Türkiye İstatistik Kurumu*
Çıktı	İktisadi faaliyet kollarına göre cari fiyatlarla Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (2009 bazlı Hizmetler)	Türkiye İstatistik Kurumu**

\*Türkiye İstatistik Kurumu, 2019.

\*\* Türkiye İstatistik Kurumu, 2020.



Gelişmekte olan tüm ülkelerde yeterli sanayileşme olmadığı için hizmetler sektörünün GSYİH' aldığı pay yüksektir. Bu nedenle Türkiye'nin 2018 yılına göre hizmetler sektörü GSYİH'sının %54'ünü oluşturmaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021). Bununla beraber Türkiye'de hizmet sektörünün öncü alt sektörlerinden olan turizm sektörü, istihdamın yanında sağladığı döviz geliri ile ödemeler dengesi ve dış ticaret açığının kapanmasında da çok önemli rol oynamaktadır (Özsağır ve Akın, 2012). Turizm gelirleri birçok çalışmada (Bayrak, 2018; Atan ve Arslantürk, 2015) çıktı olarak alınmıştır. Ancak Türkiye'de illere göre turizm gelirlerine ait veri bulunmadığından ve turizmin GSYİH'ya olan katkısı nedeniyle, GSYİH-Hizmetler çıktı değişkeni olarak alınmıştır.

Türkiye'de konaklama işletmeleri hukuki bakımdan bakanlık belgeli ve belediye belgeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bakanlık belgeli olanlar Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın, belediye belgeli olanlar ise buldukları bölgedeki yerel yönetimlerin denetimi altında faaliyetlerini yerine getirir. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın 2018 yılı verilerine göre turizm işletme belgeli tesislerin toplam oda kapasitesi 464.927'dir. Belediye belgeli tesislerin toplam oda kapasitesi 231.001'dir. (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019). Dolayısıyla toplam konaklama tesislerinin oda kapasitesi bakımından büyük bir kısmını oluşturan turizm işletme belgeli tesislerdir. Bu yüzden çalışmada girdi değişkeninde turizm işletme belgeli tesisler dikkate alınmıştır.

Bunun yanında tesise geliş sayısı birçok çalışmada (Cuccia vd., 2016; Kosmaczewska, 2014) girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Tesise geliş; Turizm İşletme Belgeli konaklama tesislerine geceleme yapmak amacıyla yapılan giriş sayısıdır. Tesise giriş sayısı kişi bazlı bir değişken olmayıp, aynı turistin farklı zamanlarda yaptığı girişler ayrı girdiler olarak kaydedilmektedir (İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2021). Bu yüzden girdi değişkeni olarak tesise geliş sayısı ve onunla yakından ilişkili olan geceleme sayısı dikkate alındı.

Çıktı odaklı yaklaşımda, belirli bir girdiyle en fazla üretilecek çıktı miktarı (çıktı maksimizasyonu) baz alınmaktadır (Keskin, 2012) Yani ilave girdi kullanmadan, performans artışıyla çıktıların artırılabilceği düzeyi yansıtmaktadır (Erdoğan,

2011). DMU (bu çalışmada il)'lar tarafından kullanılan kaynaklar girdi olarak kabul edilirken, DMU'ların üretim süreci sonunda ulaştığı sonuçlar çıktı olarak değerlendirilmektedir (Hwang ve Chang, 2003). Girdi ve çıktı değişkenlerin seçiminde çalışmanın kapsamına uygun olması, incelenen literatüre dayanması ve sağlıklı verilere ulaşılabilmek durumu gözetilmiştir.

Tablo 1'deki girdi ve çıktı değişkenler kullanılarak Turizm verimliliğinin illere ve yıllara göre nasıl değiştiği gösterilmiştir. Çalışmada çıktı odaklı yaklaşım dikkate alınmıştır. Malmquist endeksinin bileşenleri olan teknik etkinlik ve teknolojik etkinlik değişim değerleri de illere ve yıllara göre bulunmuştur.

İki uzaklık fonksiyonun oranı olan TED, t+1 ile t yılları arasında gerçekleşen üretimin maksimum potansiyel üretimden uzaklığını ifade etmektedir.

Teknik etkinsizlik, ilgili karar biriminin hem optimum girdi miktarı kullanmamış hem de uygun kapasitede çıktı üretmemiş olduğunu yani kapasite kullanımının yanlış olduğunu ifade etmektedir. Teknik etkinlikte artış varsa bu dönemlerde ilgili karar biriminin hem kaynaklarını etkin kullandıklarını hem de uygun ölçekte (kapasitede) üretim yaptıklarını söylemek yanlış olmaz. Teknik Etkinliğin 1 den büyük olması ilgili karar biriminin kaynaklarını etkin kullandığını ve uygun kapasitede üretim yaptığını gösterir.

MTFV'nin bileşenlerinden, TED ve TD değerlerinin 1'den büyük olması teknik ve teknolojideki gelişmeleri ifade ederken, 1'den küçük olması teknik etkinlik ve teknolojideki gerilemeyi gösterir. Bir diğer ifade ile; TD'nin 1'den büyük olması kapasite sınırının yukarı kaymasını, TED'in 1'den büyük olması ise illerin üretim sınırını yakalama etkisini gösterecektir.

Teknik etkinliğin birden küçük olduğu iller kaynaklarını iyi yönetmemiş ve kullanamamıştır veya uygun olmayan kapasitede (ölçekte) çalışmışlardır. Bu illerin turizm hizmeti yapmaları için kapasitelerine uygun turizm hizmeti yapmaları ve dolayısıyla teknik olarak etkin olmaları sağlanmalıdır. Teknik etkinliği birden küçük olan iller en iyi turizm hizmet üretimi sınırını belirlemede başarısız olmuşlardır.

Söz konusu illerin bu başarısızlıktan dolayı rekabet etme güçleri zayıflamış ve rekabet ortamından düşmüşlerdir. İncelenen dönemde bu illerin kaynak kullanımındaki başarısızlıkları dikkat çekmektedir.

Teknik etkinlik seviyelerindeki bu düşüşler genel olarak turizm verimliliğindeki yapısal sorunların

varlığına işaret etmektedir. Bu yapısal sorunların çözümü için yapısal önlemler gerekmektedir.

**Tablo 2.** 2011–2018 yılları arasında illerin teknik etkinlik değişim değerleri (TED)

	11=>12	12=>13	13=>14	14=>15	15=>16	16=>17	17=>18	Ortalama
<b>Düzce</b>	1.02461	0,62789	1.07478	1.24103	0.92249	1.25603	0.88922	1.00515
<b>Bolu</b>	1.13994	0.92255	1.07120	1.15054	0.82946	1.11951	0.84636	1.01137
<b>Zonguldak</b>	1.03566	0.58243	1.10921	1.42711	0.82288	1.01785	1.01475	1.00141
<b>Karabük</b>	1.21979	1.00556	0.91897	1.14855	0.81188	1.24047	0.71183	1.00815
<b>Bartın</b>	0.88459	1.06005	1.16490	1.0000	0.83889	0.53225	0.91910	0.91425
<b>Kastamonu</b>	0.76054	1.04642	0.67240	1.58539	0.94681	1.24491	0.71257	0.99558
<b>Sinop</b>	0.95454	0.97861	0.94994	0.74847	1.02633	0.89435	0.93636	0.92694
<b>Samsun</b>	1.0000	1.0000	0.89503	1.04158	0.77071	0.84246	0.97204	0.93169
<b>Tokat</b>	0.94362	1.05974	0.82649	1.03599	1.16789	1.0000	1.0000	1.00482
<b>Çorum</b>	1.10224	1.17364	0.87606	1.16798	1.15232	0.97056	1.03033	1.06759
<b>Amasya</b>	0.99251	1.05645	1.11153	1.09936	0.73104	0.72448	0.82040	0.93368
<b>Trabzon</b>	0.93420	1.22440	1.01762	0.47521	2.27808	0.77630	0.91507	1.08870
<b>Ordu</b>	0.77533	0.90193	1.09300	0.94028	1.11697	0.70441	1.00312	0.93358
<b>Giresun</b>	1.12858	1.10627	0.92736	0.98617	1.02402	0.66216	0.91862	0.96474
<b>Rize</b>	0.78341	0.90192	1.20001	0.88737	1.27148	1.15204	0.67828	0.98207
<b>Artvin</b>	0.94967	1.41115	0.91814	1.19439	0.78875	1.23169	0.81540	1.04417
<b>Gümüşhane</b>	1.0000	0.94682	0.86687	1.18524	0.85116	0.98578	0.95925	0.97073
<b>Ortalama</b>	0.97819	1.00034	0.98197	1.07733	1.02066	0.96207	0.89075	0.98733
<b>Maksimum</b>	1.21979	1.41115	1.20001	1.58539	2.27808	1.25603	1.03033	1.42582
<b>Minimum</b>	0.76054	0.58243	0.67240	0.47521	0.73104	0.53225	0.67828	0.63316
<b>Standart Sapma</b>	0.12963	0.19601	0.13879	0.24932	0.3613	0.228256	0.110813	0.20202

Yukarıdaki ifadeler doğrultusunda, illerin TED değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

2011–2012 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Düzce, Bolu, Zonguldak, Karabük, Çorum, Giresun

2012–2013 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Karabük, Bartın, Kastamonu, Tokat, Çorum, Amasya, Trabzon, Giresun, Artvin

2013–2014 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Düzce, Bolu, Zonguldak, Bartın, Amasya, Trabzon, Ordu, Rize

2014–2015 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Düzce, Bolu, Zonguldak, Karabük, Kastamonu, Tokat, Çorum, Amasya, Artvin, Samsun, Gümüşhane

2015–2016 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Tokat, Çorum, Trabzon, Ordu, Giresun, Rize, Sinop

2016–2017 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Düzce, Bolu, Zonguldak, Karabük, Kastamonu, Rize, Artvin

2017–2018 döneminde üretim sınırını yakalayan iller: Zonguldak, Çorum, Ordu; Buna göre,

ortalama teknik etkinlikte en büyük artış 2014–2015 döneminde %7.7337’lik artıştır. Bu uygulamada 7 dönemde ortalama TED de ilerleme 2012–2013, 2014–2015 ve 2015–2016 dönemlerinde olmuştur.

2012–2013 döneminde ortalama teknik etkinlikte %0.0348’lik küçük bir artış gerçekleşirken, en büyük artış (% 41.11) Artvin ve en büyük düşüş (% 42) Zonguldak ilinde gerçekleşmiştir.

2014–2015 döneminde ortalama teknik etkinlikte %7.7337’lik bir artış olmuşken, en büyük artış (%58.53) Kastamonu ve en büyük düşüş (%52.48) Trabzon ilinde gerçekleşmiştir.

2015–2016 döneminde ortalama teknik etkinlikte %2.0661’lik bir artış olmuşken, en büyük artış (%127.80) Trabzon ve en büyük düşüş (%26.89) Amasya ilinde gerçekleşmiştir.

2011–2012 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%21.97) Karabük olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%23.94) Kastamonu olmuştur.

2012–2013 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%41.11) Artvin olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%42) Zonguldak olmuştur.

2013–2014 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%20.0) Rize olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%32.76) Kastamonu olmuştur.

2014–2015 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%58.53) Kastamonu olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%52.48) Trabzon olmuştur.

2015–2016 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%127.80) Trabzon olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%26.89) Amasya olmuştur.

2016–2017 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%25.60) Düzce olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%46.78) Bartın olmuştur.

2017–2018 yılında TED değerinde en büyük artışı yaşayan il (%3.03) Çorum olurken, en büyük düşüşü yaşayan ise (%32.18) Rize olmuştur.

**Tablo 3.** 2011–2018 yılları arasında illerin teknolojik etkinlik değişim değerleri (TD)

	11=>12	12=>13	13=>14	14=>15	15=>16	16=>17	17=>18	Ortalama
<b>Düzce</b>	1.06178	1.12135	1.14659	0.83003	1.35413	1.16842	1.28517	1.13821
<b>Bolu</b>	0.92001	1.12813	1.25713	0.77072	1.35413	1.16842	1.28517	1.12624
<b>Zonguldak</b>	0.99306	1.07586	0.99785	0.93920	1.26574	1.11227	1.28374	1.09539
<b>Karabük</b>	1.08030	1.14452	0.97819	0.99017	1.16426	1.13621	1.26458	1.10832
<b>Bartın</b>	0.90231	1.30106	1.60054	1.87681	0.55943	1.05473	1.28966	1.22638
<b>Kastamonu</b>	0.86125	0.95255	1.66149	0.69128	1.29478	1.11882	1.19569	1.11084
<b>Sinop</b>	0.97000	1.05363	1.11224	0.99017	1.16426	1.11151	1.26871	1.09579
<b>Samsun</b>	1.05743	1.11574	0.97819	0.99017	1.16772	1.12307	1.27431	1.10095
<b>Tokat</b>	0.96957	1.39473	1.05004	1.20330	1.10779	0.80795	0.99628	1.07567
<b>Çorum</b>	0.97924	1.06656	1.17495	0.97527	1.27479	1.06646	1.26217	1.11421
<b>Amasya</b>	1.05987	1.12813	1.02195	0.92774	1.20314	1.11056	1.25592	1.10104
<b>Trabzon</b>	1.03722	1.14452	0.98354	0.92493	1.27726	1.13621	1.27274	1.11092
<b>Ordu</b>	1.01931	1.14467	1.03388	0.99017	1.16426	1.09342	1.27765	1.10334
<b>Giresun</b>	0.94602	1.08859	1.18041	0.90625	1.24260	1.07147	1.29321	1.10408
<b>Rize</b>	1.02771	1.11149	0.97819	0.99017	1.19863	1.12603	1.27282	1.10072
<b>Artvin</b>	1.08068	1.12462	1.19738	0.84830	1.35413	1.13707	1.26458	1.14382
<b>Gümüşhane</b>	0.93429	0.91000	1.45657	0.87399	1.27820	1.05721	1.20520	1.10221
<b>Ortalama</b>	0.99412	1.11801	1.16524	0.98345	1.20149	1.09411	1.24986	1.11518
<b>Maksimum</b>	1.08068	1.39473	1.66149	1.87681	1.35413	1.16842	1.29321	1.40421
<b>Minimum</b>	0.86125	0.91000	0.97819	0.69128	0.55943	0.80795	0.99628	0.82920
<b>Standart Sapma</b>	0.06629	0.10971	0.21659	0.25563	0.18161	0.08134	0.07059	0.14025

Teknolojik Değişim; yeni teknolojilerin benimsenmesinden, yeni hizmetlerden ve yeni yönetim sistemlerinden etkilenir.

Teknik etkinlik karar biriminin kapasitesinin etkin kullanım başarısını gösterirken, teknolojik etkinlik kapasite artırma başarısını ifade eder.

Teknik etkinlikteki değişim endeksinin birden büyük olması [(TED)>1], illerin en başarılı turizm kapasitesini yakalama durumunu (Chatching-up Effect) temsil ederken öte yandan Teknolojik değişim endeksinin birden büyük olması[(TD)>1] ise söz konusu en başarılı turizm kapasitesinin yukarı yönlü eğilim (trend)(Frontier-Shift Effect ) kazanması anlamına gelmektedir.

Tablo 3'te, illere ait ortalama TD değerleri gösterilmiştir. Teknoloji ya da verimliliği etkileyecek olan Turizm hizmet sürecine ait düzenlemeler, çevresel faktörler ve politikadaki iyi gelişmeler 2012–2013 yılında %11.80, 2013–2014 yılında %16.52, 2015–2016 yılında %20.14,

2016–2017 yılında %9.41 ve 2017-2018'de %24.98 ortalama artış olarak kendini göstermiştir. İncelenen dönemler boyunca en büyük düşüş %44.06 ile 2015–2016 döneminde Bartın ilinde yaşanmıştır. İncelenen dönemlerde, en yüksek teknolojik değişim %66.14 ile Kastamonu ilinde ve 2013–2014 döneminde gözlenmiştir. 2011–2012 ve 2014–2015 dönemlerinde ise, iller turizm verimlilik sınırını yukarı hareketini gerçekleştirilememiş ve kayıplar yaşamışlardır.

Teknolojik Değişimin 1'den büyük olduğu iller ilgili dönemde teknolojik gelişme göstererek aynı girdi miktarı ile daha fazla çıktı üretmeyi başarmışlardır. 7 dönemde TD değerleri bütün illerde sürekli değişimler yaşamıştır.

2015–2016, 2016–2017 ve 2017–2018 dönemlerinde 17 tane ilin 16'sında teknolojik değişim artış şeklinde olmuştur. Bu yüzden, illerin turizm verimlilik yeteneklerinde (yatırım, hizmet kalitesi, vb.) en çok gerilemenin olduğu ya da illerin teknolojik gelişmelere ulaşamadıkları

dönemin ise 17 ilin yalnızca 2'sinde teknolojik değişiminde artış göstermesi sebebiyle 2014–2015 döneminin olduğu söylenebilir. Bir başka ifadeyle, ortalama olarak 2012–2013, 2013–2014, 2015–2016, 2016–2017 ve 2017–2018 dönemlerinde tüm illerin turizm verimlilik sınırı yukarı kaymış ve bu

iller ilgili dönemlerde teknolojik gelişme sayesinde aynı girdi miktarıyla daha fazla çıktı üretmeyi sağlamışlardır. Tablo 2 ve Tablo 3'teki değerler kullanılarak hesaplanan illere ait MTFV endeksleri, Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** 2011–2018 yılları arasında illerin turizm malmquist toplam faktör verimlilik endeksleri

	11=>12	12=>13	13=>14	14=>15	15=>16	16=>17	17=>18	Ortalama
<b>Düzce</b>	1.08791	0.70409	1.23233	1.03010	1.24919	1.46757	1.14281	1.13057
<b>Bolu</b>	1.04876	1.04077	1.34665	0.88675	1.12321	1.30806	1.08772	1.12027
<b>Zonguldak</b>	1.02848	0.62662	1.10683	1.34034	1.04156	1.13213	1.30268	1.08266
<b>Karabük</b>	1.31775	1.15088	0.89893	1.13726	0.94525	1.40944	0.90017	1.10853
<b>Bartın</b>	0.79818	1.37919	1.86448	1.87681	0.46930	0.56138	1.18533	1.16210
<b>Kastamonu</b>	0.65502	0.99676	1.11719	1.09595	1.22591	1.39283	0.85203	1.04796
<b>Sinop</b>	0.92591	1.03110	1.05657	0.74111	1.19492	0.99408	1.18798	1.01881
<b>Samsun</b>	1.05743	1.11574	0.87551	1.03134	0.89998	0.94615	1.23869	1.02355
<b>Tokat</b>	0.91491	1.47806	0.86786	1.24661	1.29378	0.80795	0.99628	1.08649
<b>Corum</b>	1.07936	1.25177	1.02933	1.13910	1.46898	1.03506	1.30045	1.18629
<b>Amasya</b>	1.05195	1.19182	1.13593	1.01992	0.87955	0.80458	1.03037	1.01630
<b>Trabzon</b>	0.96897	1.40136	1.00088	0.43954	2.90970	0.88204	1.16465	1.25245
<b>Ordu</b>	0.79030	1.03241	1.13004	0.93103	1.30045	0.77022	1.28164	1.03373
<b>Giresun</b>	1.06767	1.20428	1.09468	0.89372	1.27246	0.70949	1.18797	1.06147
<b>Rize</b>	0.80512	1.00248	1.17385	0.87864	1.52404	1.29723	0.86333	1.07781
<b>Artvin</b>	1.02630	1.58701	1.09937	1.01320	1.06808	1.40053	1.03115	1.17509
<b>Gümüşhane</b>	0.93429	0.86161	1.26266	1.03589	1.08796	1.04217	1.15610	1.05438
<b>Ortalama</b>	0.97402	1.12094	1.13489	1.04337	1.23261	1.05652	1.11231	1.09638
<b>Maksimum</b>	1.31775	1.58701	1.86448	1.87681	2.90970	1.46757	1.30268	1.76086
<b>Minimum</b>	0.65502	0.62662	0.86786	0.43954	0.46930	0.56138	0.85203	0.63882
<b>Standart Sapma</b>	0.15363	0.25705	0.22885	0.29467	0.49762	0.28194	0.14593	0.26567

2011–2012 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %31'lik artış ile Karabük'tür ve bu artışın nedeni teknik etkinlik (%22) ve teknolojik gelişim (%8) kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bu dönemde Kastamonu %34 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olmuştur. Bunun nedeni ilin turizm verimliliğinin teknik etkinlikte (%24), teknolojide (%14) geriye gitmesidir.

2012–2013 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %59'luk artış ile Artvin'dir bu artışın nedeni teknik etkinlik (%41) ve teknolojik gelişim (%12) kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bu dönemde Zonguldak %37.34 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur.

2013–2014 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %86'lik artış ile Bartın'dır ve bu artışın nedeni teknik etkinlik (%16) ve teknolojik gelişim (%60) kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bu dönemde Tokat %13.22 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur.

2014–2015 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %87.68'lik artış ile Bartın'dır. Bu dönemde Trabzon %56.05 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur. Bunun nedeni ilin turizm verimliliğinin teknik etkinlikte (%52.48), teknolojide (%8) geriye gitmesidir.

2015–2016 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %190'lık artış ile Trabzon'dur bu artışın nedeni teknik etkinlik (%127.8) ve teknolojik gelişim (%27.7) kaynaklıdır. Bu dönemde Bartın %53.07 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur.

2016–2017 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %46.75'lik artış ile Düzce'dir bu artışın nedeni teknik etkinlik (%25.60) ve teknolojik gelişim (%16.84) kaynaklıdır. Bu dönemde Bartın %43.87 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur.

2017–2018 döneminde Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla artan il %30.26'lık artış ile

Zonguldak'tır. Bu dönemde Kastamonu %14.79 oran ile Malmquist Toplam Faktör Verimliliği en fazla azalan il olarak bulunmuştur.

MTFV deki artışlar diğer illere göre, o ilin turizm verimliliği bakımından rekabet gücünün arttığını gösterecektir. MTFV deki azalışlar ise turizm verimliliği bakımından rekabet gücünün azaldığını gösterecektir.

Genel olarak 7 yıllık dönemde illerin ortalama toplam faktör verimliliğinin %9.6 oranında arttığı ve bu artışta tamamen % 11.5'lik teknolojik değişim değerlerindeki ilerleme kaynaklı olduğu görülmektedir.

Yine Tablo-4'ten; illerin ortalama MTFV'de 2012-2013'te %12.09'lik, 2013-2014 döneminde %13.48'lik, 2014-2015'te %4.33'lük, 2015-2016'da %23.26'lık, 2016-2017'de %5.65'lik, 2017-2018'de %11.23'lük bir artış görülmüştür. Bunun yanı sıra 2011-2012 döneminde %2.59'luk bir azalış görülmüştür.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi'nin en önemli özelliği, tüm verimlilik ölçüsünü biri teknik verimlilikteki değişimi ölçen, diğeri de teknolojiye bağlı değişimi ölçen iki özel bileşene ayırmasıdır. Teknik verimliliğin ve teknolojik gelişmenin yüksek olması karar birimi ya da sektör açısından yüksek bir ekonomik verimliliği kısaca yüksek bir rekabet gücünü ifade eder. Üretim veya hizmetin ne derece verimli yapıldığı, verimliliğin zaman içinde ne şekilde değiştiği, verimlilikteki değişimlerin ne kadarının teknik etkinlikteki değişimden ne kadarının teknolojik değişimden kaynaklandığını bilmek turizm verimliliği ve turizm planlaması bakımından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı Karadeniz Bölgesinde yer alan illerin Turizm Verimliliğinin zaman içerisinde nasıl değiştiğine izin veren Malmquist yöntemi ile bölgenin Turizm Verimliliğini araştırmaktır. Elde edilen bulgulardan yola çıkarak; Karadeniz bölgesinin turizm verimliliğinin ölçülmesine yönelik sonuçlar sunulmaya çalışılmıştır.

MTFV deki artışlar diğer illere göre, o ilin turizm verimliliği bakımından rekabet gücünün arttığını gösterecektir. MTFV deki azalışlar ise turizm verimliliği bakımından rekabet gücünün azaldığını gösterecektir. MTFV, TED ve TD'nin il bazında değişimleri önceki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın ana bulguları, genel olarak 7 yıllık dönemde illerin ortalama toplam faktör verimliliğinin %9.6 oranında arttığı ve bu artışta tamamen % 11.5'lik teknolojik değişim değerlerindeki ilerleme kaynaklı olduğu görülmektedir. İllerin, 7 yıllık dönemde genel olarak ortalama toplam faktör verimliliğinin %9.6'dan daha yüksek olan iller: Düzce, Bolu, Karabük, Bartın, Çorum, Trabzon, Artvin'dir. Bu sonuçtan Batı Karadeniz'deki illerin Turizm verimliliğinin diğer illere göre daha iyi olduğu söylenebilir. 7 yıllık süreçte ortalama toplam faktör verimliliği artmasına rağmen fazla artmayan ilk 3 il: Sinop (%1.9), Samsun (%2.4), Amasya (%1.6)'dır. Bu iller toplam faktör verimliliğini artırmak için daha fazla çaba göstermelidir.

İllerin ortalama MTFV' de 2012-2013'te %12.09'lik, 2013-2014 döneminde ise %13.48'lik, 2014-2015'te %4.33'lük, 2015-2016'da %23.26'lık, 2016-2017'de %5.65'lik, 2017-2018'de %11.23'lük bir artış görülmüştür. Bunun yanı sıra 2011-2012 döneminde %2.59'luk bir azalış görülmüştür. Ortalama verimliliğin en fazla arttığı dönem 2015-2016 (%23) dönemidir.

Çalışmanın literatüre katkısı iki şekildedir. Birincisi Turizm Verimliliğinin, Malmquist Verimlilik endeksi ile ölçmek için bir model kurulmuş ve bu model ile Turizm verimliliği ölçülmüş ve yıllara göre, MTFV deki artışlar ve azalışlar, o ilin turizm verimliliği bakımından rekabet gücünü göstermiştir. İkincisi bu çalışma Karadeniz Bölgesini içerdiği için bölgesel anlamdaki yerel turizm çalışmalarına, projelerine ve planlamalarına önemli bir katkısı olacaktır. Ayrıca bu bilgilerin ve sonuçların diğer turizm sektörü alanındaki çalışmalara da ışık tutacağı düşünüyor.

Malmquist yöntemi kullanılarak bölgesel turizm verimliliği bir diğer anlamda turizm rekabet gücü hesaplandı. Bunun yanı sıra verimlilik farklılıkları illerin (destinasyon) rekabetçiliği konusunda belirleyici bir husustur. Bölgenin sosyo-ekonomik kalkınmasına yönelik stratejik planlamada turizmin gelişmesine ve illerin Turizm verimliliğinin artırılmasına yönelik politikaların uygulanmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yerel yönetimlerin ve karar vericilerin iyileştirmeler yapmasına izin veren ayrıntılı yönetim anlayışları sağlayabilir. Bu çalışmanın sonuçları verimlilik esaslı olması bakımından bu anlayışlara ve stratejilere yardımcı olabilir.

**Kaynaklar**

- Anderson, R.I., Fok, R. and Scott, J. (2000). Hotel industry efficiency: an advanced linear programming examination. *American Business Review*, 18, 40–48.
- Assaf, A. (2010). The cost efficiency of australian airports post privatization: a bayesian methodology. *Tourism Management*, 31(2), 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.03.005>
- Assaf, A.G. and Barros, C. (2011). Performance analysis of the gulf hotel industry: a malmquist index with bias correction. *International Journal of Hospitality Management*, 30, 819–826.
- Assaf, A.G. and Dwyer, L. (2013). Benchmarking international tourism destinations. *Tourism Economics*, 19, 1233–1247. <https://doi.org/10.5367/te.2013.0354>
- Atan, M. ve Arslantürk, Y. (2015). Dünya ülkelerinin turizm etkinliğinin analizi. *Gazi Üniversitesi İktisat ve İşletme Dergisi*, 1 (1), 59-76.
- Barros, C.P. and Dieke, P.U.C. (2007). Analyzing the total productivity change in travel agencies. *Tourism Analysis*, 12, 27–37. <https://doi.org/10.3727/108354207780956708>
- Bayrak, R., (2018). OECD ülkeleri turizm sektöründe toplam faktör verimliliği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, 157-177.
- Caves, D.W., Christense, L.R. and Diewert, W.E. (1982a). Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers. *Economic Journal*, 92, 73–86.
- Caves, D.W., Christense, L.R. and Diewert, W.E. (1982b). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica*, 50, 1393–1414.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, Volume 2, Issue 6, Pages 429-444.
- Chen, C. F. (2007). Applying the stochastic frontier approach to measure hotel managerial efficiency in taiwan. *Tourism Management*, 28(3), 696–702.
- Coelli, T.J. (1996). A guide to deap version 2.1: a data envelopment analysis program. Center of Efficiency and Productive Analysis Working Paper. No:8.
- Cooper, W.W., Seiford, M. and Zhu, J. (2004). *Handbook on data envelopment analysis*, Springer (Kluwer Academic Publishers), Boston.
- Cuccia, T., Guccio, C. and Rizzo, I., (2016). The effects of UNESCO world heritage list inscription on tourism destinations performance in italian regions. *Economic Modelling*, 53, 494-508. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.10.049>
- Deliktaş, E., (2002). Türkiye özel sektör imalat sanayinde etkinlik ve toplam faktör verimliliği analizi, *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 29, ss.247–284.
- Enright, M. J. and Newton, J. (2004). Tourism destination competitiveness: a quantitative approach. *Tourism Management*, 25(6), 777–788.
- Erdoğan, Ö. (2011). Banka etkinliklerinin risk odaklı yaklaşımla modellenmesi ve Türk bankacılık sektörü uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Färe, R., Grosskopf S., Lindgren B. and Roos, P. (1994). Productivity developments in swedish hospitals: A malmquist output index approach. in *data envelopment analysis: Theory, Methodology, and Applications*.pp. 253-272, Springer, Dordrecht.
- Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 120(3), 253-290.
- Hwang, S. N. and Chang, T. Y. (2003). Using data envelopment analysis to measure hotel managerial efficiency change in taiwan. *Tourism Management*, 24(4), 357-369.
- İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, turizm istatistikleri raporu (2021, 12 Haziran). Erişim adresi <https://istanbul.ktb.gov.tr/Eklenti/82487,subat-2021-turizm-istatistikleri-duzeltmepdf.pdf?0>
- Jafari, Y., (2014). Malmquist productivity index for multi time periods. *International Journal of Data Envelopment Analysis*, 2, 315–322.
- Jingrong S., Jie Z., Jinhe Z., Jinhai, M. and Yuling, Z. (2015). Total factor productivity assessment of tourism industry: evidence from china, *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 20:3, 280-294.
- Johns, N., Howcroft, B. and Drake, L. (1997). The use of data envelopment analysis to monitor hotel productivity. *Progress in Tourism and Hospitality Research*, 3, 119–127.
- Kecek, G., (2010). Veri zarflama analizi: teori ve uygulama örneği, Ankara: Siyasal Kitabevi.



- Keskin Benli, Y., (2006). İstanbul menkul kıymetler borsası imalat sanayi için etkinlik ve toplam faktör verimliliği analizi, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Keskin Benli, Y., (2012). Veri zarflama analizi (VZA) ve malmquist toplam faktör verimliliği (TFV): konaklama işletmelerinde bir uygulama. *Ege Akademik Bakış*, 12, 3, 369-382.
- Köksal, C. D. and Aksu, A. A., (2007). Efficiency evaluation of a group travel agencies with data envelopment analysis (DEA): A case study in the antalya region, Turkey. *Tourism Management*, 28(3), 830–834. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.05.013> et rights and content
- Kosmaczewska, J., (2014). Tourism interest and the efficiency of its utilisation based on the example of the eu countries. *Acta Scientiarum Polonorum Oeconomia*, 13(1), 77-90.
- Kök, R. ve Deliklitaş, E., (2003). Endüstri iktisadında verimlilik ölçme ve strateji geliştirme teknolojileri. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Yayını, 40(3), 68-71.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı. Tesis istatistikleri (2019, 10 Haziran). Erişim adresi <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-201131/tesisistatistikleri.html>.
- Lee, Y., Lu, L.T. and Sung, A.D. (2012). A measure to the operational performance of international hotels in taiwan: dea and malmquist approach. *Review of Economics and Finance*, 2, 73–83.
- Liu, F. and Wang, P. (2008). DEA malmquist productivity measure: taiwanese semiconductor companies. *International Journal of production Economics*, 112, 65-72.
- Luo, H., Yang, Y. and Law, R. (2014). How to achieve a high efficiency level of the hotel industry. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Vol. 28, 1140-1161.
- Mahadevan, R. (2002). A dea approach to understanding the productivity growth of malaysia's manufacturing industries. *Asia Pasific Journal of Management*, Volume 19, Issue 4, pp. 587-600.
- Malmquist, S., (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, 4, 209-242.
- Özsağır, A. ve Akın, A., (2012). Hizmetler sektörü içinde hizmet ticaretinin yeri ve karşılaştırmalı bir analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(41), 311-331.
- Reynolds, D. and Biel, D., (2007). Incorporating satisfaction measures into a restaurant productivity index. *International Journal of Hospitality Management*, 26, 352–361.
- Shang, J.K., Hung, W.K., Fang, Lo C. and Wang, F., (2008). Ecommerce and hotel performance: three-stage dea analysis, *The Service Industries Journal*, 28:4, 529-540.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2019, 12 Mayıs). Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/degisk-enlerUzerindenSorgula.do?durum=acKapa&menuNo=273&altMenuGoster=1&secilenDegiskenListesi=>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2020, 15 Mart). Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/degisk-enlerUzerindenSorgula.do?durum=acKapa&menuNo=113&altMenuGoster=1&secilenDegiskenListesi=>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2021, 16 Haziran). Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/tabloYilSutunGetir.do?durum=yillariGetir&menuNo=518&altMenuGoster=0&tabloNo=337#>
- Tsai, H.; Wu, J. and Zhou, Z., (2011). Managing efficiency in international tourist hotels in taipei using a dea model with non-discretionary inputs. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 16, 417–432.
- UNWTO-International tourism highlight; world tourism organization. (2019, April 21). Erişim adresi <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284421152, Madrid, Spain, pp. 1–24>.
- Vergil, H. ve Abasız, T. (2008). Toplam faktör verimliliği hesaplanması ve büyüme ilişkisi: collins bosworth varyans ayrıştırması. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (16), 160-188.
- Yi, T. and Liang, M. (2015). Evolutional model of tourism efficiency based on the dea method: A case study of cities in guangdong province, China. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 20, 789–806. <https://doi.org/10.1080/10941665.2014.932294>.

## Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri

### *Petrographic and geochemical characters of the Bitlis ignimbirite*

Ayşe Didem KILIÇ<sup>\*1,a</sup>, Büşra ÇAKMAK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 30.04.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 01.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.07.2021

#### Öz

Bu çalışmada Nemrut volkanizması ürünü Bitlis ignimbiritlerin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ile faz ilişkileri incelenmiştir. Bitlis ignimbiriti, farklı renk ve bileşim oranına sahiptir. Mineralojik bileşimi plajiyoklaz, sanidin, anortoklaz, ojit, olivin, biyotit, hematit, kuvars ve ilmenitten oluşan piroklastik bir kayaç istifidir. Bitlis ignimbiriti volkanik yay, yay gerisi veya kıta içi alanlarda oluşan, trakit- riyolit bileşimindeki magmanın püskürmesi veya kıta içi çatlaklarda magmanın yükselimi sırasında kirlenmesi sonucu oluşur. İgnimbirit seviyeleri arasında bileşen oranı, kimyasal bileşim ve renk farklılığı vardır. Kaldera öncesi dönemi temsil eden ve başlıca pomza, kayaç parçaları, yönlü fiammeler, sepiolitik parçacıklar ile sanidin mineraline dönüşüm gibi özellikler en az iki fazı işaret eder ve devitrikasyonda kısmen renk farklılığına sebep olur. Mineral alterasyonları ve yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25), Ba/La (11.2-15) oranlarından ignimbiritin oluşumu sırasında veya sonrasında, metamorfizma veya kabuksal kirlenmenin geliştiğini gösterir. Bitlis ignimbiritinin jeokimyasal özellikleri kısmen küçük hacimli silisik bir volkanizmayı gösterir. Üç farklı seviye arasındaki farklılık, magmatik süreçler ve faz evreleri arasındaki zaman aralığı veya devitrikasyondan kaynaklanabilir.

**Anahtar kelimeler:** Anortoklaz, Devitrikasyon, İgnimbirit, İz element jeokimyası, Fe-Ti oksit, Nemrut

#### Abstract

*In this study were investigated mineralogical and geochemical properties and phase relations of Bitlis ignimbrites being product of Nemrut volcanism. The Bitlis ignimbirite have different colors and composition ratios. Its mineralogical composition is a pyroclastic rock sequence consisting of plagioclase, sanidine, anorthoclase, augite, olivine, biotite, hematite, quartz and ilmenite. The Bitlis ignimbrite is formed as a result of eruption of magma in trachy-riolite composition formed in volcanic arcs, back-arc or intra-continental areas or contamination of magma during rising in intra-continental fracture. There are differences in component ratio, chemical composition and color between ignimbrite levels. This unit showed pre-caldera period and shows mainly pumice, rock fragments, oriented fiammes, features such as sepiolytic particles together with conversion to sanidine mineral indicate at least two phases and the devitrication partially causes color difference. Mineral alterations and high Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25), Ba/La (11.2-15) ratios indicates metamorphism or crustal contamination post or during formation of ignimbrite. The geochemical features of the Bitlis ignimbrite partly show a small volume silisic volcanism. The discrepancy between three levels may be due to time interval between phase stages and magmatic processes or from the devitrication.*

**Keywords:** Anorthoclase, Devitrication, Ignimbirite, Trace element geochemistry, Fe-Ti oxides, The Nemrut

<sup>\*a</sup> Ayşe Didem KILIÇ; adkili@firat.edu.tr, Tel: (0537) 366 71 30, orcid.org/0000-0003-3743-8631

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-7233-8797

## 1. Giriş

Orta Miyosende, Arap levhası ile Anadolu arasındaki kıta-kıta çarpışması sonucu gelişen Doğu Anadolu volkanizması, genellikle K-G doğrultulu açılma ve tansiyon çatlaklarına bağlı olarak volkanizma oluşumuna sebep olmuştur. Volkanizma bazalttan riyolite kadar değişen bileşimde alkali ve kalk-alkali karakterlidir. Kuzey-Güney yönlü sıkışma ve kalınlaşan kabuk, kısmi ergime ve üst mantolla karışması sonucu genç volkanizmaya sebep olur (Şengör and Kidd 1979; Aydar vd 2003; Karaoğlu vd 2005). Doğu Anadolu'da Van gölünün güneybatısında bulunan ve Nemrut volkanizmasının ilk ürünleri olan Bitlis ignimbiriti ve bazaltik lavlar bu açılma çatlakları boyunca yüzeye ulaşmış piroklastik akma birimleridir. Volkanizmada kaldera öncesi evrede, pomza ve pliniyen geri düşmeleri İlk fazı, pomza ve litik malzemelerce zengin piroklastikler ise ikinci fazı kapsar. İgnimbiritlerde kaynaşma, derecelenme ve dizilimdeki renk farklılığı devitrifikasyon kadar faz evreleri arasında aşılma süreye bağlıdır (Dávila-Harris., 2009). En son fazdan itibaren gelişen, pliniyen pomza ve kül geri düşme ürünleri geniş alanlar kaplar (Kurttaş vd., 2003; Karaoğlu vd., 2005). 90.000-30.000 yıl aralığında oluştuğu kabul edilen ve kaldera oluşumunun ilk evresinde Nemrut volkanizmasının bazaltik lavları üzerinde gelişen Bitlis ignimbiriti, bazı araştırmacılar tarafından Nemrut ignimbiriti olarak adlandırılmış ve piroklastik akma ürünü olarak tanımlanmıştır (Çubukçu vd., 2012; Ercan vd., 1990; Özdemir vd.,2006). Bu çalışmada, Bitlis ignimbiriti terimi tercih edilmiş olup, Bitlis vadisi boyunca yaklaşık 40 km uzunluk ve 30-40 metre kalınlığa sahip bu istif, Dávila-Harris (2009) tarafından doku, renk, kaynaşma, magmatik bileşenler, fenokristal türü, mineral bileşimleri bakımından farklı fazları temsil eder. Bu çalışmanın amacı, yaklaşık 62.3 km<sup>3</sup> hacmindeki piroklastik malzemenin püskürmesi sonucu gerçekleştiği düşünülen Bitlis ignimbiritinin farklı renk, mineralojik bileşim ve bileşen oranlarını mineralojik ve petrografik incelemelerle ortaya çıkartmaktır.

## 2. Analitik yöntemler

Bitlis ignimbiritini temsil eden ve ignimbiritin farklı renk seviyelerinden alınan 23 adet kayaç örneğinin ince kesitleri, Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında hazırlanmış ve örneklerin petrografik adlanması, doku ve mineral bileşimleri belirlenmiştir. Petrografik incelemeler sonucu seçilen 12 örnek, jeokimyasal analizler için LA-ICPMS yöntemi kullanılması tercihiyle

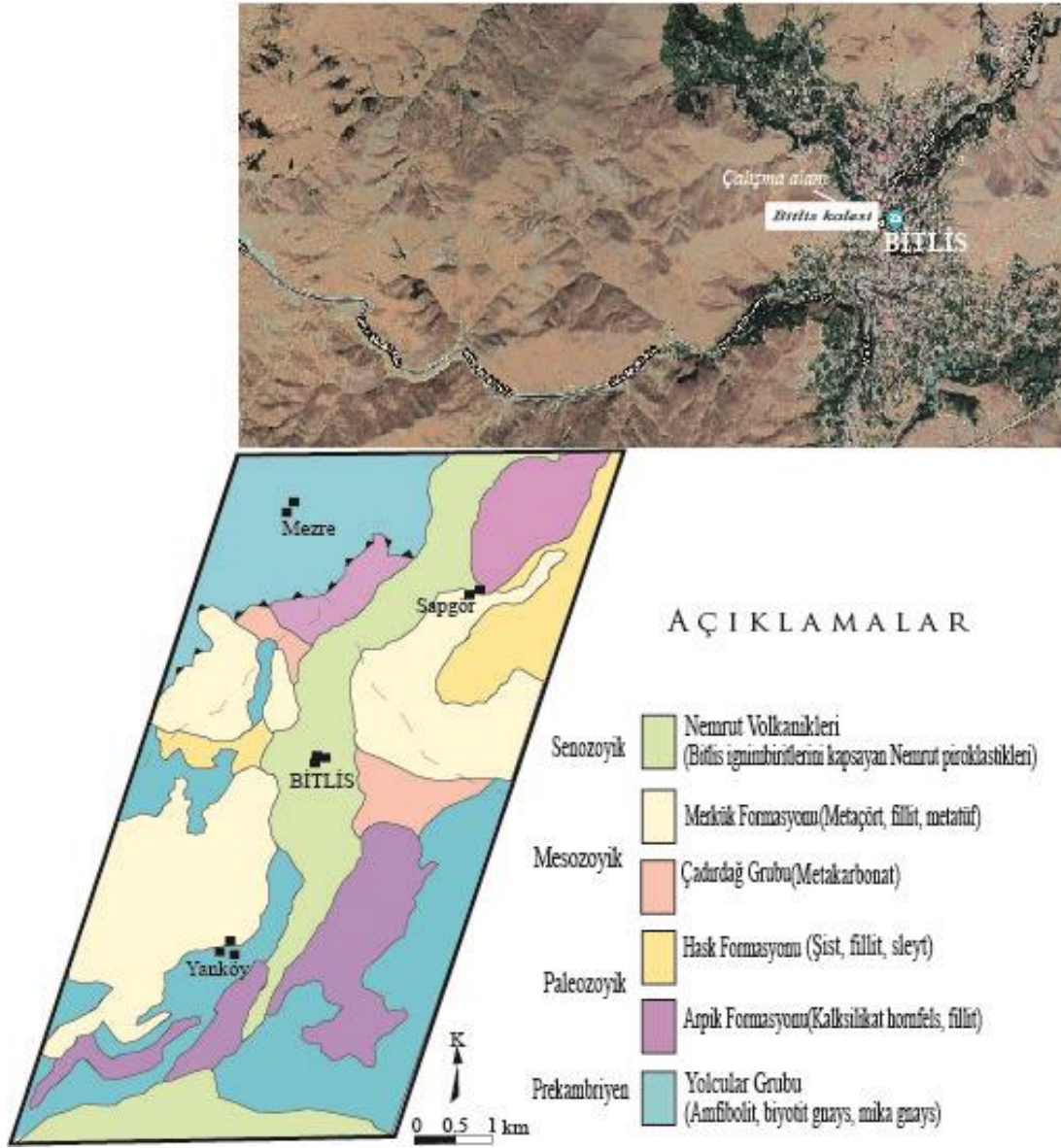
ACME laboratuvarına iletilmiştir (Tablo 1). Major, iz ve nadir toprak elementler 1150 °C'de platin-altın krozeve 1/5 oranında numune ve lityumtetraborat (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) katılarak elde edilmiş ve cam pelletlerde LA-ICP-MS tekniği ile ölçülmüştür.

Piroklastik malzemenin tane boyunun son derece küçük olması ve bileşenlerinin belirlenememesi nedeniyle, X-ray floresans analizi Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Araştırma ve İnceleme merkezinde yapılmıştır. Toz haline getirilen kayaç örnekleri kimyasal analizler için, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Laboratuvarında "Spectro XLAB 2000 PEDXRF (Polarized Energy Dispersive XRF)" cihazı kullanılarak incelenmiştir. Volkanik kayaçlar (andezit, riyolit, baalt) için USGS'in oluşturduğu standartlar kullanılarak kalibre edilmiştir

## 3. Bulgular

### 3.1. Jeoloji

Kuzey-güney doğrultusunda aktif sıkışma rejimi etkisinde yeralan Doğu Anadolu Bölgesi volkanitleri, Pleyistosen-Kuvaterner dönemleri arasında yaygın volkanik faaliyetler sonucu farklı bileşim ve türde kayaç topluluklarından oluşur. Orta Miyosende Arap plakası ile Anadolu plakası arasındaki kıta-kıta çarpışması ile başlayan bu volkanik faaliyet, Neotektonik dönemde K-G doğrultulu açılma çatlaklarına bağlı olarak gelişen volkanik çıkış alanları oluşturur. Genel olarak, alkali ve kalk-alkali karakterli volkanik kayaçlar, bazalttan riyolite kadar değişen bileşimlere sahiptir. Neotektonik dönemden günümüze kadar devam eden sıkışma, kıtasal kabuğun kalınlaşmasına ve gelişen çatlaklardan kısmi ergime ve alttaki üst manto ile karışım sonucunda oluşan yeni malzemenin, yükselerek daha genç yaşlı değişik bileşimli volkanik kayaçların oluşmasını sağlar (Şengün vd., 1991; Şaroğlu vd., 1984,1986; Şengör vd.,1980; Buket vd., 1998). Bitlis ignimbiritinin kaynağı olan Nemrut volkanı, astenosferik manto üzerinde yeralan yığılma prizması ile temsil edilir (Candan vd., 2011). Volkanik kayaç çeşitliliği ve piroklastik malzemenin geniş alanlara yayılımı, 30-40 metre kalınlığa sahip farklı renk ve kaynaşma gösteren piroklastik bir istifin gelişmesine de sebep olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yerbulduru ve jeoloji haritası (Şengün, 1991'den değiştirilerek)

### 3.2. Mineraloji-petrografi

Bitlis ignimbiritinin geniş yayılım gösterdiği Bitlis vadisinde yapılan arazi çalışmaları ve elde edilen mineralojik ve petrografik bulgular koyu gri, pembe ve bej renkli seviyeler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir (Şekil 2). Bu farklılıklar, kısmen mineral içeriği daha çok bileşen oranları, renk farklılığı ve tane bağlanma derecesidir.

Volkanik yay, yay gerisi veya kıta içi alanlarda, fonolit, trakit ve riyolit bileşimli magmaların Yükselme sırasında kısmen kirlenmesi veya magma kimyası bu farklılıklara sebep olabilmektedir (Freundt ve Schmincke, 1995).

Petrografik incelemelerde, kısmen camsı, koyu gri-siyah renk ve iyi kaynaşmış homojen bir yapıya

sahip alt seviye, kırmızımsı-pembe renkli, daha fazla fiamme içeren orta seviye ve soluk sarımsı renk gösteren daha az kaynaşmış, litik bileşenler ve kısmen veziküler yapılu üst seviye olarak üç seviyeden oluşur. Kaynaşma derecesi üst seviyeden alt seviyeye doğru artarken, litik/pümsi parçaları, fiamme ve kayaç parçalarının şekli alttan üste doğru artar (Şekil 2) (Kılıç ve Çakmak, 2019; Riehle, 1973; Koralay ve Kadioğlu, 2008). Kaynaşma ve sıkılaştırma camsı kırıntılarının viskoz deformasyonu sonucu oluşur (Koralay ve Kadioğlu, 2008). Özellikle alt seviye ile orta seviye geçişlerinde, elipsoidal litik parçalar (metamorfik ve volkanik kayaçlar), beyazımsı fibroz pümsi parçacıkları ve kısmende yassılaştırma azalır. Bitlis ignimbiriti, relikt perlitik, hyaloporfirik veya ötakstitik doku (yassılaştırma fiammeler) gösteren alt seviye, ötakstitik ve trakitik dokuya sahip orta seviye ve veziküler dokuya sahip üst seviyeden

oluşur. Bu seviyeler arasındaki farklılık; Renk, kaynaşma derecesi, magmatik süreçler ve sulu akışkanlardan kaynaklanabilir. Kayaç parçaları ve litik parçacıkların şekli, fiammeler, yoğunluk ve yassılaşıma dereceleri bakımından seviyeler arasında kısmen farklılık olmasına rağmen mineral içeriği tüm seviyelerde benzerdir. Akma bantlarına paralel gelişmiş fiammeler ve kısmen yönlenmiş fenokristaller yüksek viskoziteyi yansıtmaktadır. Ayrıca, istifin tabanına yakın kesimlerde bileşenlerin yönsel dokusu azalmıştır. Genel mineral bileşimlerine bakıldığında, ojit, olivin, anortoklaz, sanidin, biyotit, ilmenit ve kuvars görülür (Şekil 2C). Hematit, kuvars ve anortoklaz hem kristal şeklinde hem de hamur malzemesi içerisinde mikrolitler şeklindedir.

Orta seviyedeki belirgin kırmızımsı-pembe rengin doğrudan hamur içerisindeki yaygın demiroksitli/hidroksitli bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmese de, yüksek demiroksit/hidroksit miktarının belirlenmiş olması, kısmen etkilenmeyi desteklemektedir. Kayaç parçaları içerisinde metamorfik kayaç parçalarının da bulunması, piroklastiklerin tabanından kopardıkları parçaları akma sırasında bünyelerine almalarından ve kısmen düşük sıcaklıkta değişime uğratmalarından kaynaklanabilir. Orta seviyede bu parçacıkların oranı diğer seviyelere göre yüksektir.

Pomza, kayaç parçaları ve volkan külleri pliniyen pomza geri düşmeleri yani, kaldera oluşumunun ilk fazında, fiammeler-kayaç parçacıkları ve matris içerisindeki yassılaşımış ve yönlü sanidin mineraline dönüşüm ise faz iki aşamasında gelişmiş olabilir. İkinci faz aynı zamanda devitrifikasyonun akma tamamlanmadan hemen önce mineral sınırları boyunca başladığı faz olmalıdır (Şekil 2 A, B).

### 3.3. Jeokimya

Bitlis ignimbiritinin üç farklı seviyesinden alınan 12 tane örneğe ait tüm kayaç analiz sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Analizi yapılan örneklerin, ana oksit analiz verilerinde  $\text{SiO}_2$  değeri: %60-70 olup ortaç-silisik bileşimlidir. Diğer oksit bileşimlerden  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%5.08-5.76) ve  $\text{MnO}$  (%0.12-0.17) değerleri ise, üst (8,9,11,12 nolu örnekler) ve alt seviyeye (4,7,10 nolu örnekler) göre orta seviyede (1,2,3,5,6 nolu örnekler) yüksektir. Örneklerin artan  $\text{SiO}_2$  içeriklerine rağmen  $\text{MgO}$  içeriklerindeki kısmi artış, ojitin varlığına veya fayalitik olivinin toplanmasına bağlanabilir.

Magmanın özelliklerini belirlemek için hazırlanan, A/NK-A/CNK diyagramında peralümin bileşimli olduğu ve toplam alkali ( $\text{\%Na}_2\text{O}+\text{\%K}_2\text{O}$ )-silis ( $\text{\%SiO}_2$ ) diyagramında görüldüğü üzere ignimbirit örnekleri kalkalkale-toleyitik sınırında olup, traki-dasit alanındadır (Şekil 3). Örneklerdeki volkanik cam oldukça duraysız olup, kolaylıkla devitrifikasyona uğrayarak Kristobalit ve K-feldispat minerallerine dönüşür. Bu durum, kaynak içerisindeki  $\text{K}_2\text{O}$  içeriğinin yüksek olmasıda ignimbirit istifinin ana magma bileşimi kalkalkalen olduğunu işaret etmektedir.

Örnekler Irvine ve Baragar (1971) diyagramında traki-dasit alanında yer alır (Şekil 3B). Ayrıca Peccerillo ve Taylor (1976)'ın önerdiği kalkalkalen ve toleyitik ayrımının yapıldığı ortam diyagramında, toplam alkali ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ), toplam  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{MgO}$  üçgen diyagramında kalkalkalen alanda bulunurlar.

Analizi yapılan örnekler, Maniar ve Piccoli (1989) tarafından önerilen alümino bazlı (A/NK) ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) ve ( $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ) diyagram üzerinde değerlendirilmiş ve oranların alt seviye için 1.52-1.62, orta seviye için 1.48-1.55, üst seviye içinse 1.55-1.94 verileri peralümin özeliği işaret eder.

(Şekil 3A). İz element içeriklerinde, tüm seviyelerin Ba içeriği (494-1068 ppm), Rb 89.2-141.5 ppm, Zr 447.3-747.3 ppm, Sr 58.4-123.4 ppm, Hf 9.4-16 ppm, Y değeri 45.2-68.4 ppm, Nb 27.9-39.4 ppm, Th 11.2-18.3 ppm, Nd 36.1-64.3 ppm ve Ta değeri 1.6-2.6 ppm bakımından benzer özellikler gösterirler. İz element oranlarından Sm/Yb oranı, alt seviyede 1.80-1.90 ppm, orta seviyede 1.48-1.61 ppm, üst seviyede 1.58-1.73 ppm dir. La/Yb oranı ise 10.16-10.38 ppm, 7.76-9.31ppm ve 8.60-10.27ppm dir. Sm/Yb oranı ve La/Yb oranları şoşonitik bileşime uygundur. Örneklerin düşük La/Sm (5-9 ppm) ve Sm/Yb (5-12.5 ppm) oranları, yayla ilişkili olmayan yüksek kısmi ergime derecesini işaret eder (Parker, 1970). Yayla ilişkili ignimbiritlere bir örnek Los Frailes (Porco) ignimbiritidir. Bu ignimbiritte La/Sm (7-9 ppm) ve Sm/Yb (7-12 ppm) dir (Kılıç ve İnceöz, 2015). Uyumsuz iz elementlerden düşük Rb/Sr (0.22-0.30) ve Rb/Ba oranlarının düşük olması piroklastik kayaçların mantodan türeyen eiyiklerden itibaren oluştuğunu işaret etmektedir. Çünkü kabuk kayaçlarının Rb/Sr ve Rb/Ba oranları mantodan türeyen eriyiklere oranla yüksektir (Güçtekin, 2017). Yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları ise kısmen alterasyon, kısmen kristalizasyon süreçleri ve yoğun kabuksal



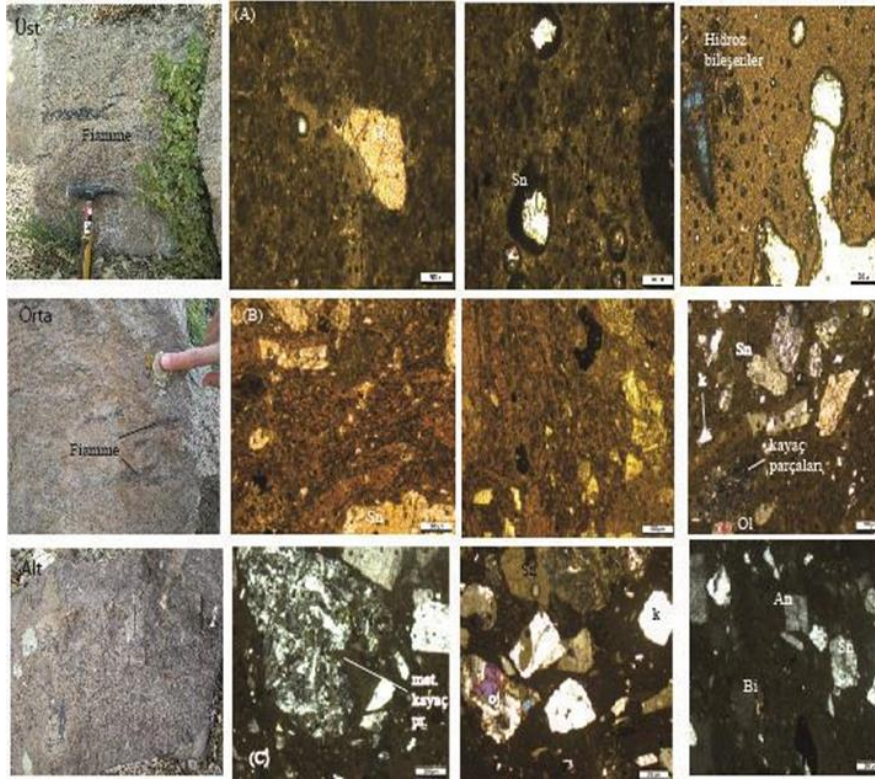
kirlenmenin sonucudur (Özdemir, 2003). Dolayısıyla renk ve bileşen oranı kirlenme, magmatik süreçlere, faz evreleri arasındaki zaman

aralığına bağlanabilirken, ignimbiriti oluşturan kaynak magma aynıdır.

**Tablo 1.** Bitlis ignimbiriti seviyelerinden alınan örneklerin ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri

Ana oksitler	Üst seviye				Orta seviye				Alt seviye			
	8	9	11	12	1	3	5	6	2	4	7	10
SiO <sub>2</sub>	65.3	64.26	64.80	64.73	64.7	63.6	64.67	64.3	64.5	65.4	64.35	65.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.9	15.52	16.15	15.79	15.9	15.6	15.57	16.1	15.1	15.8	15.49	15.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.52	4.90	4.73	4.12	5.16	5.08	5.76	5.34	4.87	4.75	4.83	3.19
MgO	0.12	0.17	0.13	0.14	0.12	0.22	0.19	0.14	0.21	0.18	0.15	0.10
CaO	0.98	1.42	0.97	0.98	1.39	1.46	1.32	1.16	1.31	1.31	1.36	0.94
Na <sub>2</sub> O	5.28	4.83	5.29	5.01	5.37	5.54	5.24	5.38	4.90	5.32	4.90	4.52
K <sub>2</sub> O	4.98	5.00	5.11	5.10	4.98	5.01	4.81	5.04	5.04	5.00	5.09	5.07
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.50	0.51	0.50	0.48	0.40	0.50	0.52	0.42	0.47	0.46	0.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.12	0.11	0.12	0.14	0.07	0.14	0.10	0.07	0.17	0.11	0.10
MnO	0.15	0.07	0.08	0.09	0.12	0.14	0.17	0.14	0.11	0.11	0.07	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.003	<0.002	0.002	0.003	0.002	<0.002	0.003
<b>Ateşte kayıp</b>	1.9	2.9	1.8	2.6	1.3	2.6	1.4	1.4	3.1	1.2	2.9	3.8
A/CNK	1.41	1.37	1.42	1.39	1.35	1.30	1.36	1.39	1.33	1.35	1.36	1.48
Ba	1038	862	1068	999	982	494	1040	982	820	998	864	752
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	8	7	8	6	8	5	10	6	8	9	7	5
Be	5	5	9	6	4	2	4	2	4	5	5	6
Co	1,7	1,8	1,7	1,7	2,4	1,9	2,7	2,3	2,7	2,0	1,7	1,1
Cs	2,8	5,8	2,2	3,5	4,0	3,3	4,1	3,0	5,5	4,7	5,5	5,1
Ga	26,2	26,1	27,0	27,0	26,3	23,8	24,5	25,8	25,7	25,0	27,5	27,2
Hf	14,4	14,0	13,9	11,8	13,9	9,4	13,0	13,6	14,5	13,5	15,0	16,0
Nb	38,4	34,7	39,4	35,5	35,8	34,2	27,9	32,2	34,3	36,0	33,4	34,9
Rb	117,4	130,5	116,9	123,4	128,5	89,2	126,3	123,9	137,8	133,1	134,4	141,5
Sn	6	6	10	6	6	5	5	6	6	5	6	7
Sr	107,2	89,4	110,6	97,2	111,9	68,0	123,4	111,2	64,6	112,5	83,8	58,4
Ta	2.1	2.2	2.0	2.1	2.2	1,6	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,6
Th	17.1	16.0	17.2	16.3	16.7	11,2	15,9	16,6	16,4	15,9	17,5	18,3
Ce	109.7	127.2	107.9	120.8	121.5	80,7	110,0	115,2	124,0	109,3	125,9	135,6
Pr	17.28	15.94	17.81	17.33	13.96	9,70	14,91	14,20	14,68	13,29	15,94	16,10
Nd	64.3	61.8	66.2	65.6	51.6	36,1	59,2	53,7	56,8	47,9	61,3	60,9
Sm	12.98	12.26	13.13	13.10	10.21	7,80	11,43	10,60	11,36	10,07	12,58	12,01
Eu	2.77	2.40	2.03	2,87	2,64	1,61	3,11	2,65	2,20	2,60	2,27	2,03
Gd	11.28	11.46	11,84	11,80	10,49	7,73	11,25	10,05	10,93	9,74	10,1	12,00
Tb	1.98	1.95	1.98	1.93	1.76	1,31	1,89	1,70	1,85	1,66	1,92	1,98
Dy	11.41	11.31	11,70	11,54	10,26	7,94	11,40	10,05	11,37	9,89	11,35	11,77
Ho	2.40	2.37	2,39	2,38	2,31	1,79	2,46	2,17	2,46	2,11	2,39	2,46
Yb	6.83	6.80	7,03	6,85	6,61	5,27	7,40	6,43	7,39	6,57	6,85	7,46
Er	7.44	6.56	6,92	7,38	6,73	5,01	7,53	6,44	7,13	6,85	6,98	7,67
La	70.9	69.1	72.0	71.7	61.6	40,9	61,2	60,2	63,6	58,1	70,4	68,7
Tm	1.05	1.04	1,04	1,02	1,04	0,79	1,09	0,93	1,09	1,01	1,08	1,12
Zr	664.6	747.3	652.1	670.1	632.4	447.3	595.3	664.6	670.5	610.5	651.6	652.1
Y	61.6	66.9	61.5	64.3	57.6	45.2	62.3	61.6	65.2	55.1	63.4	60.1
U	5.2	5.5	5.5	5.5	5.5	3.7	5.3	5.3	5.7	5.5	5.6	6.6
Sm/Yb	1.90	1.80	1.86	1.89	1.54	1.48	1.54	1.61	1.58	1.58	1.73	1.60
La/Yb	10.38	10.16	10.24	10.46	9.31	7.76	8.27	9.36	8.60	8.84	10.27	9.20
La/Ba	0.068	0.080	0.067	0.071	0.062	0.082	0.058	0.061	0.077	0.058	0.081	0.091
La/Nb	1.848	1.971	1.827	2.019	1.720	1.195	2.186	1.875	1.854	1.611	2.107	1.968
Nb/Y	0.623	0.518	0.640	0.552	0.621	0.756	0.447	0.522	0.526	0.653	0.521	0.580
Zr/Nb	17.30	21.53	16.55	18.87	18.71	13.07	21.33	20.65	18.62	16.95	19.75	18.62
Zr/Y	10.78	11.17	10.60	10.42	10.97	9.89	9.55	10.78	10.28	11.07	10.27	10.85
Eu/Eu*	0.22	0.20	0.15	0.16	0.25	0.20	0.27	0.25	0.19	0.26	0.20	0.16
Gd/Gd*	4.74	5.26	5.90	4.37	4.76	5.33	4.50	4.62	5.39	4.57	4.82	5.98
Ce/Ce*	1.59	1.91	1.54	1.73	2.08	2.05	1.83	1.98	1.87	1.86	2.09	2.77



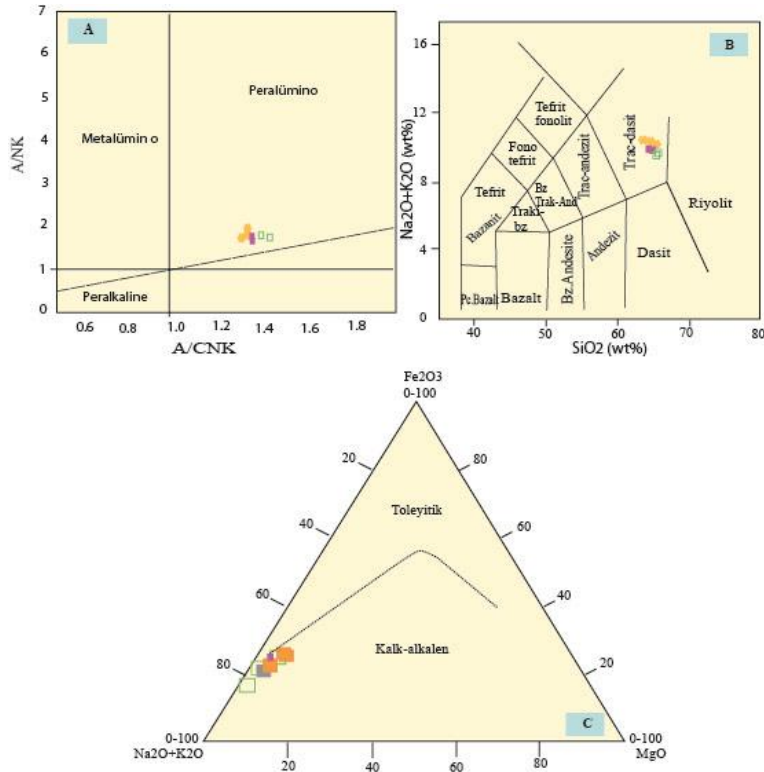


**Şekil 2.** Bitlis İgnimbiritinin farklı seviyelerinin makro ve mikro görüntüsü. A) Tüf genel görünüm ve pomza parçaları, B) Camsı tüf içerisinde sanidin kristali, C) Plajiyoklaz, ojit, kuvars fenokristalleri ve metamorfik kumtaşı parçası

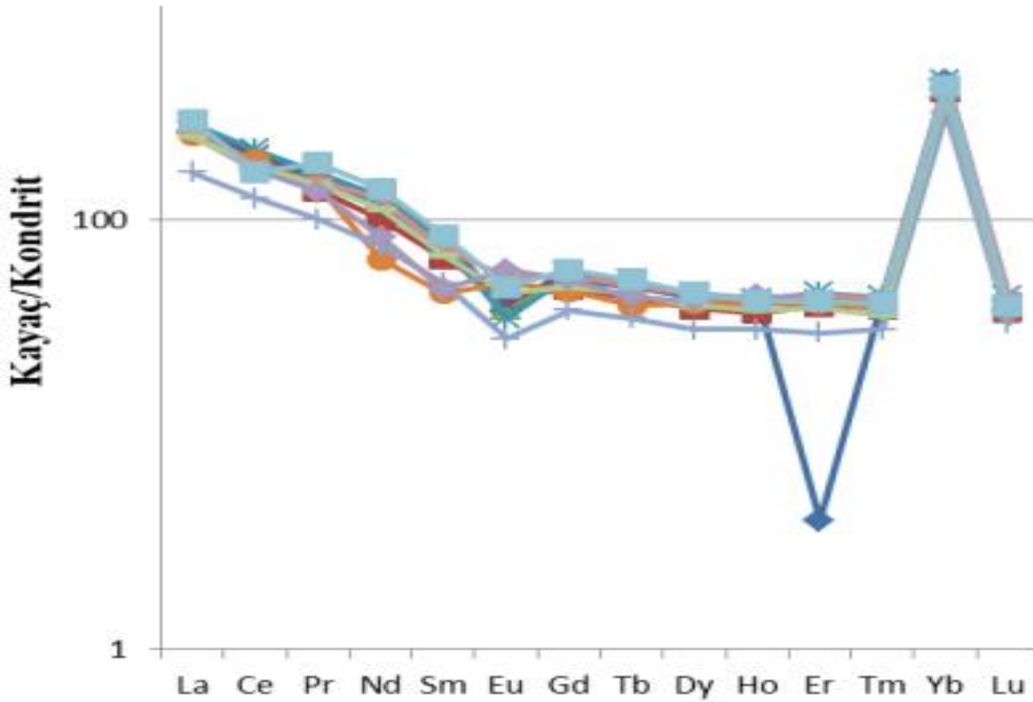
Analizi yapılan ignimbirit örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramında (Şekil 4), Eu ve bir örnekte Er negatif anomali, Yb ise pozitif anomali göstermektedir. Europyumun negatif anomali vermesi feldispatların eriyikten fraksiyonel kristallenme veya kısmi ergimeler ile uzaklaştırılmalarını işaret etmektedir (Rollinson, 1993). Zirkon, sfen gibi minerallerin kalıntı fazda yoğunlaşmasından kaynaklanır. Bu çalışmada,  $Ce/Ce^* = 3 Ce / (2La + Nd)$ ,  $Eu/Eu^* = 3Eu / (2Sm + Tb)$  ve  $Gd/Gd^* = 2Gd / (Eu + Tb)$  oranları bu formüllerle hesaplanmıştır.  $Eu/Eu^*$  ve  $Ce/Ce^*$  oranları kirlenme, kristalleşme ve oksidasyon hakkında önemli bilgi verir. Analiz yapılan örneklerin negatif Eu anomali (Eu/Eu\*=0.21), pozitif Ce/Ce\* (1.94) değerleri ve LILE elementlerin tüketilmiş olması, magma serilerinin oluşumu sırasındaki plajiyoklaz kristalizasyonu veya plajiyoklaz minerali bakımından fraksiyonlaşmaya uğrayan, kıta kabuğu ve kirlenmeyi işaret eder (Pearce, 1983). Kondrite göre normalize edilmiş diyagramlarda (Şekil 5), pozitif Ce, negatif Eu görülür. Bu, hidrotermal akışkanların etkisiyle kirlenmenin işaretidir. İgnimbiritin orta, üst seviyesine ait örnekler, alt seviye örneklerine göre daha düşük Rb, Hf ve Cs, ayrıca negatif Eu, Sr ve Ti anomali, farklılaşma sırasındaki plajiyoklaz fraksiyonlaşmasını, apatit, demiroksit ve/veya

demir-hidrooksit fraksiyonlaşmasının işaretidir (Kaya ve Kılıç, 2018; Ayalew vd., 2002).

İgnimbiritlerde düşük La/Sm (5-9 ppm) ve Sm/Yb (5-12.5 ppm) değerleri, yayla ilişkili olmayan ve kısmi ergime derecesinin yüksek olduğu magmayı işaret eder. Yayla ilişkili olan ve küçük ebatlı patlamalı volkanizma ürünü Los Frailes (Porco) ignimbiritinin La/Sm (7-9 ppm) ve Sm/Yb (7-12 ppm) değerlerinden farklıdır. Ayrıca, üç farklı seviyeden alınmış ignimbiritlerin La/Ba (0.071, 0.068, 0.073), Nb/Y (0.58, 0.58, 0.57) ve Zr/Nb (18.56, 18.44, 18.48) iz element oranları birbirine yakındır. Uyumsuz iz elementlerden düşük Rb/Sr (0.22-0.30) ve yüksek Th/U (3.22-3.47) oranı, ötaktik kristalizasyon veya püskürmenin hemen öncesinde gelişen kristalizasyonu gösterebilir (Mandeville vd., 1996). Analizi yapılan örneklerin yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları kısmen alterasyonu, farklı kristalizasyon süreçlerini ve yoğun kabuksal kirlenmeden kaynaklanabilir. Bileşim, renk ve bileşen oranı bu kirlenme, magmatik süreçler ve faz evreleri arasındaki zaman aralığından etkilenmiş olmakla birlikte, diyagramlardan da görülebileceği gibi aynı magma ürünüdürler. Ancak, sonraki süreçler (kristalizasyon, devitrifikasyon) ignimbirit morfolojisinde belirleyici olmuştur.



Şekil 3. Kayaçların a) K<sub>2</sub>O karşı SiO<sub>2</sub>, b) Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (%) karşı SiO<sub>2</sub> (%) (TAS) sınıflama diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976), c) AFM ayırtman diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).



Şekil 4. İgnimbirit örneklerinin Kondrite göre normalize edilmiş diyagramları (Evensen vd., 1978).

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Bitlis İgnimbiriti, tabandan tavana doğru koyu gri, pembe ve soluk gri/bej renk özelliği gösterir. Mineral bileşimi, fiamme yapısı, rekristalize pümis, skorya, kül ve diğer piroklastik ürünlerin İyi

kaynaşmış olması, akışının İgnimbirit oluşumu sırasında aşırı derecede sıcak olduğunun işaretidir. İgnimbiritin oluşumunda stratosfere yüksek oranda gaz, volkanik kül bırakan ve kısa, yüksek yoğunluklu plinien patlamalı faz, tefra ve yoğunluk akmasının ardından sıcak gaz ve kayaç akışının,

dolayısıyla piroklastik kayalar oluşturulan kaldera çökmesi, pümis ve volkanik kül yayılımını sağlayan fazların işareti olabilir. Pliniyen pomza geri düşmeleri ve pomza akıntısını kapsayan faz 1 ve pomza akıntıları ve tefrayı kapsayan faz 2, Bitlis ignimbiritlerinde mevcuttur. Başlangıç evresi, pliniyen pomza geri düşmeleri ve iyi kaynaklanmış pomza akıntısını kapsayan bu ignimbirit, Nemrut volkanik patlamaları sonucunda, bölgedeki faylarca kesilen kalderada, lav ürünleri ve piroklastik ürünler olarak yerleşmiştir. Kırık veya çatlak yüzeyinden çıkabilen bu lav ürünleri ve yükselen magmanın çevredeki yan kayaların patlamalı volkanik faaliyeti ile oluşan piroklastikleri kapsar. Bitlis ignimbiriti, piroklastik akıntı ürünleri olup. içerisinde pomza. kayalar parçaları. mineraller ve volkan küllerini bulundurlar. İgnimbiritin her seviyesinde, hızlı soğuma sonucu camı görünüm kazanmış ve daha sonra eriyip tekrar katılmış yassı şekilli pomza olan fiammeler yaygındır.

Arazi gözlemleri, mikroskopik ve jeokimyasal incelemeler, kalkalkalin bileşimdeki Bitlis ignimbiritinin, Nemrut volkanına ait küçük hacimli piroklastikler olduğu önceki araştırmacılarında (Ercan vd., 1990; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986) ifade ettiği gibi doğrulanmıştır. Kıtasal kabuğun anateksisiyle oluşan silisik magma ürünü bu istif, kabuksal asimilasyonla birlikte mantodan ayrılan mafik veya andezitik eriyiklerin fraksiyonel kristalizasyonu ürünüdür (Nesbitt, 1979). Genelde kalın, dar yayımlı ve küçük hacimli olan, karasal silisik lavlar; viskozite, püskürme şiddeti ve püskürme hacmi silisik lav akıntılarının büyüklüğünü belirleyen en önemli faktördür. İgnimbiritin seviyeleri arasındaki renk farklılığı, bileşen oranı (kayalar parçaları, pümis, fiamme, cam, kül), kirlenme, magmatik süreçler, faz evreleri arasındaki zaman aralığı ve devitrifikasyon gibi birçok etkene bağlıdır. Kalk-alkalin karakterdeki ignimbirit (Ercan vd., 1990; Özdemir, 2003; Şengün vd., 1991; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Aydar vd., 1964; Freundt, 1995) Nemrut volkanının püskürmesi sırasında büyük patlama hacmine sahip ancak dar bir yayılıma sahip piroklastitlerdir (Nesbitt, 1979). Dar yayılım alanına sahip olması, püskürme kolonunun kısa olmasından veya ince kıtasal kabuktan kaynaklanabilir. Çünkü asitik volkanizma içeriğindeki fazların fazlalığı nedeniyle daha geniş alanlara yayılır. Küçük yayılım hacmine sahip ignimbiritlere bir önemli örnek Doğu-Orta Avrupa'daki Carpathian-Pannonian bölgesindeki ignimbiritler verilebilir (Rao ve Noforesti, 2008). İz element jeokimyası bakımından küçük yayılım hacmine sahip bitlis ignimbiriti ile benzer

özellikler gösterir. Özellikle, yüksek Ba/Sr (1.48-1.92), Ba/Ta (33.0-34.6), Th/La (0.24-0.25) ve Ba/La (11.2-15) oranları her iki ignimbirit türünde de benzer olup, devitrifikasyon, metamorfizma ve yoğun kabuksal kirlenmeyle ilişkilendirilmiştir.

### Teşekkür

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen MF 19.11 nolu proje kapsamında yapılmış, bir çalışmasıdır. Desteklerinden dolayı üniversitemiz BAP birimine teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Ayalew, D., Barbey, P., Marty, B., Reisberg, L., Yirgu, G. and Pik, R., (2002). Source, genesis, and timing of giant ignimbrite deposits associated with Ethiopian continental flood basalts, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 1429–1448. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00834-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00834-1)
- Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, I., Dignonnet, F., Labazuy, P., Şen, E., Bayhan, H., Blumenthal, M. M., and van der Kaaden, G., and Vlodavetz V I. (1964). Turkey & Caucasus. Catalog of active volcanoes of the world and solfatara fields, Rome: IAVCEI 17, 1-23.
- Buket, E. and Temel, A. (1998). Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto-Mus volcanic rocks, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 405-422. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(98\)00064](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(98)00064)
- Candan, O., Oberhanslı, R., Dora O.Ö., Çetinkaplan, M., Koray, E., Rimmel, G., Chen, F. ve Akal, C., (2011). Menderes masifinin Pan-Afrikan temel ve paleozoyik erken tersiyer örtü serilerinin polimetamorfik evrimi. *Maden Tetnik Arama Dergisi*, 142, 123-165, Ankara.
- Çubukçu, H. E, Ulusoy, İ., Ersoy, O, Aydar, E., Şen, E., Gourgaud, A. and Guillou, H. (2012). Mt Nemrut Volcano (Eastern Turkey): Temporal petrological evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 209-210, 33-60. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.08.005>
- Dávila-Harris P., (2009). Explosive ocean-island volcanism: the 1.8–0.7Ma explosive eruption history of Cañadas volcano recorded by the pyroclastic successions around Adeje and Abona, Southern Tenerife, Canary Islands [unpublished Ph.D. Thesis]: Leicester, University of Leicester, UK.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S. and Ui, T. (1990). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkaniklerine

ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu, Maden Teknik Arama Dergisi, 110, 143-164.

- Freundt, A. and Schmincke, H.U. (1995). Eruption and emplacement of a basaltic welded ignimbrite during caldera formation on Gran Canaria, Bulletin of Volcanology, 56, 640-659.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Science, 8, 448-523.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkoglu, M., Köse, O. and Froger, J. L. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation, Turkish Journal of Earth Science, 14, 123-143.
- Kay, S. M., Mpodozis, C. and Coira, B. (1987). Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the central andes (22°S to 33°S Latitude), 258, 4600.
- Kaya, H. ve Kılıç, A.D. (2018). Pütürge metamorfitletindeki amfibolit fasiyesi granatların mineralojisi ve Sm-Nd İzotop jeokimyası, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 499-508. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.411764>
- Kılıç, A. D. ve Çakmak, B. (2019). Bitlis ignimbiritlerinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri, FÜBAP-MF.19.11 Yüksek Lisans Tezi Araştırma Projesi.
- Kılıç, A.D. and İnceöz, M. (2015). Mineralogical, Geochemical and isotopic effect of silica in ultramaphic systems, Eastern Anatolian Turkey, Geochemistry International, 53(4), 369-382. <https://doi.org/10.1134/S0016702915040035>
- Koralay, T. And Kadioğlu, Y.K. (2008). Reasons of different colors in the ignimbrite lithology: Micro-XRF and confocal raman spectrometry method, Spectrochimica Acta Part A, 69, 947-955, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.05.063>
- Kurttaş, T. and Tolluoğlu, A.Ü. (2003). Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 123, 301-312. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(03\)00002-7](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(03)00002-7)
- Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A.R. and Zanettin B. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K.
- Mandeville, C. W., Carey, S. and Sigurdsson, H. (1996). Magma mixing, fractional crystallization and volatile degassing during the 1883 eruption of Krakatau volcano, Indonesia, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 74, 243-274. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(96\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(96)00060-1)
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids, Bulletin Geology Society America, 101, 635-643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101)
- McDonough, W. And Sun, S.S. (1989). The composition of the Earth, Chemical Geology, 120, 223-253.
- Nesbitt, H.W. (1979). Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite, Nature, 279, 206-210.
- Özdemir, Y. (2003). Nemrut Kalderası güneyi'nin jeolojisi, mineralojisi ve petrografisi, The geology, mineralogy and petrography of the southern Nemrut Caldera, MSc Thesis, Yüzüncü Yıl University, Van, Turkey [in Turkish with English abstract, unpublished].
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü. and Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent postcollisional volcanism in Turkey, Chemical Geology, 226, 189-211, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.09.020>
- Parker, A. (1970). An index of weathering for silicate rocks, Geological Magazine, 107, 501-504.
- Pearce, J.A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, N.J. Eds., Continental Basalts and Mantle Xenoliths', Shiva, Cheshire, UK, 230-249.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, Contribution and Mineralogic Petrology, 58, 63-91.
- Rao, K.S. and Noferești, H. (2008). Brittle failure in heterogeneous crystalline rocks, Defence Science Journal, 58(2), 285-294.
- Riehle, J.R. (1973). Calculated compaction profiles of rhyolitic ash-flow tuffs, Geology Society American Bulletin, 84, 2193-2216.
- Rollinson, H.R. (1993). Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. John Wiley & Sons Inc., New York. 352pp.

- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in ocean basins*, Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1984). Doğu Anadolu'nun neotektoniği ve ilgili magmatizması, *Ketin Sempozyumu bildirileri*, 149-162. <https://doi.org/10.25288/tjb.593423>
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, *Maden Teknik Arama Dergisi*, 107, 73-94.
- Şengör, A.M.C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Kitaplığı*, 40s. Ankara.
- Şengün, M., Çağlayan, M. A. ve Sevin, M. (1991). Bitlis Masifi Bitlis-Tatvan- Hizan Şirvan dolayının jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeolojik Etütleri Dairesi, Rapor No: 9105*, Ankara, 1991.



## Atık LDPE'nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi

### *Effect of waste LDPE on the physical and workability properties of asphalt*

Tacettin GEÇKİL<sup>1,a</sup>, Ceren Beyza İNCE<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 01.05.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 07.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.07.2021

#### Öz

Bu çalışmada, bir atık plastik çeşidi olan LDPE'nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için, asfalt ile LDPE arasında bir etkileşim sağlamak amacıyla B 70/100 saf asfaltına asfalt ağırlığının % 2.5'i kadar Trietanolamin (TEOA) kimyasalı eklenmiştir. Elde edilen, asfalt-TEOA harmanına asfalt ağırlığının % 1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında LDPE eklenerek modifiye asfaltlar elde edilmiştir. Saf ve modifiye asfaltların ilk olarak fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve dönel ince film etüvü (RTFO) gibi geleneksel testlerle belirlenmiştir. Ayrıca, asfalt bağlayıcıların sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra, bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri dönel viskozimetre (RV) deneyi ile, kimyasal karakterizasyonu ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve X- ışını kırınımı (XRD) analizleri ile belirlenmiştir. Geleneksel test sonuçlarına göre; LDPE katkı oranının artışıyla modifiye bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve sıcaklık hassasiyetlerinin azaldığı görülmüştür. RV deney sonuçlarına göre, LDPE katkı artışıyla bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının artış gösterdiği görülmüştür. SEM ve XRD analiz sonuçlarına göre, asfalt ile atık LDPE arasında kimyasal bir etkileşimin sağlandığı ve elde edilen asfalt-TEOA-LDPE karışımının homojen ve tek fazlı bir yapıda olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Asfalt, Atık LDPE, Dönel viskozimetre, Karakterizasyon, Modifiye asfalt, SEM

#### Abstract

In this study, the effect of LDPE, a type of waste plastic, on the physical and workability properties of asphalt was investigated. For this, Triethanolamine (TEOA) chemical up to 2.5% by weight of asphalt was added to B 70/100 pure asphalt to provide an interaction between asphalt and LDPE. Modified asphalts were obtained by adding LDPE in the ratios of 1, 2, 3, 4 and 5% of the asphalt weight to the obtained asphalt-TEOA blend. The physical properties of pure and modified asphalts were first determined by conventional tests such as penetration, softening point, ductility and rolling thin film oven (RTFO). In addition, penetration index (PI) values, which are considered as a measure of the sensitivity of asphalt binders to temperature, were also calculated. Then, the workability properties of the binders were determined by rotational viscometer (RV) test, and their chemical characterization was determined by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) analysis. According to traditional test result; It was observed that the hardness of the modified binders increased and their temperature sensitivity decreased with the increase of the LDPE additive ratio. According to the results of the RV test, it was observed that the mixing and compression temperatures of the binders increased with the increase of LDPE additive. According to the results of SEM and XRD analysis, it was observed that a chemical interaction between asphalt and waste LDPE was provided and the resulting asphalt-TEOA-LDPE mixture was homogeneous and single-phase.

**Keywords:** Asphalt, Waste LDPE, Rotational viscometer, Characterization, Modified asphalt, SEM

<sup>\*b</sup> Ceren Beyza İNCE; c.beyzaince@gmail.com, Tel: (0507) 831 55 91, orcid.org/0000-0002-6385-0964

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-8070-6836



## 1. Giriş

Dünya üzerinde artan nüfusla birlikte plastiklerin üretim ve tüketim hızının da giderek artış göstermesi atık malzemelerin birikmesine neden olmakta ve dolayısıyla büyük çevre kirliliği sorunlarıyla birlikte ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde çevre bilincinin yetersiz olması ve çevre koruma yasalarının da yetersiz oluşu sebebiyle bu bölgelerde yeryüzü hızla kirlenmekte ve büyük çevre sorunları meydana gelmektedir (Duranay ve Yılgin, 2016).

Doğaya serbest bırakılan plastikler fiziksel veya mekanik olarak kendi başına ayrılmaz ve parçalanamazlar. Atık plastiklerin doğada kalmasıyla zamanla plastik yığınları oluşur ve bu yığınlar da birçok haşerenin üremesine sebep olarak çeşitli hastalıkların oluşmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu atıklar yakılarak yok edilmeye çalışıldıklarında atmosfere vermiş oldukları zararlı gazlarla ekolojik dengenin tamamen bozulmasına sebep olmaktadır (Jung vd., 2018; Njeru vd., 2006). Tüm bu olumsuz durumlar, atık yönetimi konusunun önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Atık yönetimi konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde çevre ve canlı sağlığının korunması açısından en etkili yöntemin geri dönüşüm olduğu, araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Behl vd., 2014; Jung vd., 2018; Njeru vd., 2006).

Günümüzde en sık kullanılan plastik çeşitleri düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP) ve polistiren (PS)'dir (Geçkil vd., 2020). Bu plastiklerin yaklaşık %40'ını ise alışveriş sektöründe kullanılan taşıma poşetleri olarak bilinen kısa kullanım ömrüne sahip LDPE esaslı plastikler oluşturmaktadır (Almeida vd., 2020).

Bu çalışmada, atık plastik çeşitlerinden biri olan LDPE'nin karayolu mühendisliğinde bir katkı malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

Yol mühendisliğinde bir kaplama çeşidi olan sıcak karışım asfalt (HMA) kaplamalar, belirli bir gradasyona sahip agreganın belirli orandaki asfalt ile uygun karıştırma koşullarında asfalt plentinde karıştırılmasıyla elde edilmektedir. HMA'da az miktarda bulunan asfalt bağlayıcılar, agrega daneleri ile birleştiğinde onları birbirine bağlayarak, düzgün bir kaplama yüzeyi oluşturarak ve iyi bir sürüş konforu sağlarlar (Geçkil ve Seloğlu, 2018).

Asfalt viskoelastik ve termoplastik bir malzeme olması sebebiyle sıcaklık, çevre ve çeşitli trafik yükleri altında HMA kaplamanın farklı davranışlar sergilemesine sebep olmaktadır. Bu durum, HMA kaplamada kalıcı deformasyon, yorulma çatlakları ve düşük sıcaklık çatlakları gibi bozulmalara neden olmaktadır (Airey, 2002; Geçkil ve Seloğlu, 2018). Bu bozulmaları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak ve kaplamanın performansını geliştirmek amacıyla günümüzde çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak asfaltlar modifiye edilmektedir (Tunç, 2007). Modifikasyon için başta polimer kökenli malzemeler olmak üzere çeşitli yağlar, filler malzemeler, kauçuk, elyaflar ve çeşitli çözücüler gibi katkı malzemeleri kullanılmaktadır (Geçkil vd., 2020; Tunç, 2007). Ancak bu katkı malzemelerinden birçoğunun ekonomik olmaması sebebiyle, araştırmacılar son zamanlarda asfalt modifikasyonunda atık malzemeleri kullanmaya başlamışlardır (Ahmedzade vd., 2014).

Bir atık plastik çeşidi ve polimer kökenli bir malzeme olan LDPE'nin asfalt modifikasyonunda kullanıldığı çalışmalarda, LDPE katkısıyla modifiye bağlayıcıların yumuşama noktasının ve viskozitesinin arttığı, penetrasyon ve duktilite değerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Ayrıca LDPE'nin asfaltın reolojik özelliklerinin iyileştirdiği de birçok çalışmada ifade edilmiştir (Al-Hadidy ve Tan, 2009; Nejres vd., 2020; Punith vd., 2007). LDPE'nin sıcak karışımlarda kullanıldığı çalışmalarda ise, karışımların Marshall stabilite, esneklik modülü ve nem duyarlılığına karşı iyileşmeler meydana geldiği görülmüştür (Al-Hadidy ve Tan, 2009; Awwab ve Shbeeb, 2007; Nkanga vd., 2017).

Ancak, LDPE kullanılarak yapılan çalışmalarda LDPE'nin asfalt içerisinde sadece fiziksel olarak dağılım gösterdiği ve asfalt ile herhangi bir kimyasal etkileşim kurmadığı görülmüştür. Bu sebeple LDPE katkısı asfalt modifikasyonunda genellikle farklı polimerle birlikte kullanılmıştır. Çünkü LDPE'nin özgül ağırlığının asfaltın özgül ağırlığından düşük olması sebebiyle karıştırma sonrasında LDPE yüzeyde kalarak karışımın farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu durum, LDPE katkılı bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki depolama stabilitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar asfalt ile kimyasal reaksiyon oluşturabilen polimerler üretimine (reaktif terpolimerler gibi) veya polimer ile asfalt arasında kimyasal reaksiyon oluşturabilen çeşitli katkılar kullanmaya başlamışlardır (Ahmedzade vd., 2014; Jasso vd., 2015; Polacco vd., 2015).

Bu çalışmada ise, atık LDPE katkısının asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, asfalt ile LDPE arasında kimyasal bir etkileşim sağlamak ve homojen tek fazlı yapıda bir karışım elde etmek amacıyla TEOA kimyasalı kullanılmıştır. Çalışmada, atık LDPE modifiyeli asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve RTFO gibi geleneksel testlerle, işlenebilirliği RV deneyiyle, karakterizasyonu ise SEM ve XRD analizleriyle belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

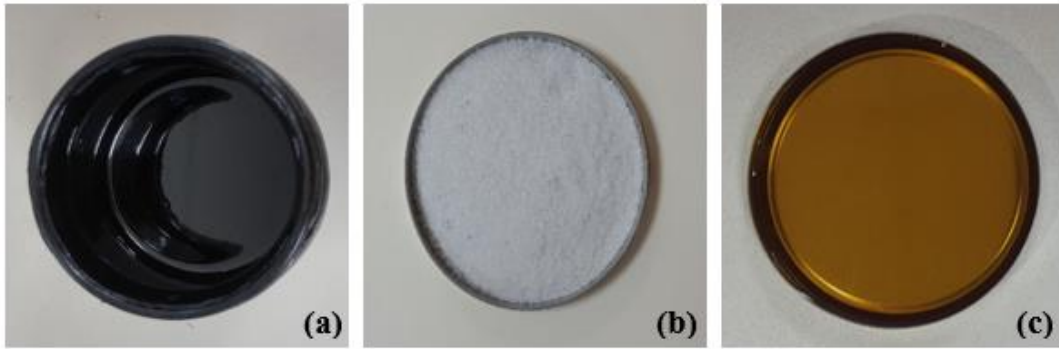
### 2.1. Materyal

Çalışmada, modifikasyon için penetrasyon sınıfı B 70/ 100 saf asfalt, atık LDPE ve asfalt ile LDPE

arasında kimyasal reaksiyon sağlamak için TEOA kullanılmıştır. TEOA, amin grubu bir kimyasal olması sebebiyle bir yapıya kolaylıkla bağlanabilen organik bir baz türüdür. TEOA kullanımı ile asfalt ve LDPE arasında kimyasal bir bağ kurularak faz ayrışması sorunu ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Kullanılan malzemeler Şekil 1’de, saf asfaltın geleneksel özellikleri ise Tablo 1’de verilmiştir.

Katkı olarak kullanılan atık LDPE, Bursa-SÖZAL Kimya LTD.ŞTİ.’den tedarik edilmiştir. LDPE’nin kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Asfalt ile LDPE arasında kimyasal bir etkileşim sağlamak amacıyla kullanılan TEOA’nın özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Saf asfalt (a); atık LDPE (b); TEOA (c)

Tablo 1. Saf asfaltın özellikleri

Özellik	Standart	Limit	Sonuç
Penetrasyon (0.1 mm)	ASTM D5	70-100	88
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	43-51	46.75
Düktilite (cm)	ASTM D113	min. 100	>100
Parlama noktası (°C)	ASTM D92	min. 230	238
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM D70	1.0-1.1	1.038

Tablo 2. LDPE’nin özellikleri (Beşergil, 2008; Sen vd., 2015)

Özellik	LDPE
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0.910-0.925
Sertlik (D)	41-46
Erime noktası (°C)	105-115 °C
Çekme dayanımı (MPa)	7-40
Elastik modül (GPa)	0.07-0.3
Uzama (%)	90-800

**Tablo 3.** TEOA'nın özellikleri (Geçkil vd., 2020)

Özellik	TEOA
Kimyasal formül	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>
Molar kütle	149.19 gr/mol
Kaynama noktası (°C)	335.4 (°C)
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1.12 gr/cm <sup>3</sup>
Yapı	Bazik

## 2.2. Metot

Çalışmada, LDPE katkılı bağlayıcılar elde etmek amacıyla, ilk olarak 160 °C sıcaklığa kadar ısıtılan saf asfalta ağırlıkça %2.5'i kadar TEOA ilave edilerek karıştırma işlemi 500 devirde 10 dakika boyunca Şekil 2'deki karıştırma cihazıyla yapılmıştır. TEOA oranı, karıştırma süresi ve devir sayısı laboratuvarında gerçekleştirilen ön çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Daha sonra, asfalt ağırlığının %1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında LDPE ilave edilerek, 1000 devirde 50 dakika boyunca aynı sıcaklıkta karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Tüm modifiye asfaltların hazırlanmasında aynı prosedür takip edilmiştir.

Saf ve LDPE katkılı asfaltlar çalışmada sırasıyla B, B+%1L, B+%2L, B+%3L, B+%4L ve B+%5L olarak kodlanmıştır.



Şekil 2. Karıştırma cihazı

## 3. Deneysel yöntem

Saf ve LDPE katkılı asfalt bağlayıcıların ilk olarak fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve dönel ince film etüvü (RTFO) gibi geleneksel testlerle tespit edilmiştir. Ayrıca bağlayıcıların sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak bilinen Penetrasyon İndeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri dönel viskozimetre (RV) deneyi ile, kimyasal karakterizasyonu ise taramalı elektron mikroskobu

(SEM) ve X- ışını kırınımı (XRD) analizleri ile belirlenmiştir.

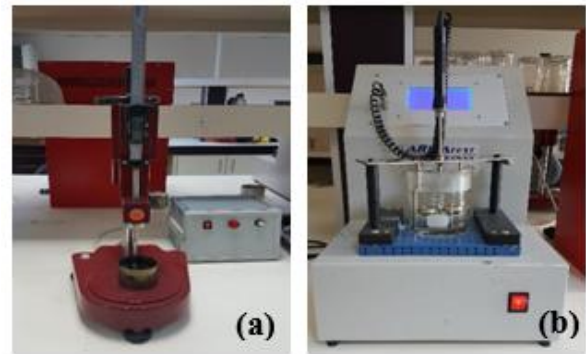
### 3.1. Saf ve LDPE katkılı asfaltların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

#### 3.1.1. Penetrasyon deneyi

ASTM D5 standardına göre asfalt bağlayıcıların sertliğini veya kıvamını belirlemek amacıyla penetrasyon deneyi gerçekleştirilmektedir. Deney, 100 gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta 5 saniye süreyle asfalt içerisinde ilerlediği düzey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Birimi 10<sup>-1</sup> mm olan deneyde kullanılan penetrasyon cihazı Şekil 3a'da verilmiştir.

#### 3.1.2. Yumuşama noktası deneyi

ASTM D36 standardına göre gerçekleştirilen yumuşama noktası deneyinde asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmeyi amaçlar. Deney, üzerine standart bir bilye yerleştirilmiş olan asfalt bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda gevşemiş bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklık ölçülerek gerçekleştirilir. Yumuşama noktası cihazı Şekil 3b'de verilmiştir.



Şekil 3. Penetrasyon (a) ve yumuşama noktası (b) cihazı

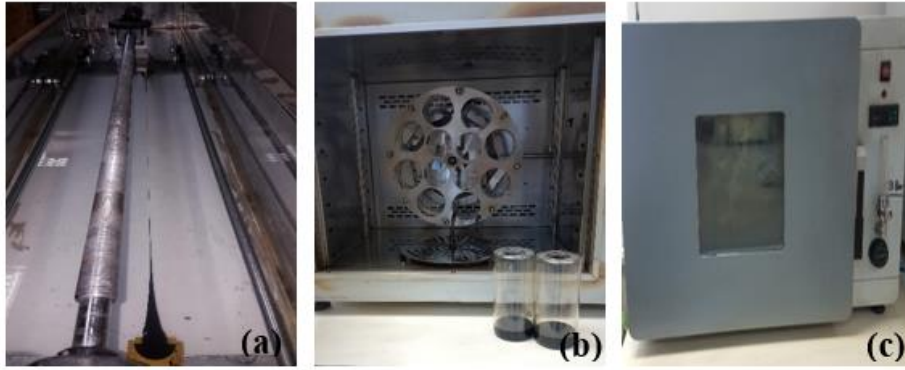
### 3.1.3. Düktilite deneyi

ASTM D113 standardına göre gerçekleştirilen düktilite deneyinde asfalt bağlayıcıların uzama kabiliyeti ve kohezyon mukavemetini belirlenir. Deney, standart kalıp içerisinde hazırlanmış asfaltın, 25°C sıcaklıkta ve 5cm/dakika hızla her iki ucundan çekilerek kopuncaya kadar uzadığı mesafenin cm cinsinden ifadesidir. Düktilite cihazı Şekil 4a’da verilmiştir.

### 3.1.4. RTFO deneyi

Asfalt bağlayıcıların zaman içerisinde sıcaklık, basınç ve diğer çevre etkileri ile bünyelerinde meydana gelen kayıp “yaşlanma” olarak ifade edilmektedir. Bağlayıcıların servis öncesi süreçte (karıştırma-sıkıştırma, taşıma ve depolama gibi)

sıcaklık ve hava etkileriyle yaşlanması “kısa süreli yaşlanma” olarak isimlendirilmektedir. Laboratuvar ortamında asfalt bağlayıcıların kısa süreli yaşlanması dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile simüle edilmektedir. RTFOT, ASTM D2872 standardına göre gerçekleştirilir ve deneyde asfalt bağlayıcıdan 35gr’lık numuneler alınarak bu numuneler özel şişeler içerisine doldurulur (Şekil 4b). Daha sonra, bu şişeler 163 °C sıcaklıkta dakikada 15 devir yapacak şekilde ayarlanmış olan RTFOT cihazına (Şekil 4c) yerleştirilir ve 80 dakika boyunca şişelere 4000±200 mL/dak olacak şekilde hava verilerek numuneler yaşlandırılır. Deney bitiminde asfalt bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelmiş olan kütle kaybı, ilk kütle ile son kütle arasındaki farkın ilk kütleyle bölünmesi ile belirlenmektedir (Geçkil ve Seloğlu, 2018).



Şekil 4. Düktilite cihazı (a), RTFOT şişeleri (b) ve RTFOT cihazı (c)

Fiziksel özellikleri tespit edilen asfalt bağlayıcıların, sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \times \log(Pen_{25}) - 20 \times SP}{50 \times \log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (1)$$

Denklem 1’de yer alan  $Pen_{25}$ , bağlayıcıların 25 °C’deki penetrasyon değerini,  $SP$  ise yumuşama noktası değerini ifade etmektedir. PI değerinin artması, asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ve sertliğinin arttığını göstermektedir. Sıcak karışım hazırlanırken yüksek PI değerine sahip bir asfalt kullanıldığında, karışımların kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli hale geldiği değerlendirilmektedir (Geçkil ve Seloğlu, 2018).

### 3.2. Saf ve LDPE katkılı asfaltların işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi

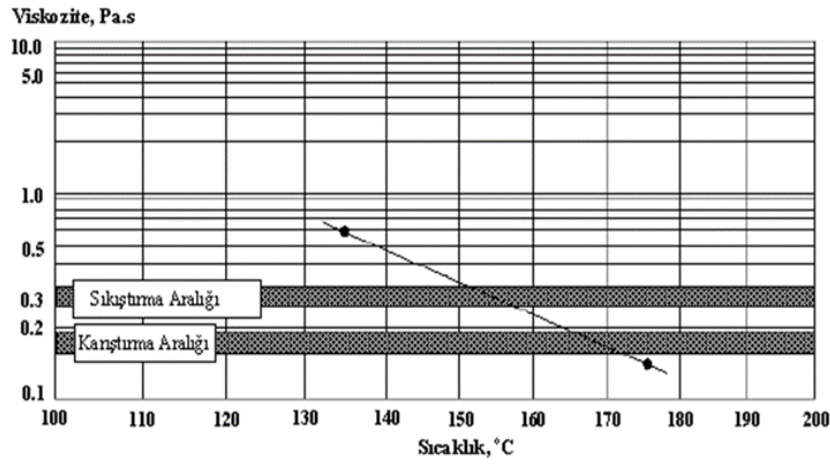
Asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özelliklerinin tayin edilmesinde RV

deneyi uygulanmaktadır. Deney, ASTM D 4402 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Bağlayıcıların 135 ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerleri kullanılarak pompalanma, karıştırma ve sıkıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespit etmek amacıyla belirlenmektedir. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için Amerikan Asfalt Enstitüsü tarafından, bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C’deki viskozite değerlerinin tespit edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, bağlayıcıların 135°C’deki viskozite değerlerinin 3000 cP’yi aşmaması beklenmektedir. Deney bitiminde elde edilen viskozite değerleri yardımıyla bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği çizilmekte ve buradan HMA’nın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları da belirlenebilmektedir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespit edilmesi için sırasıyla 170±20 ve 280±30 cP viskozite sınırlarına karşılık gelen sıcaklık aralıklarının kullanılması önerilmektedir (Geçkil, 2008). Deneyde kullanılan RV cihazı Şekil 5’te, asfalt bağlayıcıların tipik viskozite-sıcaklık eğrisi ise Şekil 6’da verilmiştir.





Şekil 5. RV cihazı



Şekil 6. Asfalt Bağlayıcı İçin Tipik Viskozite Eğrisi (Geçkil, 2008)

### 3.3. Saf ve LDPE katkılı asfaltların kimyasal karakterizasyonu

Asfalt bağlayıcıların kimyasal karakterizasyonunda birçok analiz kullanılsa da SEM ve XRD bunlardan en sık kullanılanlarıdır. Asfalt+katkı malzemesinin uyumu ve faz yapıları SEM görüntüleri yardımıyla belirlenmektedir

(Mazumder vd., 2018). Asfalt bağlayıcının yapısındaki kristal, amorf vb. bölgeleri tanımlamak ve asfaltın yapısal özelliklerini analiz etmek için XRD analizi kullanılmaktadır (Alhumaidan vd., 2015). Çalışmada saf ve LDPE katkılı asfalt bağlayıcıların SEM görüntülerini ve XRD desenlerini elde etmede kullanılan cihazlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. SEM (a) ve XRD (b) cihazı

#### 4. Deneysel bulgular

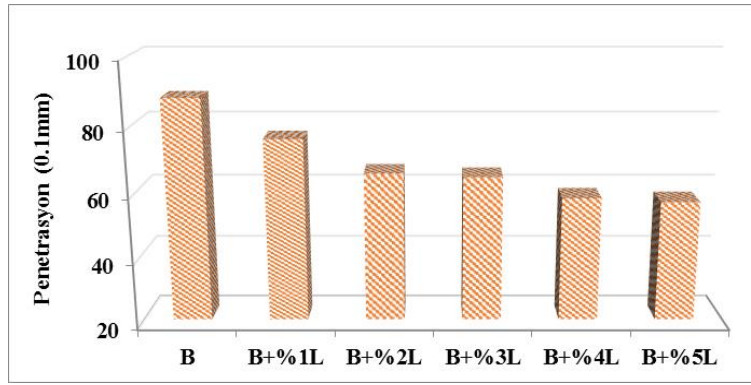
##### 4.1. Fiziksel test sonuçları

Saf ve LDPE katkılı asfalt bağlayıcıların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası,

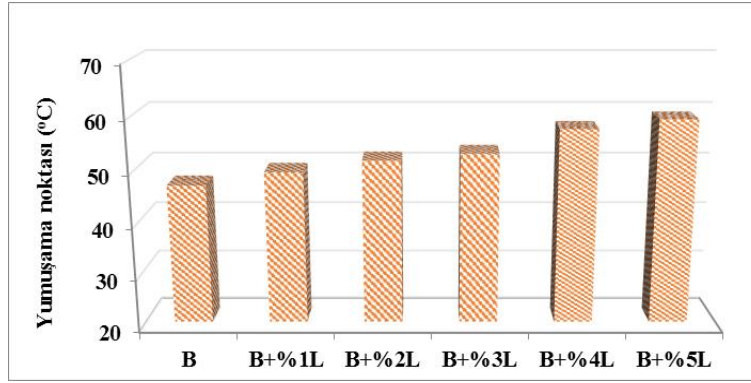
düktilite ve RTFO deneyi ile belirlenmiştir. Ayrıca tüm bağlayıcıların PI değerleri de hesaplanarak elde edilen tüm sonuçlar Tablo 4’de, bağlayıcıların fiziksel özelliklerinin LDPE içeriklerine göre değişimi ise sırasıyla Şekil 8-10’da verilmiştir.

**Tablo 4.** Fiziksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türü					
	B	B +%1L	B +%2L	B +%3L	B +%4L	B +%5L
Penetrasyon (0.1mm)	88	75.9	65.6	64.5	58.1	56.9
Yumuşama noktası (°C)	46.8	49.3	51.5	52.8	57.4	59.2
Düktilite (cm)	117	112	108	106	101	99
PI	-0.63	-0.34	-0.17	0.11	0.88	1.20
<i>RTFOT sonrası</i>						
Kütle kaybı (%)	0.23	0.54	0.56	0.57	0.58	0.53



**Şekil 8.** Bağlayıcıların penetrasyon değişimleri



**Şekil 9.** Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimleri

Şekil 8’de görüldüğü gibi, saf asfalta (B) LDPE katkısıyla modifiye bağlayıcıların penetrasyon değerlerinde saf asfalta kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %13.8; %25.5; %26.7; %33.9 ve %35.3 azalma şeklindedir. LDPE ilavesiyle oluşan bu sertleşmenin doğal bir sonucunda modifiye bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinde de değişimler meydana gelmiştir (Şekil 9). Bu değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %5.3; %10; %12.8; %22.6 ve %26.5 artış şeklindedir.

Şekil 10 incelendiğinde, LDPE artışıyla bağlayıcıların düktilite değerlerinde değişimler meydana geldiği görülmektedir. Bu değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %4.3; %7.7; %9.4; %13.7 ve %15.4 azalma şeklindedir.

Elde edilen bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, penetrasyon ve yumuşama noktası sonuçlarına göre, modifiye bağlayıcıların kıvamında önemli sertleşme meydana geldiği ve asfalt sınıfının B 50/70 olarak değiştiği

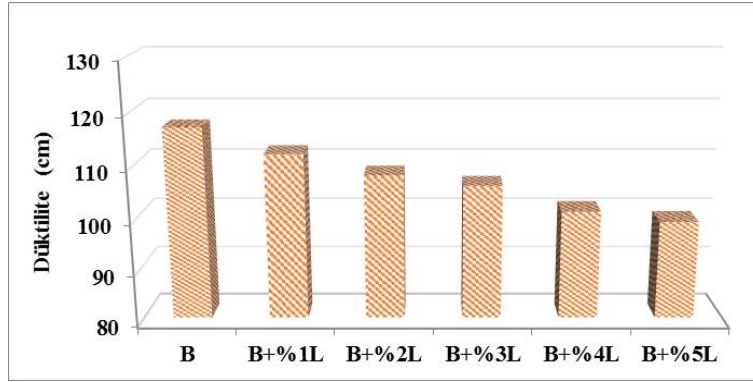


görülmektedir. Bu durumda, modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklığın hüküm sürdüğü bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı kullanılabileceği ifade edilebilir. Düktilite değerlerinde meydana gelen azalmalar modifiye bağlayıcıların uzama yeteneğinde kısmi bir azalma olduğunu ve buna bağlı olarak kohezyon yeteneğinin düştüğünü göstermektedir. Ayrıca artış ve azalış oranlarının %4 LDPE oranında pik yaptığı, bu orandan sonra değişimlerin azaldığı görülmektedir.

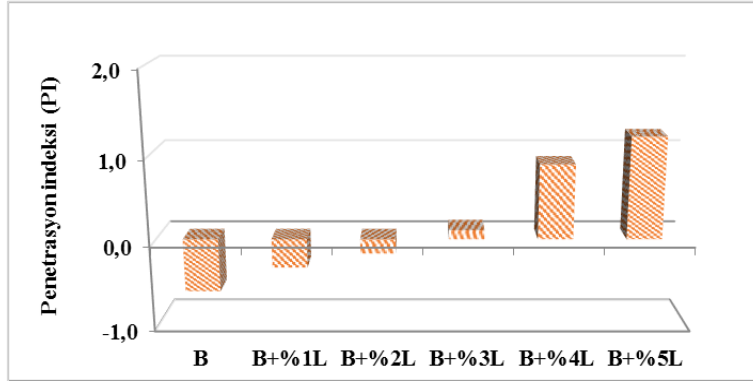
B 70/100 saf asfaltına LDPE ilavesiyle elde edilen modifiye bağlayıcıların PI değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 11’de verilmiştir.

Şekil 11’de, saf asfalta LDPE ilavesiyle modifiye bağlayıcıların PI değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. PI değerlerindeki artış, asfalt bağlayıcıların kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Bu durumda, LDPE katkısıyla modifiye bağlayıcıların sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin azaldığını söylemek mümkündür.

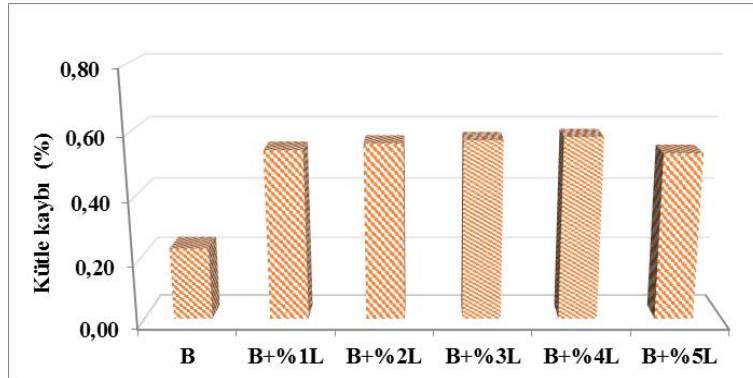
Saf ve LDPE katkılı bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelen kütle kaybı değişimleri Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 10. Bağlayıcıların düktilite değişimleri



Şekil 11. Bağlayıcıların PI değişimleri



Şekil 12. Bağlayıcıların kütle kaybı değişimleri

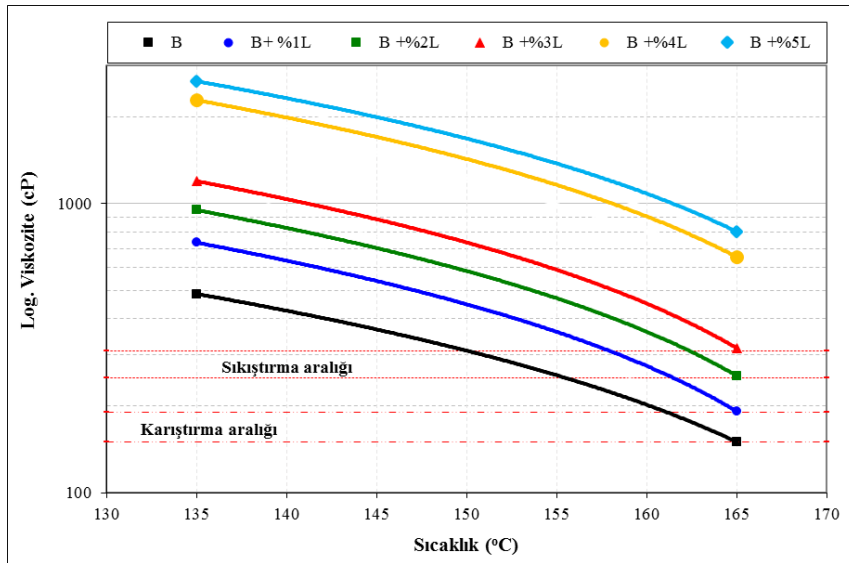
Şekil 12 incelendiğinde, LDPE katkısıyla bağlayıcıların bünyelerinde oluşan kütle kayıplarının şartnamenin öngördüğü sınırın (maks. 0.8) oldukça altında olduğu görülmektedir. Bu durum, LDPE katkısının modifiye bağlayıcıların yaşlanması veya sertleşmesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Ayrıca LDPE modifiyeli bağlayıcıların sıcaklık ve oksidasyona karşı dirençli olduğunu da söylemek mümkündür.

#### 4.2. RV test sonuçları

Saf ve LDPE katkılı bağlayıcıların, 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerleri Brookfield DV-III cihazı kullanılarak belirlendi. Asfalt bağlayıcıların işlenebilirlik sıcaklıkları olan plentteki karıştırma ve yoldaki serme sıcaklıkları, belirlenen bu viskozite değerleri yardımıyla oluşturulan sıcaklık-viskozite grafiği yardımı ile tespit edildi. Saf ve LDPE katkılı bağlayıcıların sıcaklık-viskozite grafiği Şekil 13'te, ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları ise Şekil 14'de verilmiştir.

Şekil 13'te görüldüğü gibi, LDPE katkı ilavesiyle modifiye bağlayıcıların viskozite değerleri (135 °C ve 165 °C) önemli oranda artış göstermiştir. Bu artışlar, 135 °C'de saf asfalta kıyasla sırasıyla %50.4; %94.9; %145.3; %367.5 ve %443.6; 165 °C'de ise %27.8; %69.5; %111.3; %336.1 ve %433.3 gibi yüksek oranlarda meydana gelmiştir.

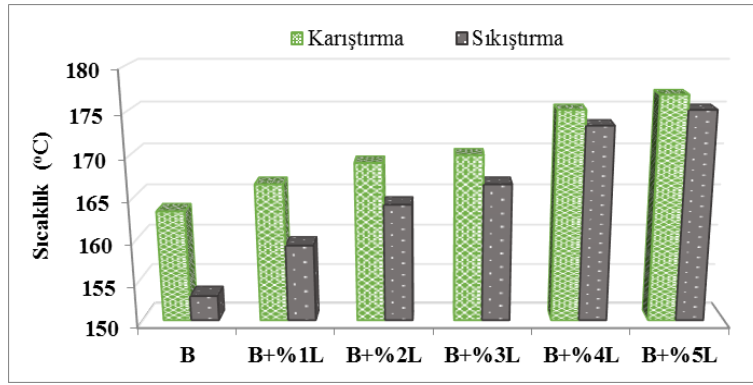
Bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarındaki değişim ise (Şekil 14) saf asfalta kıyasla sırasıyla karıştırma için %2.0; %3.5; %4.0; %7.2 ve %8.3; sıkıştırma için %4.1; %7.3; %8.8; %13.3 ve %14.4 artış şeklindedir. Meydana gelen bu artışlar dikkate alındığında, artış hızının %4 oranından sonra azalmaya başladığı görülmektedir. Bu sonuçlarına göre, LDPE katkısı ile bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve yüksek sıcaklıklardaki akışkanlık özelliklerinin büyük oranda azaldığı, bunun sonucunda ise ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının saf asfalta kıyasla artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 13. Bağlayıcıların sıcaklık-viskozite ilişkisi

Bu durum, LDPE katkılı bağlayıcıların plentte karıştırma ve yolda serme esnasında enerji sarfiyatını arttırabileceğini ifade etmektedir. Ancak, atık LDPE katkısının çevreye ve canlılara

vermiş olduğu zararlar ve HMA kaplamada göstereceği yararlar göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceği değerlendirilmektedir.



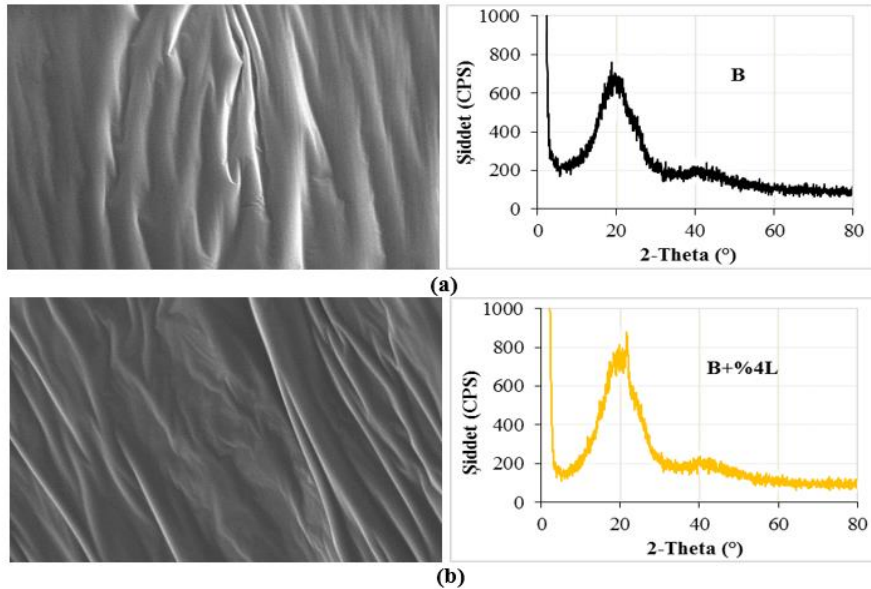
Şekil 14. Bağlayıcıların ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları

#### 4.3. Karakterizasyon sonuçları

Çalışmada saf ve LDPE katkılı bağlayıcıların kimyasal yapısında meydana gelen değişimler SEM ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Bu amaçla saf asfalt (B) ile kritik oran olan B+%4L bağlayıcılarının SEM görüntüleri ve XRD desenleri Şekil 15’de verilmiştir.

Şekil 15a’da saf asfaltın (B) SEM görüntüsü incelendiğinde, yapının oldukça homojen ve tek fazlı olduğu görülmektedir. Saf asfalta %4 LDPE+TEOA ilave edildiğinde ise (Şekil 15b), saf asfaltta olduğu gibi homojen ve tek fazlı bir yapının korunduğu görülmektedir. Saf asfaltın (B) XRD deseni incelendiğinde ise, iki farklı

makromoleküler yapının mevcut olduğu görülmektedir.  $2\theta \cong 20^\circ$  civarında elde edilen ilk pik geniş ve yayvan olan kristalin bölgeyi,  $2\theta \cong 40^\circ$  civarında elde edilen ikinci pik ise daha az alana sahip olan amorf bölgenin varlığını göstermektedir. B+%4L bağlayıcısının XRD deseninde ise saf asfalta göre pik şiddetinin ( $2\theta \cong 20^\circ$ ) arttığı ve kristalin bölgelerin kısmen arttığı, ancak LDPE katkısıyla  $2\theta \cong 40^\circ$  civarındaki pikin giderek yayvanlaşmaya başladığı ve amorf yapının giderek arttığı görülmüştür. Bu durum, LDPE katkısının asfalt+TEOA harmanıyla birleştiğinde yapıyı amorflaştırıldığı ve kimyasal bir reaksiyona girdiği olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 15. Bağlayıcıların SEM görüntüleri ve XRD desenleri; (a) B; (b) B+%4L

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir atık plastik çeşidi olan LDPE’nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Penetrasyon sonuçlarına göre, LDPE katkı oranının artışı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve penetrasyon sınıfı B 50/70 asfalta dönüştüğü görülmüştür.

2. Yumuşama noktası sonuçlarına göre, elde edilen sonuçların penetrasyon sonuçları ile uyumlu olduğu ve LDPE katkısıyla bağlayıcıların sertleşmesi sonucunda yumuşama noktası değerlerinin de yükseldiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre, LDPE katkısıyla modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki deformasyon direncinin arttığı ve daha sıcak bölgelerde kullanılabilmesi görülmüştür.

3. Düktilite sonuçlarına göre, LDPE katkısıyla modifiye bağlayıcıların uzama kabiliyetinin ve kohezyon mukavemetinin azaldığı görülmüştür.

4. PI sonuçları değerlendirildiğinde, LDPE ilavesiyle bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin azaldığı görülmüştür.

5. Kütle kaybı sonuçlarına göre, LDPE katkısının modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklık ve oksidasyon direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

6. RV sonuçlarına göre, LDPE katkısıyla bağlayıcıların akıcılıklarının azaldığı ve bunun sonucunda bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının artış göstererek daha fazla enerji tüketimi gerektireceği görülmüştür. Ancak, atık LDPE'nin çevreye ve canlılara vermiş olduğu zararlar göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceği ifade edilebilir.

Sonuç olarak, atık LDPE'nin asfaltın kıvamını sertleştirdiği ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarını arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak, LDPE'nin karayolu mühendisliğinde bir katkı olarak kullanılmasının, bu atıkların çevreye ve canlılara vermiş olduğu zararları azaltacağı ve ülke ekonomisine bir katma değer sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Biriminin **İÜ-BAP FYL 2016/99** numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

Ahmedzade, P., Fainleib, A., Günay, T. and Grygoryeva, O. (2014). Modification of bitumen by electron beam irradiated recycled low density polyethylene. *Construction and Building Materials*, 69, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.027>

Airey, G.D. (2002). Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens. *Construction and Building Materials*, 16(8), 473-487. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00103-4)

Al-Hadidy, A.I. and Tan, Y. (2009). Evaluation of pyrolysis LDPE modified asphalt paving materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(10), 618-623. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:10\(618\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:10(618))

AlHumaidan F.S., Hauser, A., Rana, M.S., Lababidi, H.M.S. and Behbehani M. (2015). Changes in asphaltene structure during thermal cracking of residual oils: XRD study. *Fuel*, 150, 558-564. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.076>

Almeida, A., Capitaio, S., Bandeira, R., Fonseca, M. and Picado-Santos, L. (2020). Performance of AC mixtures containing flakes of LDPE plastic film collected from urban waste considering ageing. *Construction and Building Materials*, 232, 117253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117253>

Awwab, M.T. and Shbeeb, L. (2007). The use of polyethylene in hot asphalt mixtures. *American Journal of Applied Sciences*, 4(6), 390-396.

Behl, A., Sharma, G. and Kumar, G. (2014). A sustainable approach: utilization of waste PVC in asphaltting of roads. *Construction and Building Materials* 54, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.050>

Besergil, B. (2008). *Polimer kimyası (ikinci baskı)*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Duranay, N. ve Yılmaz, M. (2016). Atık plastiğin kömür ve biokütle ile birlikte yakılarak değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (2), 35-42.

Geçkil, T. (2008). Siyah karbonun bitümlü sıcak karışımların özelliklerine etkisinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Geçkil, T. and Seloğlu, M. (2018). Performance properties of asphalt modified with reactive terpolymer. *Construction and Building Materials*, 173, 262-271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.036>

Geçkil, T., Önal, Y. ve İnce, C.B. (2020). Atık polietilen tereftalat (PET) ile Modifiye edilmiş saf bitümün fiziksel, morfolojik ve ısıl özellikleri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,

- 32(1), 157-166.  
<https://doi.org/10.35234/fumbd.618218>
- Jasso, M., Hampl, R., Vacin, O., Bakos, D. and Zanzotto, L. (2015). Rheology of conventional asphalt modified with sbs, elvaloy and polyphosphoric acid. *Fuel Processing Technology*, 140, 172-179.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.09.002>
- Jung, M.R., Horgen, F.D. and Orski, S.V. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704–716.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Mazumder, M., Ahmed, R., Ali, A.W. and Lee, S.J. (2018). SEM and ESEM techniques used for analysis of asphalt binder and mixture: A state of the art review. *Construction and Building Materials*, 186, 313-329.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.126>
- Nejres, M., Mustafa, Y.F. and Aldewachi, H.S. (2020). Evaluation of natural asphalt properties treated with egg shell waste and low density polyethylene. *International Journal of Pavement Engineering*, 1029-8436.  
<https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1728534>
- Njeru, J. (2006). The urban political ecology of plastic bag waste problem in Nairobi, Kenya. *Geoforum*, 37, 1046–1058.
- Nkanga, U.J., Joseph, J.A., Adams, F.V. and Uche, O.U. (2017). Characterization of bitumen/plastic blends for flexible pavement application. *Procedia Manufacturing*, 7, 490-496.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.051>
- Polacco, G., Filippi, S., Merusi, F. and Stastna, G. (2015). A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility. *Advances in Colloid and Interface Science*, 224, 72-112.  
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>
- Punith, V.S. and Veeraragavan. A. (2007). Behavior of asphalt concrete mixtures with reclaimed polyethylene as additive. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19, 500-507.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:6\(500\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:6(500))
- Sen, S.K. and Raut, S. (2015). Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 462–473.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.01.003>
- Tunç, A. (2007). *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

## Uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Seyfe Gölü (Kırşehir) yüzey alanının zamansal değişiminin analizi

*Analysis of temporal changes on the surface area of the Seyfe Lake (Kırşehir) using remote sensing and GIS techniques*

Cansu YURTERİ<sup>\*1,a</sup>, Türker KURTTAŞ<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Hidrojeoloji Mühendisliği, 06800, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 29.12.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.06.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.07.2021

### Öz

Bu çalışmanın amacı çok bantlı uydu görüntüleri ile Seyfe Gölü yüzey alanının zamansal değişiminin Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri ile incelenmesidir. Çalışma alanı olan Seyfe Gölü, 1447 km<sup>2</sup> lik yüzey drenaj alanına sahip Seyfe Havzasında yer almaktadır. Kapalı bir havzada yer alan göl alanının beslenimi yağış, yüzeysel akış ve akifer birimlerden beslenme ile gerçekleşmektedir. Gölün boşalımı ise, göl yüzeyinden buharlaşma ve drenaj kanalları ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada 1985-2020 yılları arasındaki Landsat çok bantlı uydu görüntüleri (Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI/TIRS) kullanılmıştır ve her beş yıl için bir görüntü seçilmiştir. Uydu görüntülerinden türetilen Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI) yöntemi kullanılarak farklı yıllarda göl yüzey alanındaki değişimler hesaplanmıştır. 1985-2020 yılları arasında MNDWI yöntemi ile maksimum ve minimum göl alanları sırasıyla 66.87 km<sup>2</sup> ve 1.86 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 35 yıllık süreçte, göl alanında % 93.78'lik bir azalma olduğu belirlenmiştir. Batimetri çalışmaları kapsamında ise; Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 2015 yılında hazırlanan göl hidrografik haritasındaki göl tabanı seviye ölçümlerinden göl batimetri haritası oluşturulmuştur. Göl alanının kot, hacim ve alan ilişkisinin belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan göl batimetri haritasına göre; maksimum derinlik göl alanının kuzeyinde 1.95 m olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Göl alanı, Göl batimetrisi, MNDWI, Seyfe Gölü, Uzaktan algılama

### Abstract

The aim of the study is to investigate temporal changes on the surface area of the Seyfe Lake with multispectral satellite images by using Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) techniques. Lake Seyfe, a study area, is located in the Seyfe Basin with a catchment area of 1447 km<sup>2</sup>. The closed basin of Seyfe Lake is recharge by precipitation, surface runoff and from surrounding aquifer units. Discharge of the lake takes place through evaporation and drainage channels. Landsat multispectral satellite images (Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS) are used in this study; with one scene selected for every five years ranging between 1985-2020. The Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) method is used to delineate the lake boundaries and the changes in the lake surface area for the respective years calculated. Based on the MNDWI method, maximum and minimum surface area measurements of the Seyfe Lake are found to be 66.86 km<sup>2</sup> and 1.86 km<sup>2</sup>, respectively in between 1985-2020. It was determined that the lake surface area decreased by 93.78 % during this 35 year period. Within the scope of bathymetry studies; the elevation of the lake bottom is derived from the hydrographic map of the lake area prepared by General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) in 2015. Analyses were carried out to establish the relationship between elevation, surface area and volume of the lake body. According to the bathymetric map, maximum depth was calculated in the northern part of the lake and is around 1.95 m.

**Keywords:** Lake area, Lake bathymetry, MNDWI, Seyfe Lake, Remote sensing

\*a Cansu YURTERİ; cyurteri@hacettepe.edu.tr, Tel: (0312) 297 77 00-169, orcid.org/0000-0002-4944-0168

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-1426-566X



## 1. Giriş

Günümüzde kurak-yarıkurak bölgelerdeki iklimsel değişimler, artan su ihtiyacı ve insan faaliyetlerinin etkisi nedeniyle kuruyan, gittikçe küçülen veya yok olan su kaynakları ve su kütlelerinin sayısı gittikçe artmaktadır (Kiage ve Douglas, 2019). Bu su kütlelerindeki konumsal ve zamansal değişikliklerin yerel ve bölgesel ekosistemler ile sosyoekonomik faaliyetler üzerinde de önemli etkileri mevcuttur (Kiage ve Douglas, 2019). Göller ve sulak alanlar iklimsel değişimler ile antropojenik etkilerden belirgin bir şekilde etkilenen hassas su kütleleridir (Chang vd., 2017). Dolayısıyla hidrolojik çalışmalarda göl, gölet, baraj ve sulak alan gibi su kütlelerindeki değişimlerin izlenmesinde Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinden yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Bu tekniklerin birlikte kullanılması, zaman içerisinde değişime uğrayan su kütlelerinin uzun zaman periyotlarında hızlı ve doğru bir şekilde izlenmesine olanak sağlamaktadır (Bao ve Zhang, 2011). UA ve CBS teknikleri, çok bantlı uydu görüntülerinin analiz edilerek su kütlelerinin çıkarılması, alansal değişimlerinin belirlenmesi, kıyı kenar çizgisi değişiminin saptanması, arazi bitki örtüsünün belirlenmesine yönelik araştırmalar ile hidrolojik gözlemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Howari vd., 2007). Yine bu yöntemler su kaynaklarının araştırılması, belirlenmesi ve izlenmesine bir yaklaşım getirirken, çeşitli su kütleleri için seviye, hacim ve alan parametrelerinin saptanmasında da kullanılabilirler (Dost ve Mannaerts, 2005). Uydu görüntüleri aracılığıyla gerçekleştirilen UA ve CBS çalışmaları, hassas ekosistemlere sahip su kütlelerindeki meydana gelen zamansal ve konumsal değişimlerin erkenden belirlenmesi ve olası problemlerde tedbirlerin önceden alınması için oldukça pratik, etkili ve düşük maliyetli teknolojik araçlardır (Howari vd., 2007).

Hassas alanların sürdürülebilirliği için izleme çalışmalarında ve olası afetleri önleme kapsamında yapılan araştırmalarda da uydu görüntülerinden sıklıkla yararlanıldığı görülmektedir (Mutlu vd., 2020; Gülcü vd., 2019; Kiage ve Douglas, 2019; Gautam vd., 2015; Deus ve Gloaguen, 2013; El Asmar vd., 2013; Fang Fang vd., 2011). Gelişen teknolojiyle birlikte Türkiye ve Dünya'nın çeşitli bölgelerindeki su ile kaplı alanlar, çok bantlı uydu görüntülerindeki bantların oranlanmasını temel alan su indisi eşitlikleri ile belirlenebilmektedir (Gao, 1996., McFeeters, 1996; Xu, 2006). Literatürde spektral su indisleri kullanılarak su kütlelerindeki değişimler ile su-kara yüzeylerinin

doğru bir şekilde belirlenmesine yönelik birçok çalışma mevcuttur (Nandi vd., 2019; Ali vd., 2019; Naik ve Anuradha, 2018; Zhai vd., 2015; El Asmar vd., 2013).

Nandi vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada Hindistan'ın doğu kıyısında yer alan ve bir Ramsar alanı olan Chilika Gölü su yüzey alanındaki değişimleri çeşitli spektral su indisleri yöntemleriyle incelemişlerdir. Çalışmada 1995, 1996, 1997, 2013 ve 2014 yıllarının kurak ve yağışlı dönemlerine ait çok zamanlı Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntülere Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI) ve Otomatik Su Çıkarma İndeksi (AWEI) yöntemleri uygulanmıştır. MNDWI yönteminin, diğer su indislerine (NDWI, AWEI) göre su ve kara yüzey alanlarının ayrılmasında daha etkin ve yüksek doğruluklu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Ali vd. (2019) Endonezya'daki Makasar şehrindeki su kütlelerinin 2000-2019 yılları arasında yüzey alanındaki değişimlerini, Landsat uydu görüntüleri ve spektral su indisleri kullanarak incelemişlerdir. Yapılan araştırmada NDWI ve MNDWI su indisleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerde sınıflandırma işlemi, su kütlesi ile kaplı olan ve olmayan alanlar olarak iki alt sınıfa ayrılarak yapılmıştır. MNDWI yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, toprak ve yerleşim yeri etkilerinin azaldığını ve su kütlelerini belirlemede MNDWI yönteminin NDWI yöntemine göre daha etkili sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Ayrıca şehrin kıyı bölgelerinde yerleşim yerlerinin artması nedeniyle 2000-2019 yılları arasında su kütlelerinde azalmanın gerçekleştiği belirlenmiştir.

Naik ve Anuradha (2018) çalışmalarında Hindistan'da yer alan Nagarjuna Sagar Baraj Gölü'nün kapladığı su yüzey alanının 1989-2017 yılları arasındaki zamansal değişiminin spektral su indisleri kullanılarak belirlenmesini amaçlamışlardır. Baraj Gölü yüzey alanında 28 yıllık değişimin saptanması amacıyla Landsat uydu görüntülerine çeşitli su indisleri uygulanarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Spektral su indislerinin analiz sonuçlarına göre; MNDWI yönteminin diğer su indisi (NDWI, AWEI) yöntemlerine kıyasla su kütlelerinin çıkarılmasında çok daha iyi sonuçlar sağladığı belirtilmiştir. Çalışmada MNDWI yöntemine göre yapılan analizin genel doğruluk yüzdesi %96.43, Kappa Katsayısı ise 0.89 olarak hesaplanmıştır.

Zhai vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada Çin'in kuzeyinde Bohai Körfezi yakınlarında yer

alan Tianjin ve Nanyang Pier yerleşim alanlarının arazi örtüsü değişimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre çok bantlı Landsat 8 OLI ve Landsat 5 TM uydu görüntülerine Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), NDWI, MNDWI ve AWEI yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada MNDWI yönteminin su kütleleri ile diğer arazi sınıflarının ayrılmasında diğer yöntemlere göre oldukça başarılı sonuçlar veren bir teknik olduğu belirtilmiştir. NDVI ve NDWI yöntemlerinin yerleşim yerleri, toprak örtüsü ile doğal çayırılık alanların birbirlerinden ayırt edilmesinde etkili sonuçlar veremediği belirtilmiştir. [El Asmar vd. \(2013\)](#) Mısır'daki Burullus Lagünü'nün 1973-2011 yılları arasında yüzey alanındaki değişimi NDWI ve MNDWI su indisleri yaklaşımıyla incelemişlerdir. Lagünün yüzey alanının zamansal değişiminin belirlenmesinde MNDWI yönteminin daha etkili bir yöntem olduğu belirtilmiş ve lagünün yüzey alanının %42.8 oranında azaldığı hesaplanmıştır.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde ise UA ve CBS tekniklerine yönelik çalışmalar incelendiğinde sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür. [Yılmaz ve Reis \(2008\)](#) tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar Seyfe Gölü'nün 1975, 1987 ve 2001 yıllarına ait uydu görüntülerini inceleyerek görsel yorumlama ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri ile göl alanındaki değişimi incelemişlerdir ve göl su rezervinde bir azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir. [Yaman ve Avdan \(2018\)](#) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise araştırmacılar 1986-2017 yılları arasında farklı yıllara ait Landsat uydu görüntüleri ile Seyfe Gölü'nün zaman ve alansal boyutta değişimini NDWI yöntemi ile incelemişler ve göl yüzey alanının her geçen yıl gittikçe küçüldüğü sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada Seyfe Gölü yüzey alanının 1985-2020 yılları arasındaki değişiminin analizinde UA ve CBS teknikleri birlikte uygulanmıştır. Uzaktan algılama verisi olarak Landsat çok bantlı uydu görüntüleri (Landsat 8 OLI/TIRS, Landsat 5 TM) kullanılarak göl yüzey alanının 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarındaki değişimi [Xu \(2006\)](#) tarafından önerilen MNDWI yöntemi ile incelenmiştir. Bu yaklaşımın ayrıntıları Materyal ve yöntem bölümünde sunulmuştur. Göl batimetri çalışmaları kapsamında ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından hazırlanan Seyfe Gölü hidrografik haritası değerlendirilerek göl batimetri haritası oluşturulmuştur. Buna göre gölün kot, derinlik, hacim ve alan ilişkilerinin belirlenmesine yönelik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler

ile 1985-2020 yılları arasında göl alanındaki değişimlerin saptanması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

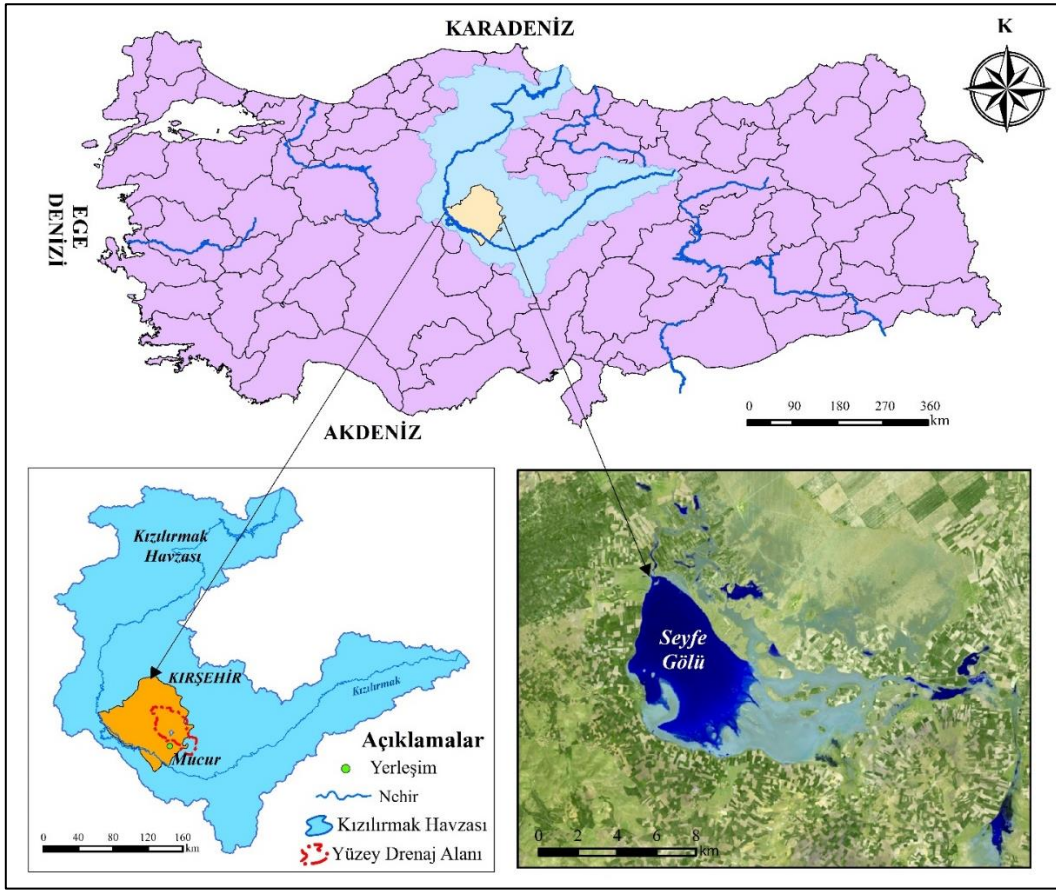
Çalışma alanı Kırşehir ilinin kuzeydoğusunda, Mucur ilçesine 30 km mesafede yer alan Seyfe Gölü ve yakın çevresini kapsamaktadır. 39°11'-39°14' Kuzey enlemleri ile 34°22'-34°30' Doğu boylamları arasında yer alan Seyfe Gölü, 1447 km<sup>2</sup> lik yüzey drenaj alanına sahip Seyfe Havzasında yer almaktadır. Seyfe Havzası Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından biri olup, kapalı havza özelliğindedir ([Sayhan, 2001](#)). Seyfe kapalı havzası kuzeybatı güneydoğu uzanımlıdır. Havzanın topoğrafik olarak en düşük kota sahip yeri Seyfe Gölü'dür (Şekil 1). Seyfe Gölü'nün denizden ortalama yüksekliği 1110 m'dir ([Sayhan, 2001](#)).

1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarda J32-c1 ve J32-c2 paftalarında yer alan göl alanı içerisindeki adalarda ve çevresinde 1110 m ile 1122 m arasında değişen yükseltiler bulunmaktadır. Gölün Doğu-Batı yönündeki maksimum uzunluğu yaklaşık 11.90 km, Kuzey-Güney yönündeki maksimum genişliği ise 5.86 km'dir. Seyfe Gölü Oligosen sonrası oluşmuş sığ bir göl olup, göl alanı ve çevresi 1989 yılında "Doğal Sit Alanı", 1990 yılında "Tabiatı Koruma Alanı" ve 1994 yılında ise Ramsar Alanı olarak ilan edilmiştir ([URL-1, 2020](#)).

Havzada yapılan hidrojeolojik incelemeler kapsamında; kapalı bir havzada yer alan göl alanının beslenimi yağış, yüzeysel akış ve akifer birimlerden gerçekleşmektedir. Gölün boşalımı ise göl yüzeyinden buharlaşma, süzülme ve drenaj kanalları ile gerçekleşmektedir. Göl suları tuzlu ve bazik olup, 2019-2020 yılları arasında yapılan periyodik ölçümlerde, göl alanı ile bağlantılı drenaj kanallarında Özgül Elektriksel İletkenlik (ÖEI<sub>25°C</sub>) değeri 29.500-30.500 µS/cm arasında değişirken, pH değeri ise 8.61-9.08 arasında değişmektedir. Göl sularındaki tuzluluğun kaynağının gölün kapalı bir havzada yer alması, buharlaşma miktarının fazla olması ve göl havzasında yer alan litolojik birimlerin etkisi gibi faktörler nedeniyle geliştiği düşünülmektedir.

### 2.2. Veriler ve yöntem

Bu çalışmada 1985-2020 yılları arasında Seyfe Gölü yüzey alanında meydana gelen değişimler UA ve CBS teknikleri kullanılarak MNDWI yöntemi ile analiz edilmiştir.

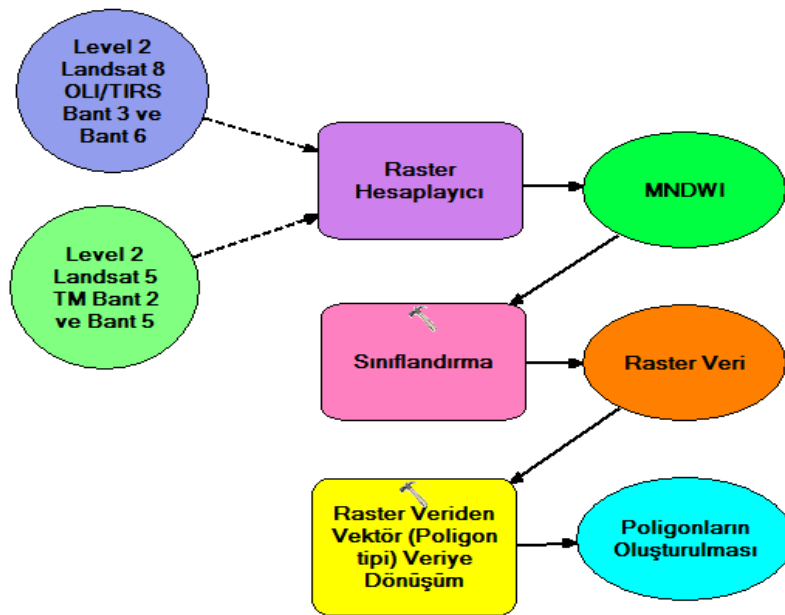


Şekil 1. Çalışma alanı ve yakın çevresi

Ayrıca göl alanının hidrografik haritası temel alınarak arazide ölçülen veriler CBS yazılımına aktarılarak göl alanının batimetri haritası oluşturulmuştur. Göl alanında kot, derinlik, hacim ve alan ilişkisini belirlemeye yönelik alansal ve hacimsel değişimler ArcMap 10.4.1 yazılımının 3

boyutlu fonksiyonel yüzey oluşturma modülü ile hesaplanmıştır.

Göl yüzey alanının MNDWI yöntemi kullanılarak zamansal değişiminin belirlenmesine ilişkin akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Uydu görüntüleri ile göl yüzey alanının MNDWI yöntemi ile belirlenmesine yönelik akış şeması

Çalışma kapsamında uzaktan algılama verisi olarak çok bantlı Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Havza ölçeğinde su kütlelerindeki ve arazi örtüsündeki alansal ve zamansal değişimleri araştırmak için Landsat çok bantlı uydu görüntüleri önemli bilgiler içeren ücretsiz veri kaynaklarıdır (Howari vd., 2007). Uydu görüntüleri Amerika Birleşik Devletleri Yerbilimleri Araştırma Kurumu'nun (USGS) Earth Explorer portalından indirilmiştir (URL-2, 2020). Uzaktan algılama verisi olarak, Earth Explorer portalındaki atmosferik, radyometrik ve geometrik düzeltilmesi yapılmış Landsat Level-2 görüntüleri kullanılmıştır. 176/033 yörünge/satır numaralı, 30

metre mekansal çözünürlüğe, 16 gün zamansal çözünürlüğe, 8 ve 16 bit radyometrik çözünürlüklere sahip Landsat- 5 TM ve Landsat-8 OLI çok bantlı uydu görüntüleri seçilmiştir. Ayrıca göl alanının yüzeysel değişiminin belirlenmesi amacıyla, 1985-2020 yılları arasında kullanılan tüm uydu görüntüleri beşer yıllık dönemlerle bulutluluk oranı %10'dan küçük olacak şekilde seçilmiştir. Zamansal göl yüzey alanı değişiminin temsil edici bir şekilde belirlenebilmesi için tüm görüntüler yılın kurak ve aynı dönemlerine gelecek şekilde seçilmiştir. Bütün görüntüler o yılın Eylül ayının son iki haftası ile Ekim ayının ilk haftasına aittir. (Tablo 1).

**Tablo 1.** Çalışma alanının değerlendirilmesinde kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri

Algılama tarihi	Yörünge/satır	Uydu/Sensör	Bant sayısı	Radyometrik çözünürlük	Mekansal çözünürlük	Zamansal çözünürlük
23.09.1985	176/033	Landsat5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
21.09.1990	176/033	Landsat5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
05.10.1995	176/033	Landsat5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
16.09.2000	176/033	Landsat5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
14.09.2005	176/033	Landsat 5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
28.09.2010	176/033	Landsat 5 TM	7	8 bit	30x30 m	16 gün
26.09.2015	176/033	Landsat 8 OLI	9	16 bit	30x30 m	16 gün
23.09.2020	176/033	Landsat 8 OLI	9	16 bit	30x30 m	16 gün

### 2.3. MNDWI (Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndeksi) yöntemi

Uzaktan algılama çalışmalarında uydu görüntüleri üzerinden arazide bulunan su kütlelerinin diğer arazi kullanımı ve örtüsünden (yerleşim, bitki örtüsü, toprak vb.) daha kolay ayrılması için farklı sınıflama ve su kütlesi ayırma yöntemleri (NDWI, MNDWI, AWEI vb. su indisleri) geliştirilmiştir. NDWI, MNDWI, AWEI vb. gibi teknikler seçilen bantların dalga boylarının farkı ile toplamalarının oranlanması ile elde edilmiş su indisleri olup, günümüzde çeşitli su kütleleri için pratik bir şekilde uygulanmaktadır. Özellikle göl ve sulak alan çalışmalarında su indisleri kullanılarak bantların oranlanmasını temel alan yöntemlerden en yaygın kullanılanları NDWI ve MNDWI teknikleridir. Bu yöntemlerden Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), McFeeters (1996) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde su yüzeylerinin toprak ve bitki örtüsünden ayrılması amaçlanmıştır. Buna göre; su kütlelerinin ışığın yeşil dalga boyunun suyu yansıtma ve yakın kızıl ötesi (NIR) bölgede soğurma özelliklerini temel alan bantlar kullanılmıştır. Bu kapsamda Yeşil dalga boyu ile Yakın Kızılötesi dalga boyunun farkı ile toplamının oranlanması sonucu su kütleleri

belirlenmektedir. Bu bantların farkı ile toplamına oranı kullanılmaktadır. Su indisleri analizlerinde kullanılan çok bantlı uyduların özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

NDWI analizi ile elde edilen görüntü birimsiz -1 ve +1 arasındaki değerleri temsil ederken; 1 ve 1'den büyük değerler su ile kaplı yerleri göstermektedir. Bu indisin eşitliği literatürde şu şekilde belirtilmektedir (McFeeters, 1996) (Eşitlik 1).

$$NDWI = \frac{(Yeşil\ Bant - Yakın\ Kızılötesi\ Bant)}{(Yeşil\ Bant + Yakın\ Kızılötesi\ Bant)} \quad (1)$$

McFeeters (1996) çalışmasından sonra Xu (2006) yapmış olduğu çalışma ile NDWI indisini geliştirmiş ve MNDWI yöntemini önermiştir. Bu yöntemde su ile kaplı alanların daha net belirlendiği, geçirimsiz yüzeylerin ve bitkilerin net ayrılabilirdiği, toprak, arazi ve yerleşim yerlerinin etkilerinin azaldığı ve arazi objelerindeki gölge etkisinin kaybolduğu ortaya konulmuştur (Gao, 1996; Haibo vd., 2011; Zhou vd., 2015). Dolayısıyla Xu (2006) geliştirdiği MNDWI yönteminin, NDWI yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre su yüzeylerinin belirlenmesinde daha etkili sonuçlar elde ettiği belirlenmiştir.



**Tablo 2.** Landsat 8 OLI/TIRS ve Landsat 5 TM uydu görüntülerinin bantları ve özellikleri

Landsat 8 OLI/TIRS (2012-2018)		Landsat 5 TM (1984-2011)	
Bantlar	Dalga boyu (µm)	Bantlar	Dalga boyu (µm)
Bant 1-Kıyı Aerosol	0.43-0.45	Bant 1-Mavi	0.45 - 0.52
Bant 2-Mavi	0.45-0.51	Bant 2-Yeşil	0.52 - 0.60
Bant 3-Yeşil	0.53-0.59	Bant 3-Kırmızı	0.63 - 0.69
Bant 4-Kırmızı	0.64-0.67	Bant 4-Yakın Kıızılötesi	0.76 - 0.90
Bant 5-Yakın Kıızılötesi	0.85-0.88	Bant 5-Orta Kıızılötesi	1.55 - 1.75
Bant 6-SWIR-1	1.57-1.65	Bant 6-Termal Kıızılötesi	10.40 - 12.50
Bant 7-SWIR-2	2.11-2.29	Bant 7-Kısa dalga Kıızılötesi	2.08 - 2.35
Bant 8-Pankromatik	0.50-0.68		
Bant 9-Cirrus	1.36-1.38		
Bant 10-TIRS-1	10.6-11.19		
Bant 11-TIRS-2	11.50-12.51		

MNDWI yönteminde NDWI’da kullanılan Yakın Kıızılötesi bandının (NIR) yerine Orta Kıızılötesi bant (MIR) kullanılmıştır. Çünkü bu yöntemde ışık suda MIR bandı bölgesinde NIR bölgesine kıyasla daha çok absorbe edilmektedir. Yeşil bant maksimum su yüzeyini yansıtırken, Orta Kıızılötesi bant su içermeyen arazi objelerini göstermektedir (Deus and Gloaguen, 2013). Bu kapsamda MNDWI analizinde; Yeşil dalga boyu ve Orta Kıızılötesi dalga boyunun farkı ile toplamının oranlanması sonucu su kütlelerinin ayrılması gerçekleşmektedir (Şekil 2). MNDWI analizinde Landsat 5 TM görüntülerinin 2 (Yeşil-(0.52-0.60 µm)) ve 5 (Kısa dalga Kıızılötesi-(1.55-1.75µm)) bantları, Landsat 8 OLI/TIRS görüntülerinin OLI sensöründe 3 (Yeşil-(0.53-0.59 µm)) ve 6 (SWIR 1-(1.57-1.65µm)) bantları kullanılmaktadır. Bu bantların farkı ile toplamının oranlanması ile MNDWI analizi gerçekleştirilmektedir. Bu indisin eşitliği literatürde Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI uydu görüntülerinin kullanılan bantlarına göre aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır (Xu, 2006) (Eşitlik 2 ve 3).

$$\text{Landsat 5 TM}_{\text{MNDWI}} = (\text{Yeşil Bant} - \text{Orta Kıızılötesi Bant}) / (\text{Yeşil Bant} + \text{Orta Kıızılötesi Bant}) \quad (2)$$

$$\text{Landsat 8 OLI}_{\text{MNDWI}} = (\text{Yeşil Bant} - \text{Kısa dalga Kıızılötesi Bant}) / (\text{Yeşil Bant} + \text{Kısa dalga Kıızılötesi Bant}) \quad (3)$$

Xu (2006) tarafından önerilen MNDWI eşitliği ile elde edilen görüntüde 0 ve 0’dan büyük pozitif değerler su ile kaplı alanlar, 0’dan küçük negatif değerler ise karasal alanlar (yerleşim, toprak, arazi bitki örtüsü vb.) olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada göllerde ve sulak alanlarda su kütlelerinin çıkarılması çalışmalarında (Gautam vd., 2015) oldukça etkili sonuçlar verdiği belirtilen

MNDWI yöntemi kullanılmıştır. Buna göre farklı yıllarda göl yüzeyinin kapladığı alanının ve değişiminin belirlenmesinde MNDWI yöntemi uygulanmıştır. Göl alanının su ile kaplı olduğu kesimlerin belirlenmesine yönelik tüm analiz ve hesaplamalar ArcMap 10.4.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular

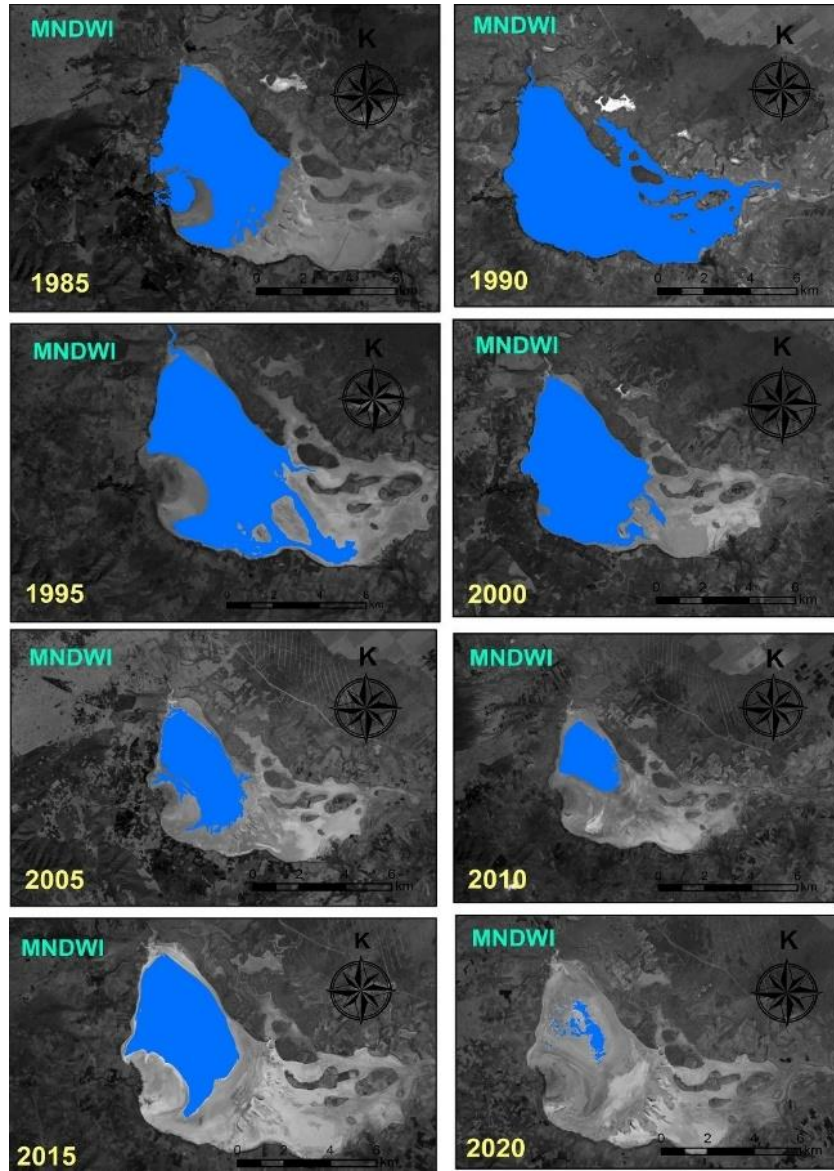
#### 3.1. MNDWI yöntemi ile Seyfe Gölü yüzey alanının zamansal değişiminin analizi

Seyfe Gölü’nün kapladığı su yüzey alanı MNDWI yöntemi ile analiz edilmiştir. (Şekil 4). Göl alanının analiz edilen zaman serisi içerisinde, 1990 yılında en geniş yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiş ve 66.87 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 2020 yılında ise göl yüzey alanı 1.86 km<sup>2</sup>’ye kadar düşmüştür. Bu 35 yıllık süreçte; göl alanının 1985 yılından 1990 yılına kadar genişlediği, 1990 yılında göl alanının maksimum seviyeye ulaştığı, 1995 yılından 2015 yılına kadar gölün gittikçe küçüldüğü belirlenmiştir. 2015 yılında ise göl yüzey alanının bir miktar (6.35 km<sup>2</sup>) genişlediği, 2020 yılında ise göl alanının tekrar küçülme dönemine girdiği gözlenmiştir (Şekil 4). MNDWI yöntemi ile hesaplanan göl yüzey alanlarının değişim yüzdesi hesaplandığında; 35 yıllık süreçte gölde %93.78 oranında küçülme olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

1985 yılından günümüze kadar göl alanı genel olarak giderek küçülme eğiliminde olsa da bazı yıllarda göl yüzey alanında artışlar gözlenmiştir (Şekil 4). Seyfe Gölü’nü çevreleyen topoğrafya ile göl alanı arasındaki yükselti farkının az olması nedeniyle göl seviye ve göl yüzey alanındaki değişimler hızlı ve görünür bir şekilde fark edilmektedir. MNDWI analiz sonuçlarına göre; gittikçe küçülmekte olan göl alanının 2015 yılında

yayılımının arttığı görülmektedir (Tablo 3). Bu artışa neden olabilecek faktörler arasında gölün

beslenme ve boşalım bileşenlerinden yağış ve buharlaşmanın etkisi olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Seyfe Gölü yüzey alanının MNDWI yöntemi ile belirlenen 1985-2020 yılları arasındaki değişimi

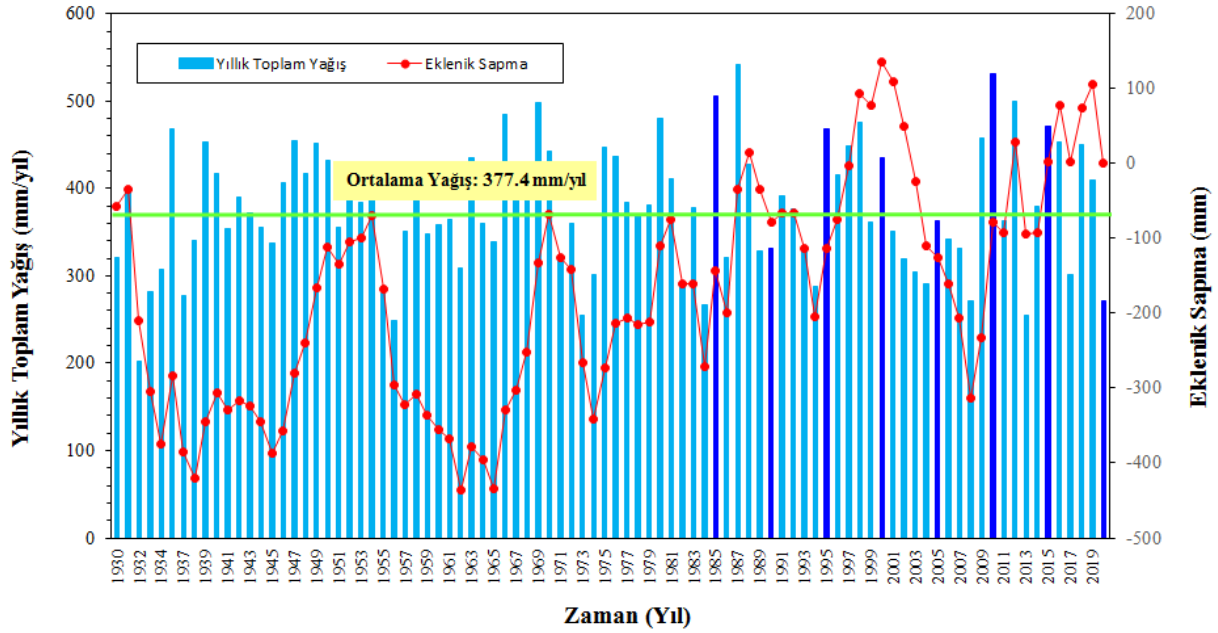
Tablo 3. Seyfe Gölü'nün yıllara göre alansal değişim miktarı

Tarih	MNDWI-Göl alanı (km <sup>2</sup> )	Alansal değişim tarihi	Dönemsel değişim miktarı (km <sup>2</sup> )	Başlangıçtaki alana göre değişim yüzdesi (%)
23.09.1985	29.89			
21.09.1990	66.87	1985-1990	36.98	123.69
05.10.1995	33.25	1990-1995	-33.62	11.24
16.09.2000	36.72	1995-2000	3.47	22.85
14.09.2005	20.98	2000-2005	-15.74	-29.81
28.09.2010	11.82	2005-2010	-9.16	-60.46
26.09.2015	18.17	2010-2015	6.35	-39.21
23.09.2020	1.86	2015-2020	-16.31	-93.78



Bu yaklaşımın sonucunda göl alanına düşen yağış miktarının artışa geçtiği ve buharlaşma miktarının azaldığı yıllarda gölün alansal yayılımının artması beklenmektedir. Bu kapsamda; çalışma alanında gerçekleştirilen hidrolojik ve hidrojeolojik incelemeler ile göl alanına en yakın istasyon olan Kırşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun (KMGİ) yağış ve buharlaşma verileri değerlendirilmiştir. KMGİ verilerine göre; 1930-2020 yılları arasındaki uzun yıllar ortalama yağış miktarı 377.44 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Yağışlı ve kurak periyotlar ortalama 6-7 yıl

sürmekte olup, 70 yıllık dönemde maksimum düşen yıllık yağış miktarı 1987 yılında 541.9 mm/yıl'dır. 2015 yılında düşen yıllık yağış miktarı ise 471.4 mm/yıl olarak ölçülmüştür (Şekil 4). Açık yüzey buharlaşma verilerine göre ise 1971-2020 yılları arasında ölçülen yıllık ortalama buharlaşma miktarı 1336.4 mm olarak hesaplanmıştır. Maksimum buharlaşma miktarı 2007 yılında 1933.8 mm, 2010 ve 2015 yıllarında ölçülen buharlaşma miktarları ise sırasıyla 1514.9 mm ile 1230 mm'dir (Tablo 4).



**Şekil 4.** Kırşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'na ait yıllık toplam yağış, ortalama yağış ve eklenik sapma grafiği

KMGİ verilerine göre; 2013 yılından itibaren yıllık düşen yağış miktarının arttığı ve 2015 yılında bu yağışlı dönemin etkisinin görüldüğü, yağış ve

buharlaşma verilerinin alansal büyüme desteklediği belirlenmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Seyfe Gölü yüzey alanının meteorolojik verilerle (yıllık toplam yağış ve buharlaşma) ilişkisi

Yıllar	Yıllık yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Yüzey alanı (km <sup>2</sup> )
1985	506.0	1428.3	29.89
1990	331.9	1321.5	66.87
1995	468.8	1372.6	33.25
2000	434.9	1407.5	36.72
2005	362.9	1466.0	20.98
2010	531.2	1514.9	11.82
2015	471.4	1230.0	18.17
2020	271.0	1436.8	1.86

Bununla birlikte göl havzasında gerçekleştirilen hidrojeolojik araştırmalar kapsamında; 1990 yılından itibaren inşa edilen drenaj kanalları;

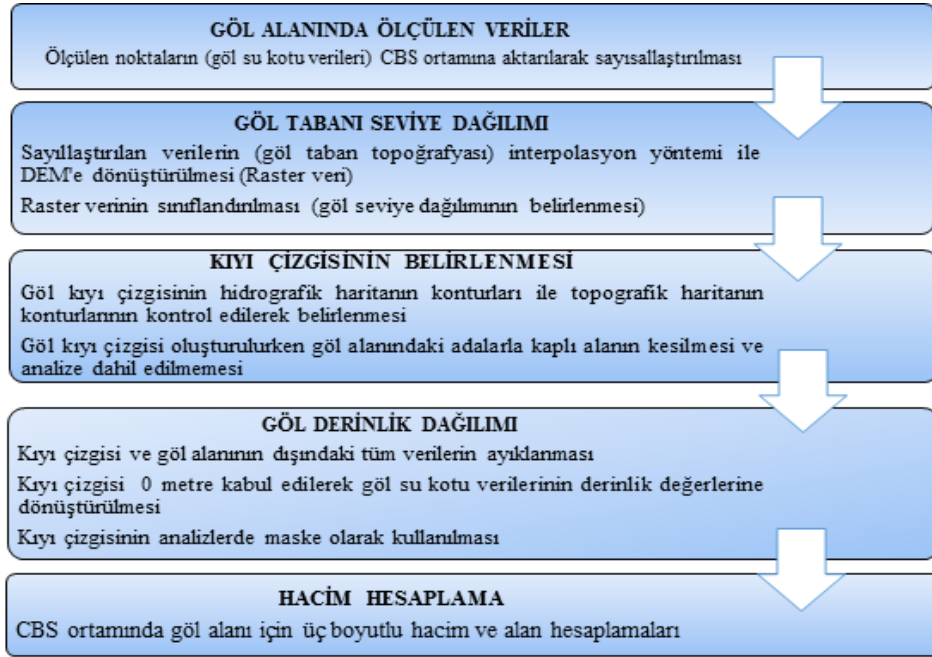
2000'li yıllardan itibaren akifer birimler içerisinde çok fazla sondaj kuyusunun açılması ve gölü besleyen kaynakların, mevsimlik derelerin zaman

içerisinde kuruması gibi nedenlerden dolayı tarihsel süreçte göle katılan su miktarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla zaman içerisinde gölün doğal beslenme boşalım dengesine etki eden bileşenlerin değiştiği saptanmıştır. Bu kapsamda düşen yağış miktarının fazla, buharlaşma miktarının az olduğu; fakat göl yüzey alanında büyümenin görülmediği, aksine küçüldüğü yılları ve periyotları (yağışlı-kurak) yukarıda belirtilen doğal ve yapay faktörlerin birlikte değerlendirilerek ele alınması gerekmektedir (Tablo 4). Fakat çalışma alanına konu olan göl yüzey alanının değişimine neden olacak iklimsel ve antropojenik etkilerin nedenleri, hangi faktörün göl alanının değişiminde ne kadar

etkili olduğu ve bu sürecin sonuçları bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

### 3.2. Göl batimetrisi

Göl batimetrisi çalışmaları kapsamında DSİ (2015) tarafından hazırlanan 1/20.000 ölçekli Seyfe Gölü hidrografik haritası değerlendirilerek göl batimetri haritası oluşturulmuştur. Göl alanı üzerinde 1244 noktada göl derinlik ölçümü yapılmıştır. Göl alanının 3 boyutlu analizi CBS ortamında ArcMap 10.4.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Göl alanının batimetri haritasının oluşturulma basamaklarına ilişkin süreçleri gösteren akış şeması Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Göl batimetri haritası oluşturulma basamakları

Öncelikle göl alanı hidrografik haritası ile göl tabanının deniz seviyesinden yüksekliğini temsil eden göl su kotu verileri ArcMap 10.4.1 yazılımına aktarılarak sayısallaştırılmıştır. Bu kapsamda göl seviye kotunu temsil eden noktasal veriler Kriging interpolasyon yöntemi ile dağıtılarak alanın göl su seviye dağılımını gösteren göl taban topoğrafyası oluşturulmuştur.

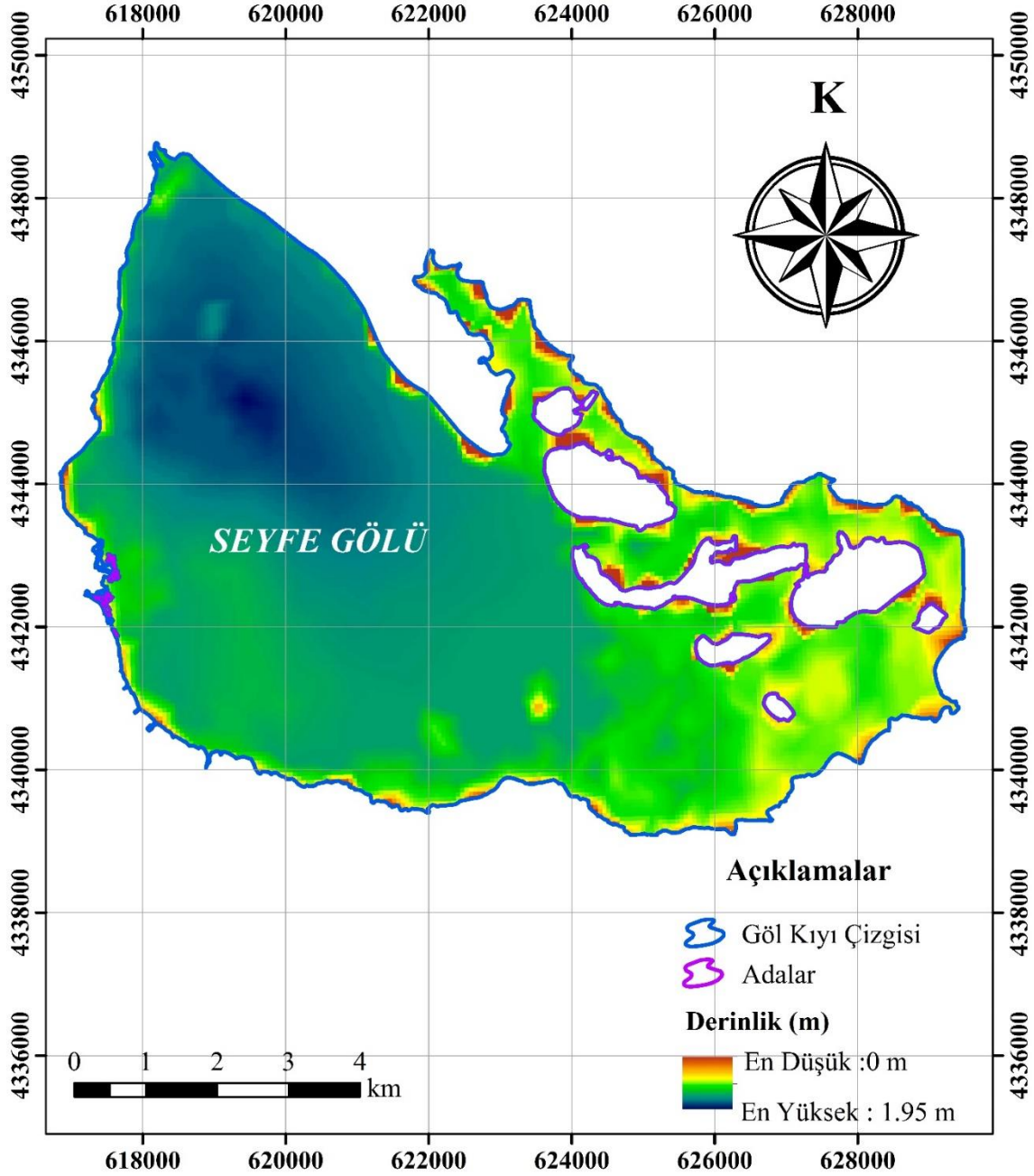
DSİ tarafından göl alanından toplanmış göl su seviye verileri, göl taban topoğrafyası ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş ve gölün yükseklik dağılımı ile uyumu incelenmiştir. Yine göl alanının sayısal yükseklik dağılımı, topoğrafik haritalardan da yararlanılarak kontrol edilmiş, göl kıyı çizgisi içerisinde temsil edici olmayan veriler ayıklanmıştır.

Göl alanı kıyı çizgisi ise, 1997 yılına ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan, göl hidrografik haritasından ve MNDWI yöntemine göre 2015 yılı için belirlenmiş göl kıyı çizgisi ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş ve göl kıyı sınırı belirlenmiştir. Göl taban topoğrafyası oluşturulurken, göl kıyı çizgisi dışındaki ölçülmüş tüm veriler maskelenmiş ve alanının doğusunda yer alan adaların yer aldığı bölge analize dahil edilmemiştir. Göl alanında 2015 yılı Ağustos ayı için en yüksek su seviyesi 1116.63 m, en düşük su seviyesi ise 1113.03 m olarak bulunmuştur. Analize dahil edilmeyen adalar bölgesinde ise göl taban seviyesi en yüksek 1122.53 m olarak hesaplanmıştır.

Göl taban topoğrafyasındaki göl seviye kotu değerleri derinlik değerlerine dönüştürülmüş ve ArcMap 10.4.1 yazılımında Kriging interpolasyon yöntemi ile dağıtılarak alanın batimetri haritası

oluşturulmuştur (Şekil 6). 1997 yılına ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita ile hidrografik haritadaki 1115 m eş yükseklik eğrisi göl kıyı sınırı olarak belirlenmiştir. Referans düzeyi olarak belirlenen 1115 m, sıfır metre (0 m) olarak kabul edilerek, kıyı çizgisi dışında kalan tüm derinlik değerleri maskelenmiştir.

Göl sığ bir göl olup, 2015 yılı Ağustos ayında gölün en derin yeri 1.95 m ile alanın kuzeyi olarak belirlenmiştir. Gölün güneyinde kıyı çizgisinden yaklaşık 2.5 km sonrasında, batısında ise 1.5 km sonrasında gölün en derin yerine ulaşılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Seyfe Gölü batimetri haritası

Ayrıca ArcMap 10.4.1 yazılımının üç boyutlu analiz modülünün fonksiyonel yüzey oluşturma ve hacim hesaplama komutu ile göl taban topoğrafyasını temsil eden sayısal yükseklik modeli kullanılarak göl alanının çeşitli kotlardaki hacimsel ve alansal değişimleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

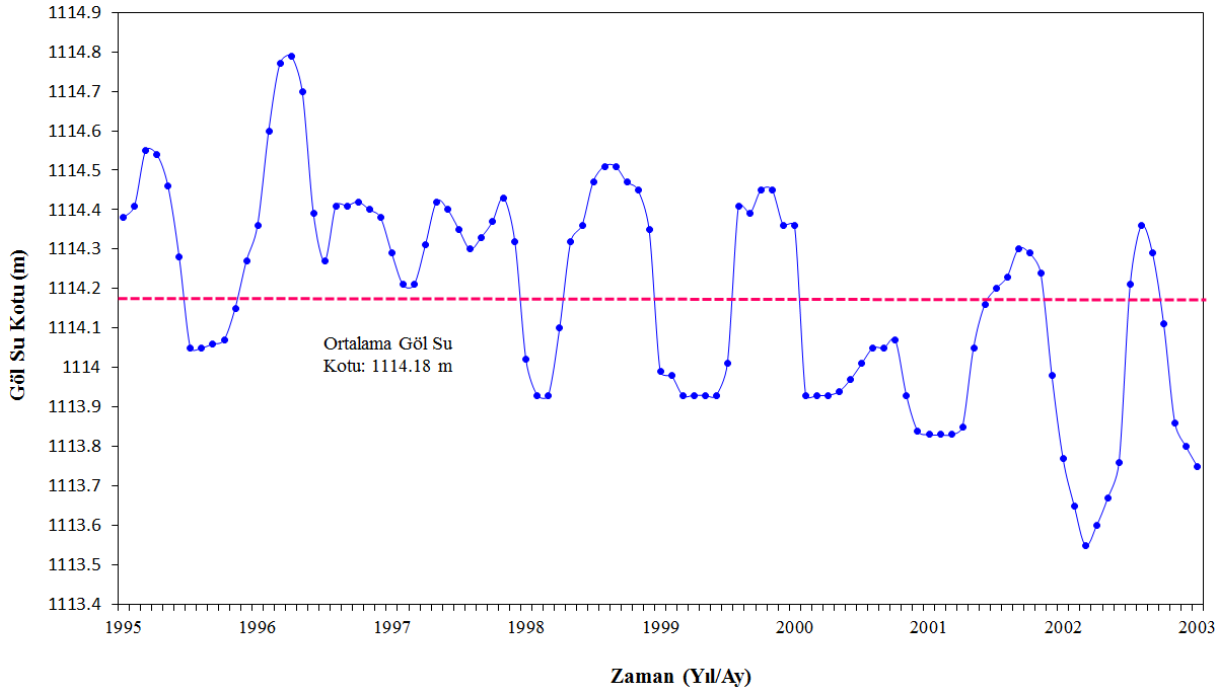
Bu kapsamda Seyfe Gölü'nün göl taban kotundan itibaren 0.5 m artan derinlikle değişen yüzey alanları ve hacimleri hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Seyfe Gölü alan-hacim-derinlik ve göl seviye kotu değişimi

Göl kotu (m)	Derinlik (m)	Alan (km <sup>2</sup> )	Toplam hacim (km <sup>3</sup> )
1113.00	0.0	0.00	0.00
1113.50	0.5	3.95	0.0003
1114.00	1.0	27.61	0.01
1114.50	1.5	46.06	0.03
1115.00	2.0	58.54	0.05
1115.50	2.5	60.52	0.08
1116.00	3.0	60.93	0.11
1116.50	3.5	61.01	0.14
1117.00	4.0	61.02	0.17

Geçmiş yıllarda 1995-2003 yılları arasında ölçülen göl seviye verileri batimetri çalışmaları ile birlikte değerlendirildiğinde (DSİ, 2004); minimum göl su seviyesi 2002 yılı Ekim ayında 1113.55 m,

maksimum göl su seviyesi 1996 yılı Mayıs ayında 1114.79 m, ortalama göl su seviyesi ise 1114.18 m olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

**Şekil 7.** 1995-2003 yılları arası göl seviye değişimleri

Bu verilere göre; minimum ve maksimum göl yüzey alanları sırasıyla 6 km<sup>2</sup> (1113.55 m) ile 56 km<sup>2</sup> (1114.79 m) arasında değişmektedir. Ortalama göl alanı ise 34 km<sup>2</sup> (1114.18 m) olarak hesaplanmıştır. Minimum ve maksimum göl hacimleri ise sırasıyla 0.0002 km<sup>3</sup> ile 0.044 km<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ortalama göl hacmi ise 0.016 km<sup>3</sup> (1114.18 m)'tür. Göl su seviye değişimleri incelendiğinde en düşük göl su seviyeleri Eylül ayında gözlenirken; en yüksek göl seviyeleri Nisan-Mayıs aylarında gözlenmektedir (Şekil 7). Ayrıca çalışma alanında MNDWI yöntemine göre 1985-2020 yılları için hesaplanan göl yüzey alanlarına karşılık gelen göl seviye kotları ve göl hacimleri hesaplanmıştır (Tablo 6).

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

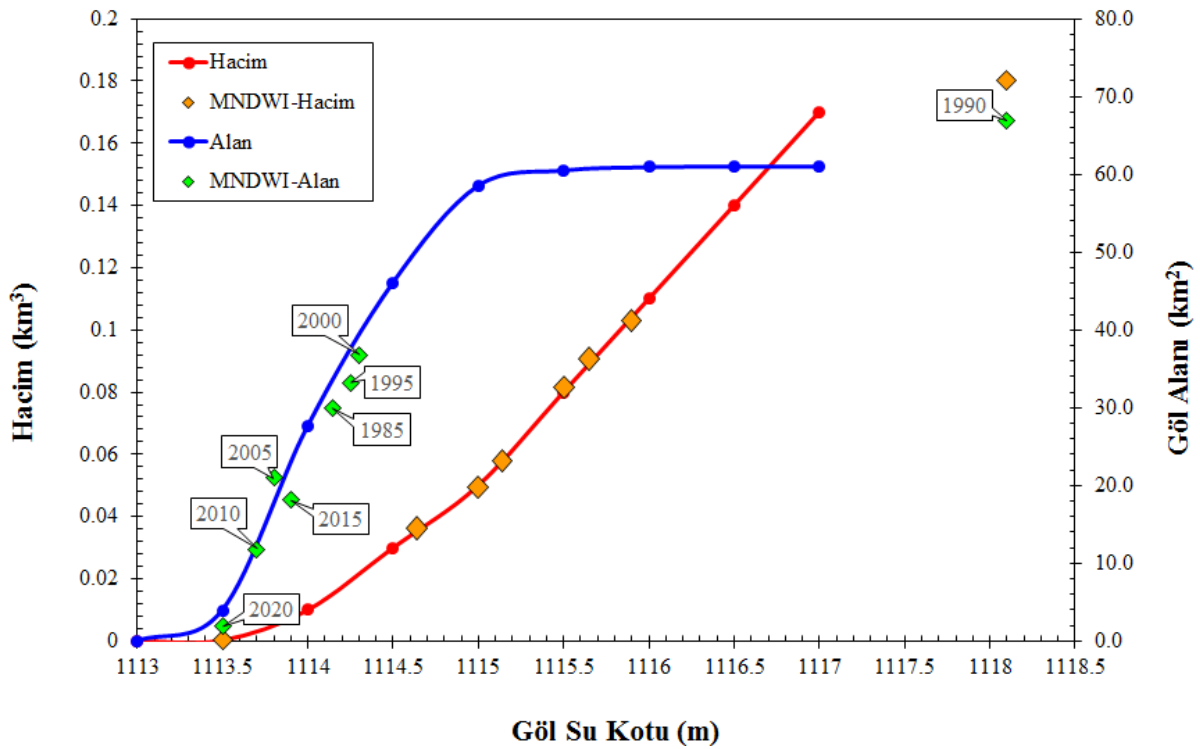
Bu çalışmada UA ve CBS teknikleri kullanılarak beş yıllık periyotlar halinde 1985-2020 yılları arasında Seyfe Gölü yüzey alanı değişimi Landsat uydu görüntüleri kullanılarak MNDWI yöntemi ile belirlenmiş ve göl batimetri çalışmaları ile birlikte değerlendirilmiştir.

Göl batimetri çalışmaları kapsamında ise göl taban topografyası için oluşturulan sayısal yükseklik dağılımı kullanılarak farklı göl seviye kotlarındaki alansal ve hacimsel değişimler CBS ortamında hesaplanmış ve MNDWI yöntemi sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir.

**Tablo 6.** MNDWI yöntemi ile hesaplanan göl alanının hacim ve göl seviye kotu değişimi

Tarih	Göl su kotu (m)	Alan (km <sup>2</sup> )	Toplam hacim (km <sup>3</sup> )
23.09.1985	1114.15	29.89	0.08
21.09.1990	1118.1	66.87	0.18
05.10.1995	1114.25	33.25	0.088
16.09.2000	1114.3	36.72	0.1
14.09.2005	1113.8	20.98	0.056
28.09.2010	1113.7	11.82	0.032
26.09.2015	1113.9	18.17	0.048
23.09.2020	1113.5	1.86	0.0004

İncelenen yıllara karşılık gelen göl su kotu ve hesaplanan göl alanı ve hacim değerleri Şekil 8’de verilmiştir.

**Şekil 8.** Göl alanı için kot, alan ve hacim ilişkisi

Çalışmanın amacına yönelik seçilen MNDWI yöntemine göre yapılan analizde, gölün 1990 yılında maksimum yüzey alanına ulaştığı belirlenmiştir. 1985-2020 yılları için hesaplanan göl yüzey alanlarına karşılık gelen göl seviye kotlarının 2000’li yıllardan itibaren giderek düştüğü gözlemlenmiştir. Bazı yıllarda ise düşen yağış miktarına bağlı olarak göl seviye kotunda yükselmelerin gerçekleştiği belirlenmiştir. Seçilen zaman serisi için göl yüzey alanının %93.78 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Göl batimetri haritasına göre gölün en derin yeri alanın kuzeyi olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya konu olan Seyfe Gölü kapalı bir havzada yer almaktadır ve göl alanının beslenimine

katkı sağlayan en önemli bileşeni yağıştır. Bu bağlamda 2015 yılında göl yüzey alanının büyümesinde göle düşen yıllık yağış miktarındaki artışın etkili olduğu düşünülmektedir. Göl alanında yapılmış çalışmalar (Reis ve Yılmaz, 2008; Yaman ve Avdan, 2018) değerlendirildiğinde; göl yüzey alanı değişiminin saptanmasında farklı yıllar için farklı yöntemler (kontrolsüz sınıflama ve NDWI) uygulanmış olsada; tüm çalışmalarda ortak sonuç olarak göl alanının gittikçe küçüldüğü ve göl su rezervinin azaldığını göstermektedir.

Seyfe Gölü’nde 35 yıllık süreçte artan bir hızla alan kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Bu sürecin önlenmesi çok olası olmamakla birlikte; alansal kaybın yavaşlatılması anlamında bazı acil

planlamaların yapılması gerektiği düşünülmektedir. Gerek iklimsel etkiler gerekse antropojenik etkiler gölün doğal halindeki beslenme boşalım dengesinin bozulmasında önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte gölün seviye ve alan kayıplarını açıklamak için sadece iklimsel bileşenlerde gerçekleşen değişimlerden kaynaklı bir sürecin olmadığını, gölün beslenme alanı içerisinde gerçekleştirilen yapay müdahalelerden (kuyularla çekim, sulama, drenaj kanalları, tarım deseni, arazi kullanımı vb.) doğrudan etkilendiği düşünülmektedir. Gölü besleyen su kaynaklarının yoğun ve bilinçsiz şekilde kullanımı, olumsuz iklim koşulları ile birleştiğinde son yıllarda gözlemlendiği üzere gölün tamamen kurumasına yol açma riski olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca göl alanı ve çevresi çeşitli koruma statülerine alınmış olduğu halde günümüzde göldeki alansal ve hacimsel kaybı önleyecek yönde bir sürecin gelişmediği de görülmektedir. Dolayısıyla gölün korunması, iyileştirilmesi ve yönetimi anlamında da göl yüzey alanının değişimine etkiyen doğal ve yapay faktörler belirlenmeli, göl havzası içerisinde hangi bileşenin daha fazla etkisi olduğu ortaya konulmalıdır. Alınacak tedbirlerin bu faktörler gözetilerek alınması gölün sürdürülebilirliği için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın ilettilmesine yönelik çalışmalar kapsamında ise çeşitli uydulara (Sentinel, Spot vb.) ait yersel çözünürlüğü daha yüksek uydu görüntüleri ile çalışılarak farklı yıllar ve farklı periyotlar için gölün alansal yayılımındaki değişiminin belirlenebileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli uyduların gelişmiş sensörleri ile göl alanındaki ve göl su kotundaki değişimlerin farklı parametreler ile (göl yüzey sıcaklığı, altimetrik kot değişimi vb.) değerlendirilmesi mümkün olabilecektir. Yine çözünürlüğü daha yüksek uydu görüntülerinin ve türev verilerinin kullanılması ile elde edilecek sonuçların hata payı daha düşük olacağı için göl seviye, alan ve hacim parametrelerinin doğal sistemi daha iyi temsil edebileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma yazarlardan Cansu Yurteri'nin doktora tez çalışmasının bir bölümünü kapsamaktadır. Yine bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje No: 18960-2021) desteklenmektedir. Yazarlar Landsat uydu görüntüleri için Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Merkezi'ne (USGS),

meteorolojik veriler için Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, metnin yazımı sırasındaki öneri, görüş ve katkıları için Dr. Hayati Koyuncu'ya, makale metninin son haline gelmesindeki öneri, görüş ve katkıları için editör ve hakemlere teşekkür eder.

### Kaynaklar

- Ali, M., Dirawan, G., Hasim, A. and Abidin, M. (2019). Detection of changes in surface water bodies urban area with NDWI and MNDWI methods. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9, 946. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.3.8692>.
- Bao, Y. and Zhang, X. (2011). The study of lakes dynamic change based on RS and GIS-take Dalinor Lake as an example. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2376-2384. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.370>.
- Chang, B., He, K., Li, R., Sheng, Z. and Wang, H. (2017). Linkage of climatic factors and human activities with water level fluctuations in Qinghai Lake in the northeastern Tibetan Plateau, China. *Water*, 9(7), 552. <https://doi.org/10.3390/w9070552>.
- Deus, D. and Gloaguen R. (2013). Remote sensing analysis of lake dynamics in semi-arid regions: implication for water resource management. Lake Manyara, East African Rift, northern Tanzania. *Water*, 5(2), 698-727. <https://doi.org/10.3390/w5020698>.
- Dost, R.J.J. and Mannaerts, C.M. (2008). Generation of lake bathymetry using sonar, satellite imagery and GIS. J. Dangermond (Ed.), *ESRI 2008: Proceedings of the 2008 ESRI International User Conference* (pp. 1-5). Redmond: ESRI.
- DSİ, (2004). *Seyfe Ovası hidrojeolojik revize etüt raporu*. Kayseri: Devlet Su İşleri XII Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı.
- DSİ, (2015). *Seyfe Gölü hidrografik haritası*. Ankara: Devlet Su İşleri Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı.
- El Asmar, H., Hereher, M. and Kafrawy, S. (2013). Surface area change detection of the Burullus Lagoon, north of the Nile Delta, Egypt, using water indices: a remote sensing approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.004>.
- Fang Fang, Z., Bing, Z., Jun Sheng, L., Qian, S., Yuan Feng, W. and Yang, S. (2011). Comparative analysis of automatic water identification method based on multispectral remote sensing. *Procedia*



- Environmental Sciences*, 11, 1482-1487. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.095>.
- Howari, F., Sherif, M., Singh, V. and Alasam Alzaabi, M. (2007). Application of GIS and Remote Sensing techniques in identification, assessment and development of groundwater resources. Thangarajan, M. (Eds.), *Groundwater*. (pp. 1-25). Germany, Netherlands: Springer.
- Gao, B.C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gautam, V., Gaurav, P., Murugan, P. and Annadurai, M. (2015). Assessment of surface water dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and K-T transformation, *Aquatic Procedia*, 4, 739-746.
- Gülci, S., Gülci, N. ve Yüksel, K. (2019). Aslantař Baraj Gölü ve çevresinin su yüzey alanı ve arazi örtüsü değişiminin Landsat uydu görüntüleri kullanılarak izlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1), 100-110. <https://doi.org/10.21597/jist.419221>.
- Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling, Z. and Yu, G. (2011). Water body extraction methods study based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2619-2624. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.407>.
- Kiage, L. and Douglas, P. (2019). Linkages between land cover change, lake shrinkage, and sublacustrine influence determined from remote sensing of select Rift Valley Lakes in Kenya. *Science of the Total Environment*, 709, 136022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136022>
- McFeeters, S.K. (1996). The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Mutlu, A., Kazancı, B., Özçetin, A. ve Sarıyılmaz, F. (2020). Akşehir Gölü zamansal değişiminin bant oranlama yöntemleri ile belirlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 22-28. <https://dergipark.org.tr/pub/tuzal/issue/52699/650018>.
- Naik, B. and Anuradha, B. (2018). Extraction of water-body area from high-resolution Landsat imagery. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8, 4111. <https://doi.org/10.11591/ijece.v8i6.pp.4111-4119>.
- Nandi, D., Chowdhury, R., Mohapatra, J., Mohanta, K. and Ray, D. (2019). Automatic delineation of water bodies using multiple spectral indices. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 4, 498-512.
- Reis, S. and Yılmaz, H.M. (2008). Temporal monitoring of water level changes in Seyfe Lake using remote sensing. *Hydrological Processes*, 22, 4448-4454. <https://doi.org/10.1002/hyp.7047>.
- Sayhan, H. (2001). Seyfe Gölü eski seviyelerinin Kuvaterner jeomorfolojisi açısından etüdü. *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2(2), 55-73.
- URL-1, <https://bolge9.tarimorman.gov.tr/Menu/85/Kirsehir-Seyfe-Golu-Ramsar-Alani>. 12 Temmuz 2021.
- URL-2, <https://earthexplorer.usgs.gov>. 12 Temmuz 2021.
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remote sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
- Yaman, M. ve Yigit Avdan, Z. (2018). Uydu görüntüleri kullanılarak su kütlesi değişiminin izlenmesi: Seyfe Gölü örneği. *2018 VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu (UZAL-CBS)*, Eskişehir.
- Zhai, K., Wu, X., Qin, Y. and Du, P. (2015). Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations. *Geo-spatial Information Science*, 18, 32-42. <https://doi.org/10.1080/10095020.2015.1017911>
- Zhou, W., Li, Z., Ji, S., Hua, C. and Fan, W. (2015). A new index model NDVI-MNDWI for water object extraction in hybrid area. Bian, F., Xie, Y. (eds), *Communications in Computer and Information Science* (s. 513-519.). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45737-5\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45737-5_51).

## Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi

### *Investigation of seismic safety of an existing residential RC building*

Oğulcan SARI<sup>1,a</sup>, Hakan ULUTAŞ<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Yüksek Mühendisi, 07080, Antalya

<sup>2</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur

• Geliş tarihi / Received: 31.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 28.07.2021

#### Öz

Bu çalışmada, mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliği 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre incelenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kesitlerin moment eğrilik bağıntıları ile plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi ve statik itme analizleri SAP 2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çözümlerde; yönetmeliklere göre kesit şekil değiştirme üst sınırlarında, doğal titreşim periyotlarında, hedef yer değiştirme istemlerinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlarda ve katların performans düzeylerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. İncelenen bina her iki yönetmeliğe göre de x- doğrultusunda hedef performans seviyesini sağlayamamış, y- doğrultusunda hedef performans seviyesini sağlayabilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** DBYBHY-2007, Doğrusal elastik olmayan yöntem, Performans analizi, TBDY-2018, Tek modlu statik itme analizi

#### Abstract

In this study, the earthquake safety of a residential type reinforced concrete building, which constitutes a significant part of the existing building stock, was examined according to the 2007 and 2018 earthquake codes, and the results were compared. Moment curvature relations of the sections, determination of plastic hinge properties and pushover analyzes were performed in SAP 2000 software. The analysis yielded varying results in terms of the upper limits of cross-sectional deformation, natural periods of structure, target displacement demands, damage to the structural system elements and performance levels of the floors. The examined building could not achieve the target performance level in the x-direction, but could achieve the target performance level in the y-direction according to both codes.

**Keywords:** TSC-2007, Nonlinear method, Performance analysis, TBEC-2018, Single mode pushover analysis

\*b Hakan ULUTAŞ; hakannulutas@gmail.com, Tel: (0246) 213 27 46, orcid.org/0000-0003-1721-7268

a orcid.org/0000-0002-8928-9124

## 1. Giriş

Türkiye ve yakın çevresinin önemli deprem felaketlerinin yaşandığı ve tektoniği aktif olan bir bölgede olmasından dolayı, bölgede deprenselliğin izlenmesi, kayıt altına alınması ve bilimsel olarak irdelenmesi büyük önem arz etmektedir (Yalçın vd., 2013). Özellikle son yıllarda dünyada ve ülkemizde yaşanan yıkıcı depremlerin sebep olduğu büyük çaplı can ve mal kayıpları, deprem konusunda yapılan çalışmaları, araştırmaları ve alınacak önlemlerin önemini gündeme getirmiştir (Işık, 2013). Depremde meydana gelen can ve mal kayıpları düşünüldüğünde en önemli ihtiyaçlarımızdan birinin depreme karşı güvenli yapılar inşa etmek olduğu söylenebilir (Dilmaç vd., 2013). Ülkemizde depreme karşı dayanıklı yapı inşa etmek amacıyla 1940 yılından günümüze 10 farklı deprem yönetmeliği kullanılmıştır. Her yeni çıkan yönetmelik bir önceki yönetmelikte görülen eksiklerin giderilmesi doğrultusunda yapılmıştır. Ülkemizde 2007 ile 2019 tarihleri arasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) kullanılmaktaydı. 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla ise Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kullanılmaya başlanmıştır. Deprem yönetmeliğinin güncellenmesiyle birlikte meydana gelen değişikliklerin binalar üzerindeki etkisi araştırılmaya başlanmıştır (Tunç ve Tanfener, 2016; Demir ve Kayhan, 2017; Başaran, 2018; Dilmaç vd., 2018; Keskin ve Bozdoğan, 2018; Koçer vd., 2018; Asıgçel, 2019; Gündoğay vd., 2019; Engin, 2019; Kadaş vd., 2019; Karaca, 2019; Kılıç, 2019; Soyacan, 2019; Topaktaş, 2019; Uçar, 2019; Ulutaş, 2019; Aksoylu vd., 2020; Işık vd., 2020; Karaca vd., 2020; Karaca, 2020; Karasin vd., 2020; Şimşek, 2020; Turan, 2020; Aksoylu vd., 2021; Işık vd., 2021; İbiş ve Ulutaş, 2021; Yalın ve Ulutaş, 2021). Literatürde yapılan çalışmalarda, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri genel bağlamda yapısal tasarım, kesit hasar sınırları, deprem performansı, taban kesme kuvveti, bina tepe yer değiştirmesinde meydana gelen değişim ve binaların sismik davranış özellikleri gibi konularda kıyaslanmıştır.

Deprem yönetmeliğinin değişmesiyle birlikte mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için gerekli olan malzeme gerilme şekildedğiştirme bağıntılarında, kesit hasar sınırlarında, kesit hasar bölgelerinde, kesit şekildedğiştirme üst sınırlarında, etkin kesit rijitliklerinde, elastik spektrum eğrisinde, performans düzeylerinde, bina performans düzeyinin belirlenmesi için taşıyıcı elemanların sağlaması gereken koşullarda ve hedef

performans düzeylerinde değişikliklere gidilmiştir. DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinin ikisine göre de statik itme analizi yapılmadan önce statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılması gerekmektedir. TBDY'e göre statik düşey yükler hesabında düşey deprem etkisi dikkate alınırken, DBYBHY'de bu etki dikkate alınmamaktaydı. Ayrıca DBYBHY ile yalnızca mevcut binaların deprem güvenliği belirlenebilmekteydi. TBDY ile mevcut binalar ile birlikte yeni yapılacak binaların da depreme karşı güvenliği belirlenebilmektedir. Mevcut binaların depreme karşı güvenliği belirlenirken beton ve donatının mevcut dayanımları kullanılmakta, yeni yapılacak binalarda ise beklenen ortalama dayanımlar kullanılmaktadır. Ayrıca yeni yapılacak binalarda etkin kesit rijitlik çarpanlarının belirlenmesi için kesitlerin moment eğrilik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Kesitlerin etkin kesit rijitlik çarpanları, yapılan bu analizlerden elde edilen plastik mafsallarının etkin akma momentleri ve etkin akma eğrilikleri kullanılarak belirlenmektedir.

Bu çalışmada, Burdur ilinde bulunan, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1998) esaslarına göre tasarlanmış ve 2004 yılında inşa edilmiş mevcut konut türü betonarme bir binanın proje verileri temin edilmiştir. Taşıyıcı sistemi yalnızca çerçevelerden oluşan 4 katlı bu binanın DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerine göre deprem güvenliği incelenmiş, elde edilen performans sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bunun için mevcut binanın DBYBHY ve TBDY esaslarına göre SAP 2000 programında modelleri oluşturulmuştur. Her iki yönetmeliğine göre malzeme gerilme şekil değiştirme bağıntıları, kesitlerin şekildedğiştirme üst sınırları, etkin kesit rijitlikleri, hedef yerdeğiştirme istemleri, taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarlar ve katların performans düzeyleri belirlenmiştir. Söz konusu bu işlemler excel formatında hazırlanan bir dosyadan faydalanılmıştır. Kesitlerin moment eğrilik bağıntıları ile plastik mafsallı özelliklerinin belirlenmesinde SAP 2000'in "Section Designer" arayüzünden faydalanılmıştır. DBYBHY'e göre yapılan analizlerde doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, TBDY'e göre yapılan analizlerde ise doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden sabit tek modlu itme analizi kullanılmıştır.

## 2. Binaların deprem performansının belirlenmesi

DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerinin her ikisinde de binaların deprem performans seviyelerinin belirlenmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere 2 hesap yöntemi önerilmektedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin alt yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, DBYBHY'e göre yapılan analizlerde doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, TBDY'e göre yapılan analizlerde ise artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin bu yönetmelikteki karşılığı olan sabit tek modlu itme yöntemi kullanılmıştır. TBDY'de Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi yerine sabit tek modlu itme yöntemi ifadesi kullanılmıştır. Her iki itme yönteminde de, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanmaktadır. Yapılan itme analiziyle eksenleri çatı katı

yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti olan kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile eksenleri modal yerdeğiştirme – modal sözde-ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Modal kapasite eğrisi, tanımlanan deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebinin ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet ve plastik şekildeğiştirme taleplerinin hesaplanmasında esas alınır (TBDY, 2018).

### 2.1. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

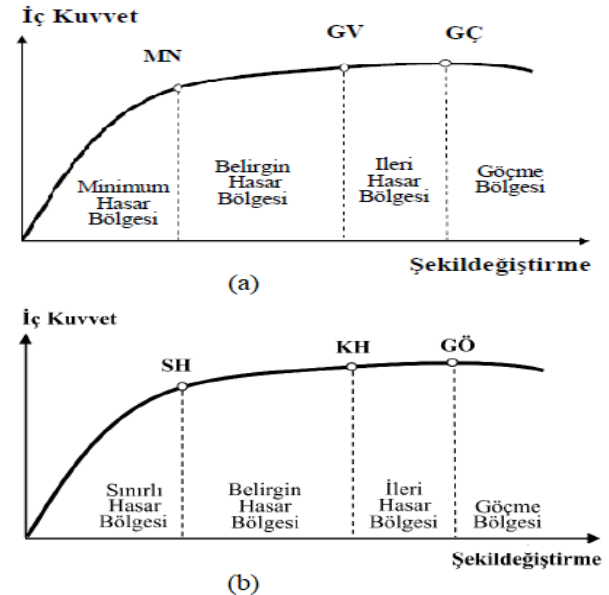
DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerinin her ikisinde de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. DBYBHY'de bu hasarlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) iken, TBDY'de Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ)'dür. Yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kesitlerde meydana gelen şekil değiştirmelerin Tablo 1'de ilgili yönetmelik için verilen birim şekildeğiştirme sınırları ile karşılaştırılması sonucunda kesit hasarı belirlenmiş olur.

**Tablo 1.** Kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları

DBYBHY			TBDY	
Kesit hasar sınırı	Beton şekildeğiştirme üst sınırları	Donatı çeliği şekildeğiştirme üst sınırları	Kesit hasar sınırı	Plastik dönme üst sınırları( $\theta_p$ )
GÇ	$(\epsilon_{cg}) = 0.004 + 0.014$ $(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$	$(\epsilon_s) = 0.060$	GÖ	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left( (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$
GV	$(\epsilon_{cg}) = 0.0035 + 0.01$ $(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$	$(\epsilon_s) = 0.040$	KH	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
MN	$(\epsilon_{cu}) = 0.0035$	$(\epsilon_s) = 0.010$	SH	$\theta_p^{(SH)} = 0$

Burada;  $\epsilon_{cu}$ , kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_{cg}$ , etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini;  $\epsilon_s$ , donatı çeliği birim şekildeğiştirmesini;  $\rho_s$ , kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranını;  $\rho_{sm}$ , DBYBHY'e göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını;  $\phi_u$ , kesitteki göçme öncesi toplam eğriliği;  $\phi_y$ , plastik mafsallardaki etkin akma eğriliğini;  $L_s$ , kesme açıklığını;  $L_p$ , plastik mafsallardaki boyunu;  $d_b$ , ise düğüm noktasındaki donatıların ortalama çapını ifade etmektedir.

Elemanın kritik kesitlerinin hasarına bakılarak hangi hasar bölgesinde kaldığına karar verilir. DBYBHY'de verilen hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 1.a'da, TBDY'de verilen hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 1.b'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

## 2.2. Bina performans düzeyleri

DBYBHY’de Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Öncesi (GÖ) olmak üzere 3 performans düzeyi verilmiştir. TBDY’de ise Kesintisiz Kullanım (KK), Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyi olmak üzere 4 performans düzeyi bulunmaktadır. Her iki yönetmelikte de, verilen performans düzeylerinden herhangi birini sağlayamayan binalar Göçme Durumu’ndadır. DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinin ikisinde de kullanım amacına göre binanın sağlaması gereken

minimum performans düzeyleri verilmiştir. Çalışma kapsamında mevcut konut türü bir bina incelenmektedir. Mevcut konut türü bir bina DBYBHY’ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için CG hedef performans seviyesini, TBDY’ye göre ise 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için KH hedef performans seviyesini sağlaması gereklidir. Binanın DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinde verilen hedef performans seviyesini sağlaması için taşıyıcı elemanlarının Tablo 2’de verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

**Tablo 2.** Minimum hedef performans seviyesi için taşıyıcı elemanların sağlaması gereken koşullar

Performans seviyesi	Koşul	Yönetmelik maddesi
CG	(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30’u İleri Hasar Bölgesi’ne geçebilir. (b) İleri Hasar Bölgesi’ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı normal katlarda %20’nin altında, en üst katta ise en fazla %40 olmalıdır. (c) Göçme bölgesine geçen kolon olmamalı ve herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı en fazla %30 olmalıdır.	DBYBHY 7.7.3
KH	(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35’i İleri Hasar Bölgesi’ne geçebilir. (b) İleri Hasar Bölgesi’ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı normal katlarda %20’nin altında, en üst katta ise en fazla %40 olmalıdır. (c) Göçme bölgesine geçen düşey elemanlar olmamalı ve herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı en fazla %30 olmalıdır.	TBDY 15.8.4

Tablo 1’de verilen koşullara gevrek olarak hasar gören elemanlar dâhil edilmezler. Gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirmeleri gerekmektedir.

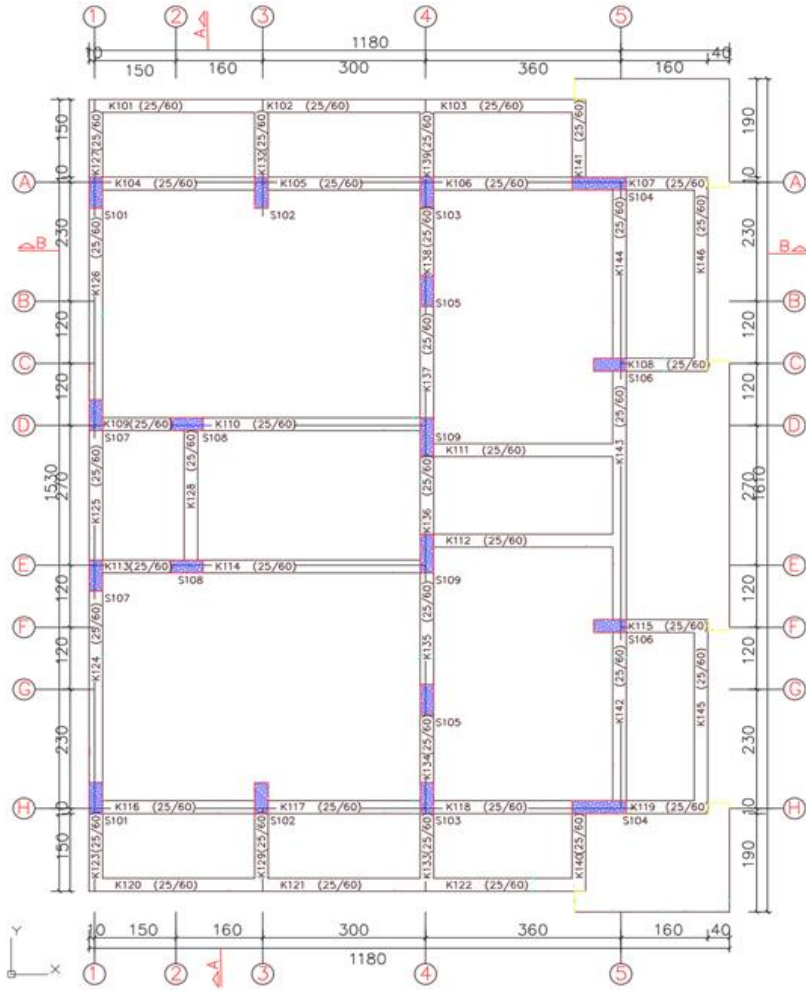
## 3. Mevcut konut türü betonarme bir binanın DBYBHY ve TBDY’ye göre deprem performansının belirlenmesi

Bu çalışmada, mevcut konut türü betonarme bir bina incelenmiştir. Bina, Burdur ilinde bulunmakta olup ABYYHY esaslarına göre tasarlanmış ve 2004 yılında inşa edilmiştir. Bina x- doğrultusuna göre simetrik olup, y- doğrultusunun bir tarafı bitişik nizamdadır. Binanın taşıyıcı sistemi her iki doğrultuda sadece çerçevelerden oluşmakta olup, her bir katta 18 adet kolon bulunmaktadır. Binanın kolonlarının kesit boyutları ve donatı düzenleri temel seviyesinden en üst kata kadar değişmeden

devam etmektedir. İncelenen binanın genel özellikleri Tablo 3’te, zemin kat kalıp planı ise Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 3.** İncelene binanın genel özellikleri

Bina kullanım amacı	Konut	
Kat adeti	4	
Kat yüksekliği	3 m	
Yapı oturma alanı	117,37 m <sup>2</sup>	
Beton sınıfı	C20	
Donatı sınıfı	S420	
	DBYBHY	TBDY
Yerel Zemin sınıfı	Z4	ZE
Deprem bölgesi	I	-
S <sub>DS</sub>	-	1.093
S <sub>D1</sub>	-	0.716



Şekil 2. Zemin kat kalıp planı

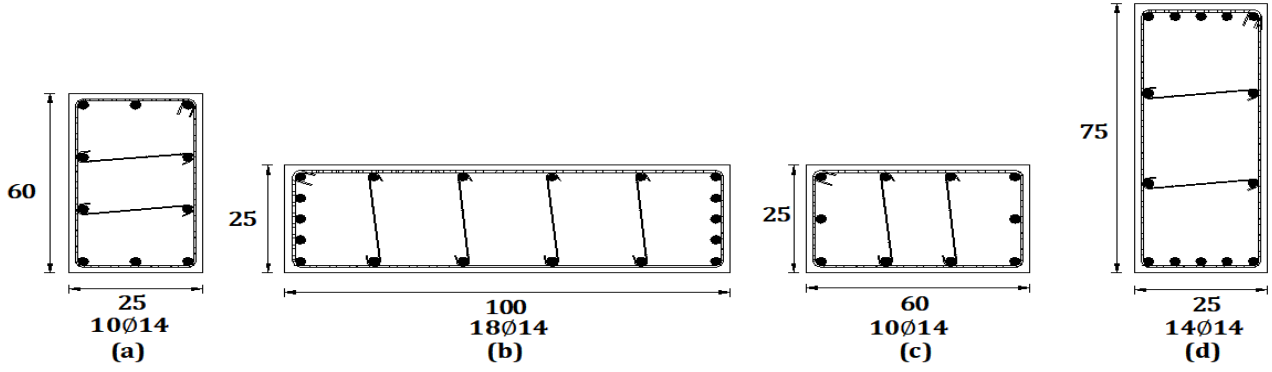
Tablo 4. Kiriş boyuna donatıları

Kiriş adı	Üst donatı	Alt donatı
K101-102-103-109-110-111-112-113-114-120- 142-143-144-145-146	2Ø12	3Ø12
K104-105-106-107-116-117-118-119	3Ø12	2Ø12
K108-115-123-124-125-126-127-129-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141	2Ø12	2Ø12
K201-202-203-208-209-210-211-216-217-218-224-239-240	2Ø12	3Ø12
K206-207-212-213-	3Ø12	2Ø12
K215-219-220-221-222-223-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237	2Ø12	2Ø12
K205-214-238	2Ø12	5Ø14

Binadaki kolon kesitleri, boyut ve donatı düzeni bakımından incelendiğinde 4 çeşit kolon bulunmaktadır. Kolon kesitlerinin tamamında sıklaştırma bölgelerinde 10 cm arayla etriye bulunmaktadır. S101, S102, S103, S105, S107

kolonlarının kesitleri Şekil 3.a'da, S104 kolonun kesiti Şekil 3.b'de, S106 ve S108 kolonlarının kesitleri Şekil 3.c'de, S109 kolonunun kesiti ise Şekil 3.d'de verilmiştir. Şekilde verilen kesit boyutları cm cinsindedir.

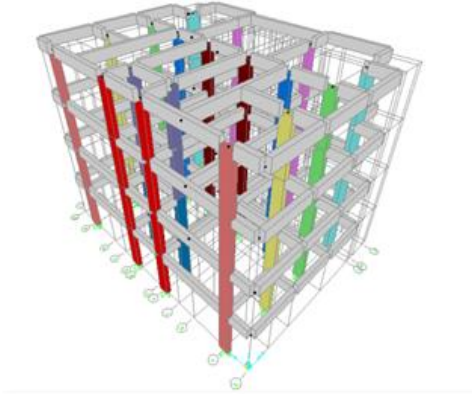




Şekil 3. Kolon kesitleri

### 3.1. Bina taşıyıcı sisteminin modellenmesi

İncelenen konut türü binanın 3 boyutlu modeli SAP2000 V20 programı ile modellenmiştir (Şekil 4).

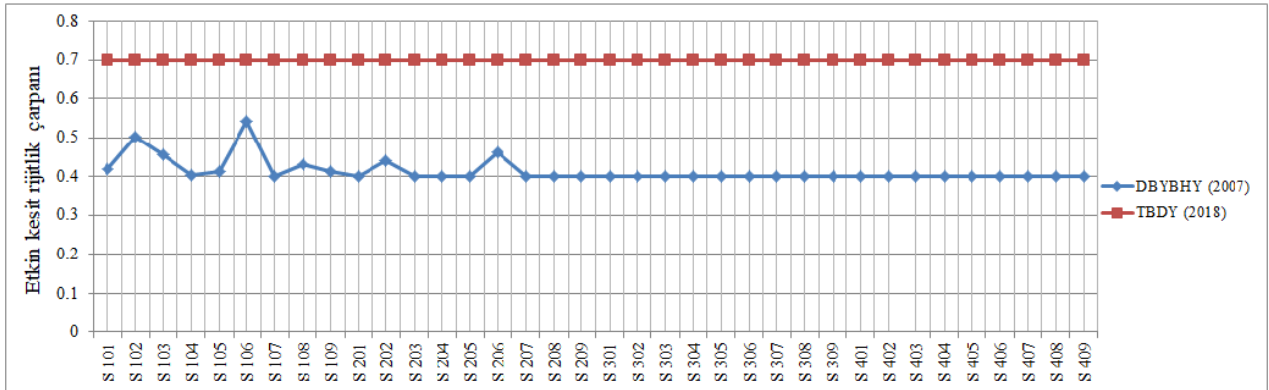


Şekil 4. Binanın 3 boyutlu SAP 2000 modeli

Modellerde kullanılan düşey yükler aşağıda verilmiştir.

- Döşeme sıva+ kaplama yükü= **1.5 kN/m<sup>2</sup>**
- Döşeme ölü yükü= $\gamma \cdot h_f = 25 \cdot 0.15 = \mathbf{3.75 \text{ kN/m}^2}$
- İç ve dış duvar yükleri(sıva dahil) = **5 kN/m<sup>2</sup>**
- Döşeme hareketli yükü:  
Normal döşemelerde: **2 kN/m<sup>2</sup>**  
Balkon döşemelerinde: **5 kN/m<sup>2</sup>**

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin tanımlanmasında etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Etkin kesit rijitlikleri çarpanları DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinde farklılık göstermektedir. Kirişlerin etkin kesit rijitlik çarpanı DBYBHY esaslarına göre oluşturulan SAP 2000 modelinde 0.4, TBDY esaslarına göre oluşturulan SAP 2000 modelinde ise 0.35 alınmıştır. Kolonlar için belirlenen etkin kesit rijitlik çarpanları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kolonlar için belirlenen etkin kesit rijitlik çarpanları

Binanın deprem performansı, DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinin her ikisine göre de doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi ile belirlenmiştir. DBYBHY'e göre yapılan analizlerde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, TBDY'e göre yapılan analizlerde ise sabit tek modlu itme analizi kullanılmıştır. İtme analizlerinde yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan kolon ve kirişlerde doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır.
- Meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu kabul edilmiştir. Plastik mafsalsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınmıştır.
- Plastik mafsallar kolon ve kirişlerin birleşim bölgelerinin dışına yani kolon ve kiriş net açıklık uç noktalarına konulmuştur.
- Kirişlerde plastikleşmenin tek eksenli eğilme momenti ( $M_3$ ) ile, kolon ve perdelerde ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi (P-M2-M3) ile meydana geldiği kabul edilmiştir.
- Kesme açıklığı ( $L_s$ ), kolon ve kirişlerde açıklığın yarısı olarak alınmıştır.

### 3.2. Kullanılan itme yöntemlerinin kullanılabilirliğinin kontrolü

Artımsal eşdeğer yükü yöntemi ve sabit tek modlu itme yöntemlerinde binaya yalnızca hakim titreşim mod şekli ile kuvvet uygulanmaktadır. Bu yüzden bu yöntemlerle elde edilecek sonuçların tutarlı olabilmesi için TBDY ve DBYBHY'de binanın burulma düzensizliği katsayısı, modal kütle katılım oranı ve kat âdetinin sağlanması gereken koşullar bulunmaktadır. Bu koşullar ve incelenen binanın bu koşullara göre kıyası maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

- TBDY'ye göre  $S_{Ds}$  değeri 0.5'den büyük olan bir binanın yüksekliğinin 28 metreyi aşmaması gerekir. DBYBHY ise bina en fazla 8 katlı olabilmektedir. İncelenen bina 4 katlı olup yüksekliği 12 metredir. İncelenen bina her iki yönetmeliğinin bu koşulunu sağlamaktadır.
- TBDY ve DBYBHY'in her ikisinde de modal kütle katılım oranı ile ilgili koşul aynı olup, bu koşula göre; göz önüne alınan deprem

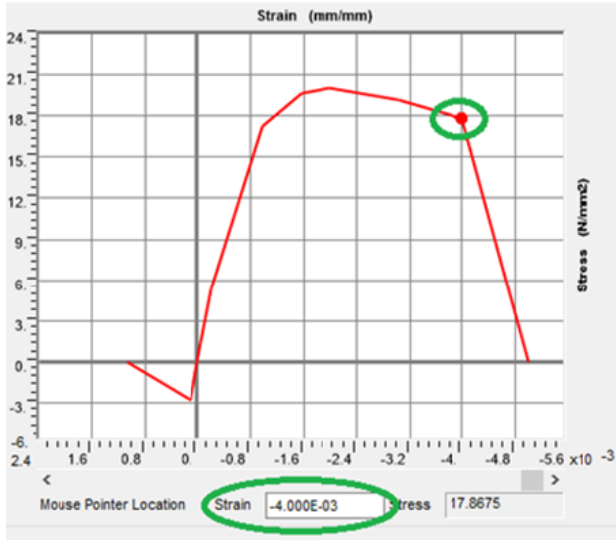
doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. DBYBHY esaslarına göre oluşturulan modelde X ve Y hesap doğrultusu için model kütle katılım oranları sırasıyla 0.79 ve 0.76; TBDY esaslarına göre oluşturulan modelde ise 0.783 ve 0.753 olarak elde edilmiştir. İncelenen bina her iki yönetmeliğinin bu koşulunu sağlamaktadır.

- TBDY ve DBYBHY'in her ikisinde de burulma düzensizliği katsayısı ile ilgili koşul aynı olup, bu koşula göre; herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının ( $\eta_{bi}$ ) <1.4 koşulunu sağlaması gereklidir. Her iki yönetmelik esaslarına göre oluşturulan modellerde tüm katlar için burulma düzensizliği katsayıları elde edilmiş, 4 kat için elde edilen değer en büyüğü bina burulma düzensizliği katsayısı olarak belirlenmiştir. DBYBHY esaslarına göre oluşturulan modelde burulma düzensizliği katsayısı 1.35, TBDY esaslarına göre oluşturulan modelde ise 1.33 olarak elde edilmiştir. İncelenen bina her iki yönetmeliğinin bu koşulunu sağlamaktadır.

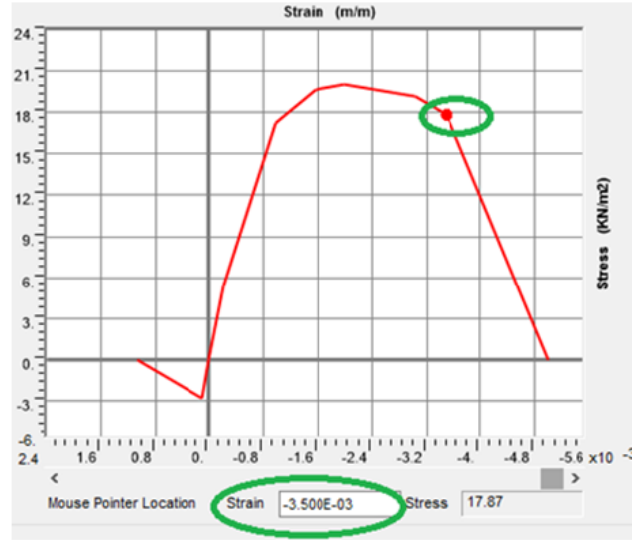
### 3.3. Kesitlerin plastik mafsalsal özelliklerinin tanımlanması

İncelenen binadaki her bir kesitin hasarını elde edebilmek için kesitlerin yığılı plastik özelliklerinin oluşturulması gerekmektedir. Taşıyıcı sistem elemanların plastik mafsalsal özelliklerinin tanımlanabilmesi için kesitlerin karşılıklı etkileşim diyagramlarının ve moment eğrilik analizleri ile belirlenen hasar sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada kesitlerin etkileşim diyagramları ve moment eğrilik grafikleri, SAP 2000 V20 programının "Section Designer" arayüzü kullanılarak elde edilmiştir.

Sargısız betonun DBYBHY ve TBDY esaslarına göre oluşturulan gerilme – şekil değiştirme diyagramları Şekil 6'da verilmiştir. Grafiklerden görüleceği üzere DBYBHY'de gerilme şekil değiştirme grafiğinin doğrusal davranış göstermeye başladığı şekil değiştirme değeri 0.004 iken, TBDY'de bu değer 0.0035 olarak verilmiştir.



(a)

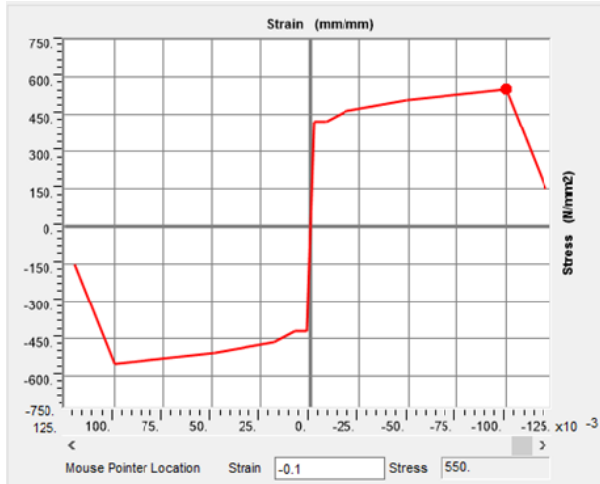


(b)

**Şekil 6.** Betonun DBYBHY (a) ve TBDY (b) yönetmeliklerine göre oluşturulan gerilme-şekil değiştirme diyagramları

İncelenen binada kullanılan donatının DBYBHY ve TBDY esaslarına göre oluşturulan gerilme – şekil değiştirme diyagramları Şekil 7’de verilmiştir. Grafikteki donatıya ait bilgiler,

DBYBHY esaslarına göre oluşturulan model için ilgili yönetmeliğin 7B.2. maddesinden, TBDY esaslarına göre oluşturulan model için ise ilgili yönetmelikteki Tablo 5A.1.’den alınmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 7.** Donatının DBYBHY (a) ve TBDY (b) yönetmeliklerine göre oluşturulan gerilme – şekil değiştirme diyagramları

Yapılan moment eğrilik analizleri sonucunda kesitlere ait akma eğrilikleri ( $\phi_y$ ), akma momentleri ( $M_y$ ), göçme öncesi eğrilikleri ( $\phi_u$ ), göçme öncesi momentleri ( $M_u$ ) elde edilmiştir. Elde edilen moment eğrilik analizi verileri hazırlanan Excel formatında bir dosyaya aktarılmıştır. Söz konusu Excel dosyasında yapılan bazı düzenlemeler ile DBYBHY ve TBDY esaslarına göre kesit plastik dönme sınır değerleri elde edilmiştir. Kolon ve kirişlerin plastik mafsal özellikleri belirlendikten sonra bu özellikler Sap 2000 de tanımlanmıştır. Kesitlerin plastik mafsal özellikleri için Sap

2000’in “hinge properties” arayüzünden faydalanılmıştır. Kirişler basit eğilmeye çalıştığı için M3 plastik mafsal özelliği kullanılmıştır. Kolonlar aksel kuvvet ve eğilme momentine birlikte maruz kaldıklarından bu elemanlarda P-M2-M3 plastik mafsal özelliği kullanılmıştır. Kolon kesitlerinin plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması için karşılıklı etki diyagramlarının da oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  olmak üzere 3 farklı akma yüzeyi için karşılıklı etki diyagramı tanımlanmıştır. Karşılıklı etki diyagramlarının her biri 9 aksel yük (P) ve

eğilme momenti ( $M_2-M_3$ ) değeri ile oluşturulmuştur. Bu değerler ilgili kesitin “Section desinger” modelinden alınmıştır. Plastik mafsallar tanımlandıktan sonra bu mafsalların kolon ve giriş kesitlerinin her iki ucuna atanmıştır.

### 3.4. Statik itme analizinin yapılması

DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinin ikisine göre de statik itme analizi yapılmadan önce statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılması gerekmektedir. Bu hesap ile elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler yatay deprem hesabının başlangıç değerleri olarak göz önüne alınmalıdır. TBDY’ye göre statik düşey yükler Denklem 1 ile belirlenmektedir.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (1)$$

Burada;  $G$  sabit yükü,  $Q$  hareketli yükü,  $n$  ise hareketli yük azaltma katsayısını göstermektedir. Düşey deprem etkisini gösteren  $E_d^{(Z)}$  ise Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$E_d^{(Z)} = 2/3 * S_{DS} * G \quad (2)$$

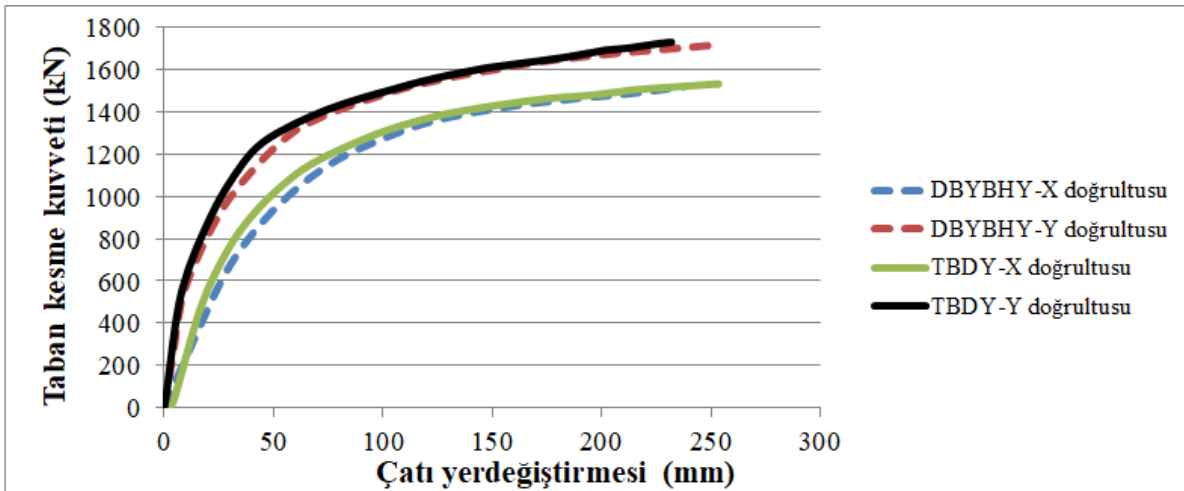
Denklem 2’de geçen  $S_{DS}$  değeri deprem düzeyine bağlı olarak değişmektedir. TBDY’ye göre mevcut konut türü binaların hedef performans seviyesi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler (DD-2 deprem düzeyi) için Kontrolü Hasar (KH)’dir. Çalışma kapsamında incelenen binanın kullanım amacı konut olduğu için hareketli yük azaltma katsayısı ( $n$ ) 0.3,  $S_{DS}$  değeri ise DD-2 için 1.093 alınmıştır.  $S_{DS}$  ve  $n$  değerlerinin denklemlerde yerine yazılmasıyla TBDY’ye göre yapılacak itme analizinin doğrusal olmayan statik düşey yüklemesinin bağıntısı Denklem 3 ile elde edilmiş olur.

$$1.2186G + 0.3Q \quad (3)$$

DBYBHY’ye yapılacak itme analizinde kullanılacak olan doğrusal olmayan statik düşey yüklemenin bağıntısı Denklem 4’te verilmiştir.

$$G + 0.3Q \quad (4)$$

DBYBHY ve TBDY esaslarına göre oluşturulan Sap 2000 modelleri her iki doğrultuda statik itme analizlerine tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonucu elde edilen kapasite eğrileri Şekil 8’de verilmiştir.



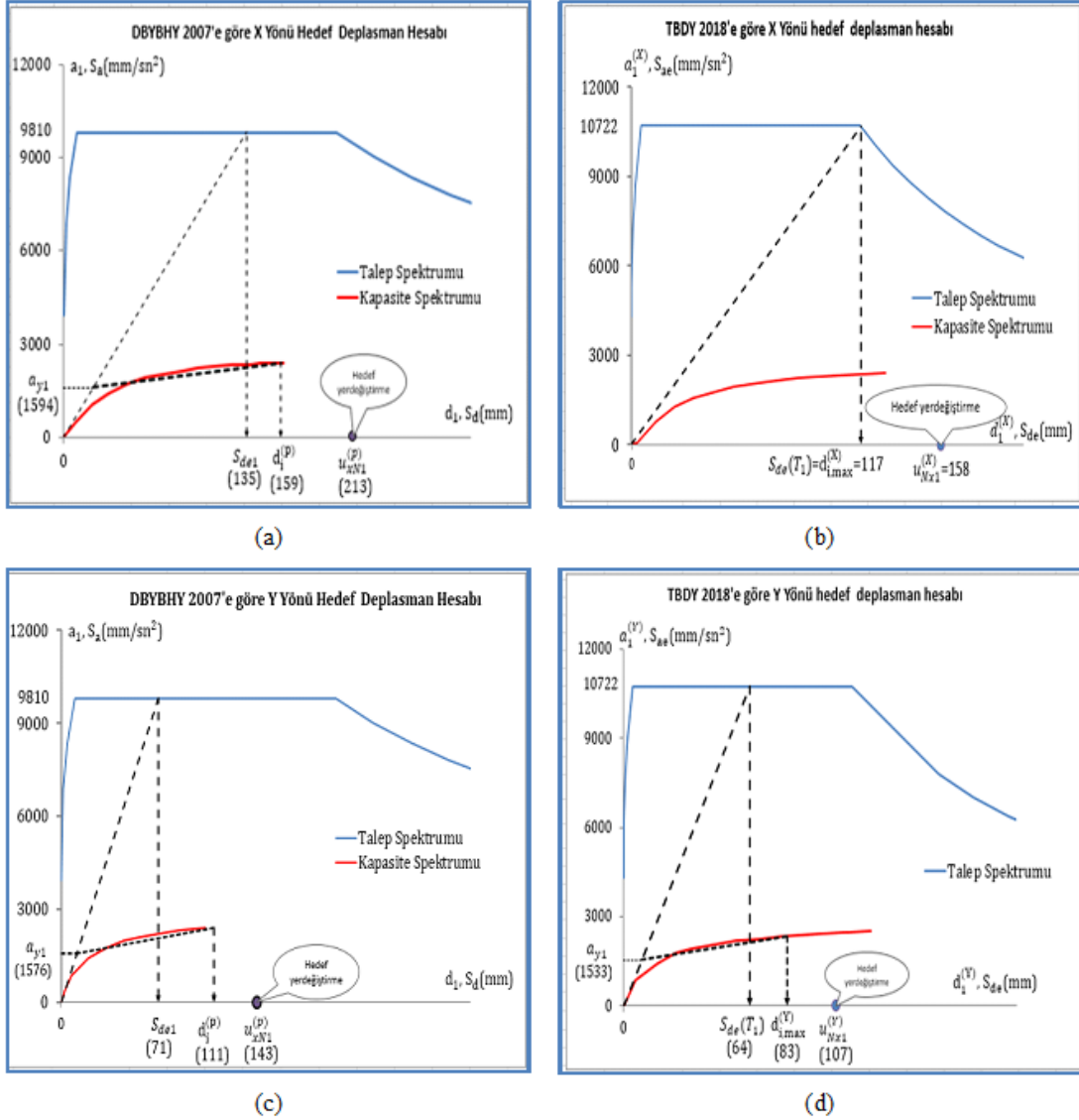
Şekil 8. Kapasite eğrileri

Şekil 8 incelendiğinde, DBYBHY ve TBDY esaslarına göre elde edilen kapasite eğrilerinin bazı noktalarda birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların oluşmasına sebep olan temel etmenlerin, yönetmelikler arasındaki plastik mafsalları tanımlamalarındaki farklılıklar, malzeme plastik özelliklerindeki farklılıklar, kesit etkin rijitlik çarpan farklılıkları ve doğrusal olmayan statik hesap tanımlamada TBDY’nin düşey deprem etkisini dikkate alması, DBYBHY’nin ise bu etkiyi dikkate almaması şeklinde sıralanabilir.

Statik itme yöntemlerinden biri ile deprem performansı belirlenecek bir binanın her iki doğrultu için hedef yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi gerekmektedir. Hedef yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi için modal kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişmesi gerekmektedir. Modal kapasite spektrumu, itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisinin eksen dönüştürme işlemi yapılması ile elde edilir. Eksen dönüştürme işleminde amaç; kapasite eğrisi ile talep spektrumunu aynı grafik üzerinde buluşturmadır. Söz konusu bu işlemler oluşturulan

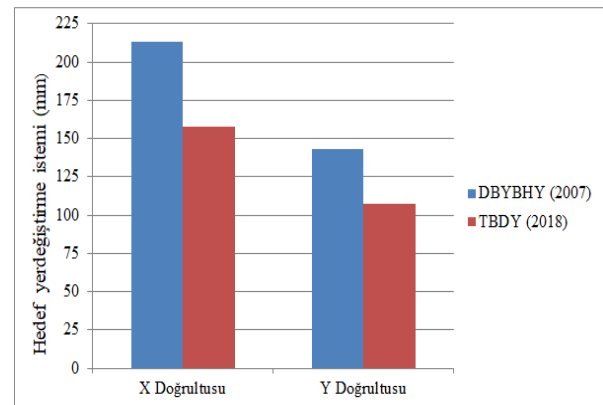
bir excel dosyası ile yapılmıştır. X hesap doğrultusunun DBYBHY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemi Şekil 9.a'da, TBDY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemi Şekil 9.b'de,

Y hesap doğrultusunun DBYBHY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemi Şekil 9.c'de, TBDY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemi Şekil 9.d'de, verilmiştir.



Şekil 9. Hedef yerdeğiştirme istemlerinin elde edilmesi

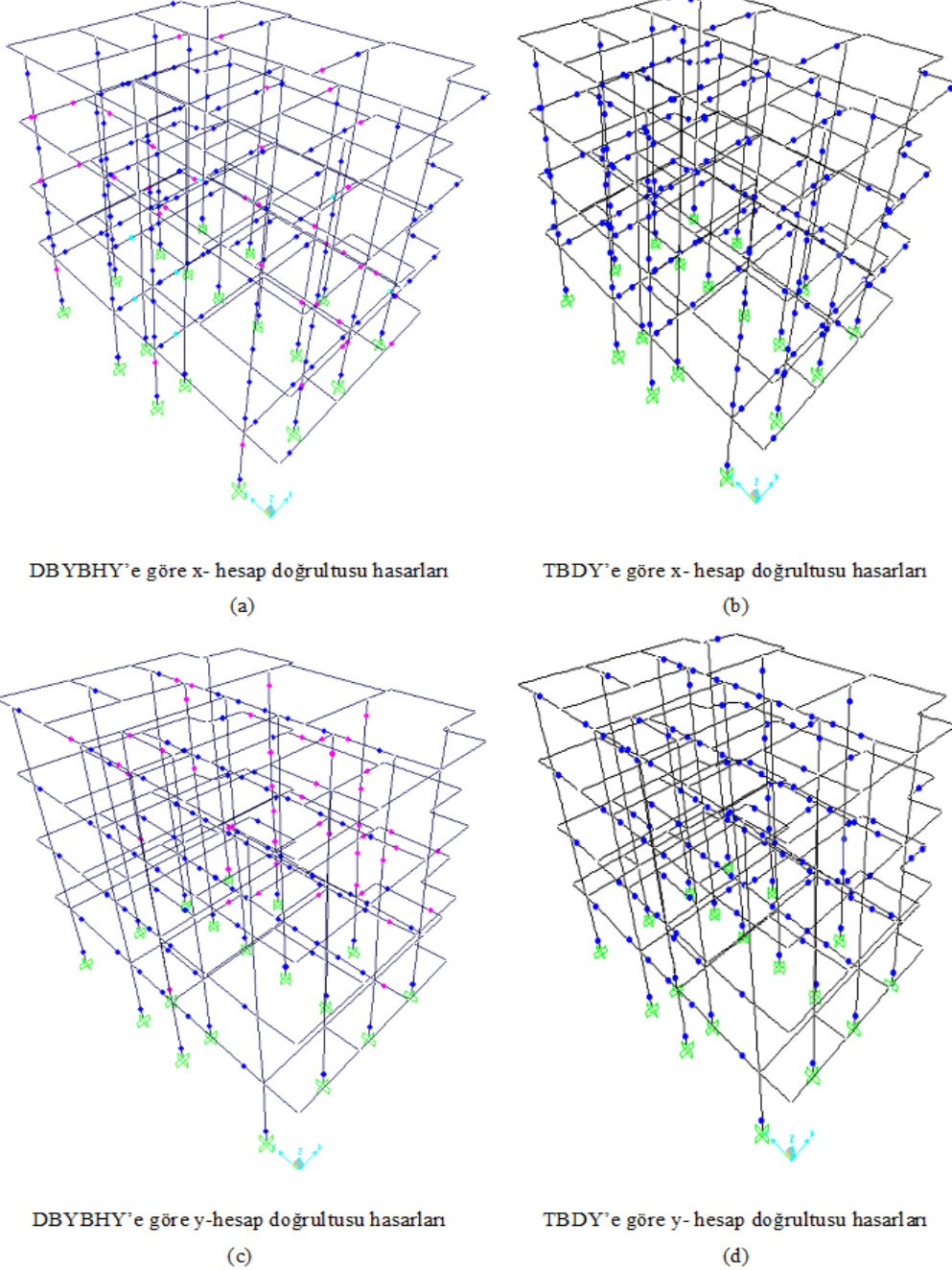
Şekil 9'da verilen grafikler ile elde edilen hedef yerdeğiştirme istemleri, her iki yönetmelik için aynı grafik üzerinde gösterilerek kıyaslanmıştır (Şekil 10). Şekilden de görüldüğü üzere her iki doğrultuda da DBYBHY ile elde edilen hedef yer değiştirme istemleri TBDY'den daha fazla çıkmıştır. Bu durum, binanın DBYBHY modelinin TBDY'ye daha büyük ötelenme değerlerine kadar itileceğini dolayısıyla DBYBHY modelinde taşıyıcı elemanlarda daha fazla şekildeğiştirmeler meydana geleceğini göstermektedir.



Şekil 10. Hedef yerdeğiştirme istemlerinin kıyaslanması

DBYBHY ve TBDY esaslarına göre oluşturulan Sap 2000 modelleri her iki doğrultuda hedef yerdeğiştirme istemine kadar statik itme analizine tabi tutulmuştur. Böylece 4 farklı statik itme analizi için her bir taşıyıcı elemanda meydana gelen hasarlar belirlenmiştir. X hesap doğrultusunun DBYBHY'e göre elde edilen hasarları Şekil 11.a,'da, TBDY'e göre elde edilen hasarları Şekil 11.b'de, Y hesap doğrultusunun DBYBHY'e göre

elde edilen hasarları Şekil 11.c'de, TBDY'e göre elde edilen hasarları Şekil 11.d'de verilmiştir. Şekil 11.a ve Şekil 11.c'de pembe ile gösterilen plastik mafsallar kesitin Minimum Hasar Bölgesinde kaldığını göstermektedir. Şekil 11'de mavi ile gösterilen plastik mafsallar kesitin Belirgin Hasar Bölgesinde kaldığını, turkuaz ile gösterilen plastik mafsallar ise kesitin İleri Hasar Bölgesinde kaldığını göstermektedir.



**Şekil 11.** Statik itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarlar

Kiriş ve kolon kesintilerinin hasarları belirlendikten sonra binanın performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bina performans değerlendirmesi; statik itme analiziyle taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar ve kesme

kuvvetlerinin ilgili yönetmelikteki ilgili koşulla kıyaslanmasıyla yapılmıştır. Bina performans seviyesinin belirlenmesinde kullanılan statik itme analizi verileri Tablo 5'te verilmiştir.



**Tablo 5.a.** DBYBHY' e göre yapılan analiz sonucu elde edilen kolon verileri

K a t	Hasar bölgesi	Hasar bölgesinde kalan kolon sayısı		Kat kesme kuvvetleri (kN)		DBYBHY madde 7.7.3.b'ye göre kesme kuvveti		DBYBHY madde 7.7.3.b'ye göre oran (%)		DBYBHY madde 7.7.3.c'ye göre kesme kuvveti		DBYBHY madde 7.7.3.c'ye göre oran (%)	
		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	MHB	0	2	1491	1587	0	0	0	0	153	0	10	0
	BHB	18	16										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
2	MHB	10	18	1346	1396	0	0	0	0	372	0	28	0
	BHB	8	0										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
3	MHB	12	18	1008	1010	0	0	0	0	368	0	37	0
	BHB	6	0										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
4	MHB	8	18	1037	572	0	0	0	0	232	0	22	0
	BHB	10	0										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										

**Tablo 5.b.** TBDY'e göre yapılan analiz sonucu elde edilen kolon verileri

K a t	Hasar bölgesi	Hasar bölgesinde kalan kolon sayısı		Kat kesme kuvvetleri (kN)		TBDY madde 15.8.4.b'ye göre kesme kuvveti		TBDY madde 15.8.4.b'ye göre oran (%)		TBDY madde 15.8.4.c'ye göre kesme kuvveti		TBDY madde 15.8.4.c'ye göre oran (%)	
		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	SHB	0	0	1445	1517	0	0	0	0	320	0	22	0
	BHB	18	18										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
2	SHB	10	16	1312	1347	0	0	0	0	358	78	27	6
	BHB	8	2										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
3	SHB	12	17	992	983	0	0	0	0	363	0	37	0
	BHB	6	1										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										
4	SHB	6	14	1022	576	0	0	0	0	341	0	33	0
	BHB	12	4										
	İHB	0	0										
	GB	0	0										

**Tablo 5.c.** Kiriş hasar verileri

Kat	Hasar bölgesi	DBYBHY				TBDY				
		Hasar bölgesinde kalan kiriş sayısı		Hasar bölgesinde kalan kiriş yüzdesi		Hasar bölgesi	Hasar bölgesinde kalan kiriş sayısı		Hasar bölgesinde kalan kiriş yüzdesi	
		Doğrultu		Doğrultu			Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
1	MHB	8	8	44	36	SHB	8	8	44	36
	BHB	10	14	56	64	BHB	14	14	78	64
	İHB	4	0	22	0	İHB	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	GB	0	0	0	0
2	MHB	6	10	33	45	SHB	0	7	0	32
	BHB	9	12	50	55	BHB	18	15	100	68
	İHB	3	0	17	0	İHB	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	GB	0	0	0	0
3	MHB	6	11	33	50	SHB	0	8	0	36
	BHB	12	11	67	50	BHB	18	14	100	64
	İHB	0	0	0	0	İHB	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	GB	0	0	0	0
4	MHB	10	13	56	59	SHB	8	11	44	50
	BHB	8	9	44	41	BHB	10	11	56	50
	İHB	0	0	0	0	İHB	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0	GB	0	0	0	0

Tablo 5’de yer alan veriler kullanarak her iki deprem yönetmeliği için her iki doğrultuda bina performans seviyesi belirlenmiş elde edilen performans sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’da parantez içerisinde italik olarak yazılan değerler TBDY’ye göre elde edilen değerlerdir. Bu tez çalışmasının amacı, DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerinin deprem performansı

açısından kıyaslanması olduğundan, kolon hasarları dikkate alınmadan yalnızca kiriş hasarları ile kıyaslama, kiriş hasarı dikkate alınmadan yalnızca kolon hasarları ile kıyaslama ve kolon ile kiriş hasarlarının ikisi de dikkate alınarak kıyaslama olmak üzere 3 farklı şekilde kıyaslama yapılmıştır. Böylece yönetmelikler daha detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

**Tablo 6.** Bina performans değerlendirme sonuçları

Kat	Yalnızca kirişlerde meydana gelen hasarlara göre değerlendirme				Bina Performans Seviyesi	
	x- doğrultusu	y- doğrultusu	x- doğrultusu	y- doğrultusu	x- doğrultusu	y- doğrultusu
1	CG	CG				
	(KH)	(KH)				
2	CG	CG				
	(KH)	(KH)	CG	CG		
3	CG	CG	(KH)	(KH)		
	(KH)	(KH)				
4	CG	CG				
	(KH)	(KH)				
Kat	Yalnızca kolonlarda meydana gelen hasarlara göre değerlendirme				GD (GD)	CG (KH)
	x- doğrultusu	y- doğrultusu	x- doğrultusu	y- doğrultusu		
1	CG	CG				
	(KH)	(KH)				
2	CG	HK				
	(KH)	(KH)	GD	CG		
3	GD	HK	(GD)	(KH)		
	(GD)	(KH)				
4	CG	HK				
	(GD)	(KH)				

(parantez içerisinde italik olarak yazılan değerler TBDY’ye göre elde edilen sonuçlardır)

#### 4. Analiz sonuçları ve bulgular

Mevcut konut türü bir binanın 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için DBYBHY’ye göre Can Güvenliği (CG), TBDY’ye göre ise Kontrollü

Hasar (KH) hedef performans seviyesini sağlamaları gerekmektedir. Bu bilgi doğrultusunda yapılan performans değerlendirmeleri ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- TBDY'e göre kolonların etkin kesit rijitlik çarpanları eksenel yük seviyesinden bağımsız olarak 0.7 alınmakta, DBYBHY'e göre ise eksenel yük seviyesine bağlı olarak belirlenmektedir. DBYBHY esaslarına göre incelenen binada, kolonların etkin kesit rijitlik çarpanları 0.4-0.5 seviyelerinde çıkmıştır. Etkin kesit rijitlik çarpanlarında oluşan bu farklılığın sebebi incelenen binanın düşük katlı olmasından dolayıdır. Düşük katlı binalarda düşey elemanlarda oluşan eksenel yük seviyesi düşük seviyelerde olduğundan ve DBYBHY'e göre eksenel yük seviyesi ile etkin kesit rijitlik çarpanları da ters orantılı olduğundan etkin kesit rijitlikleri düşük seviyede çıkmıştır.
- DBYBHY'e esaslarına göre oluşturulan modelde binanın periyodu x- doğrultusu için 0.74 sn, y- doğrultusu için 0.53 sn olarak elde edilmişken, TBDY'e esaslarına göre oluşturulan modelde bu değerler sırasıyla 0.66 sn ve 0.49 sn olarak elde edilmiştir. Periyodların yönetmeliklere göre farklı çıkmasının sebebi etkin kesit rijitlik çarpanlarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.
- Binanın x- ve y- doğrultularının her ikisinde de TBDY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemleri DBYBHY'e göre yaklaşık % 25 daha az çıkmıştır. Bu durumun temel sebebi yönetmelik esaslarına göre düzenlenen modellerdeki periyot farklılıkları ve elastik spektrum eğrilerinin farklı olmasındandır.
- Yalnızca giriş hasarlarına göre performans değerlendirilmesi yapılırsa (kolon hasarları dikkate alınmazsa), DBYBHY'e göre yapılan çözümlerde tüm katların her iki doğrultusu da CG performans seviyesinde, TBDY'e göre yapılan çözümlerde ise tüm katların her iki doğrultusu KH hedef performans seviyesindedir. Dolayısı ile yalnızca giriş hasarlarına göre performans değerlendirilmesi yapılırsa binanın her iki doğrultusu her iki yönetmeliğe göre de hedef performans seviyesini sağlamaktadır.
- Yalnızca kolon hasarlarına göre performans değerlendirilmesi yapılırsa (giriş hasarları dikkate alınmazsa), DBYBHY'e göre yapılan çözümlerde x- doğrultusu GD performans seviyesinde, y- doğrultusu ise CG performans seviyesindedir. TBDY'e göre yapılan çözümlerde ise x- doğrultusu GD performans seviyesinde, y- doğrultusu ise KH performans seviyesindedir. Dolayısı ile yalnızca kolon hasarları dikkate alındığında her iki yönetmeliğe göre de bina x- doğrultusunda

hedef performans seviyesini sağlamamakta, y- doğrultusunda ise hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

- Tüm elemanların hasarları dikkate alındığında, DBYBHY'e göre yapılan çözümlerde x- doğrultusu GD performans seviyesinde, y- doğrultusu ise CG performans seviyesindedir. TBDY'e göre yapılan çözümlerde ise x- doğrultusu GD performans seviyesinde, y- doğrultusu ise KH performans seviyesindedir. Dolayısı ile tüm elemanların hasarları dikkate alındığında her iki yönetmeliğe göre de bina x- doğrultusunda hedef performans seviyesini sağlamamakta, y- doğrultusunda ise hedef performans seviyesini sağlamaktadır.
- DBYBHY'e göre bina performans seviyesinin Göçme durumu olmasının sebebi, 3. Katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, 3. katta ki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının 30 'u aşmasından dolayıdır. TBDY'e göre bina performans seviyesinin Göçme durumu olmasının sebebi ise hem 3. hem de 4. katlarda, alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmasından dolayıdır.

## 5. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada, mevcut 4 katlı konut türü bir binanın DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerine göre deprem güvenliği incelenmiş, iki yönetmeliğe göre elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Seçilen mevcut binanın kat sayısının düşük seçilmesinin sebebi, düşey elemanlarda düşük eksenel yüklerin oluşması, buna bağlı olarak da DBYBHY modelinde kullanılacak olan etkin kesit rijitliklerinin düşük seviyede çıkmasının istenmesindedir. Yönetmelikler arasında oluşan etkin kesit rijitlik farklılıklarının da hedef performans seviyesini oldukça etkilediği görülmüştür. Binanın x- ve y- doğrultularının her ikisinde de TBDY'e göre elde edilen hedef yerdeğiştirme istemleri DBYBHY'e göre yaklaşık % 25 daha az çıkmıştır. İncelenen bina her iki yönetmeliğe göre de x- doğrultusunda hedef performans seviyesini sağlayamamış, y- doğrultusunda hedef performans seviyesini sağlayabilmiştir. Dolayısıyla her iki yönetmeliğe göre de bina kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Bu çalışmada; ABYYHY esaslarına göre tasarlanmış ve 2004 yılında inşa edilmiş, donatı sınıfı S420, beton sınıfı C20 ve yeterli enine donatıya sahip, taşıyıcı sistemi yalnızca çerçevelerden oluşan mevcut 4 katlı konut türü betonarme bir binanın DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerine göre deprem performans sonuçları kıyaslanmıştır. Yapılan bu çalışma DBYBHY ve TBDY deprem yönetmeliklerini deprem güvenliği açısından kıyaslamak ve yönetmeliklerdeki farklılıkları ortaya koymak açısından kapsamlı bir çalışma olmakla beraber yapılacak yeni çalışmalara katkı sunacağı düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda, boyuna donatıları nervürsüz (düz) donatı çeliği ile düzenlenmiş, beton sınıfı daha düşük, yeterli enine donatıya sahip olmayan, kat adetinin daha fazla olduğu, taşıyıcı sisteminde betonarme perdelerin de olduğu ve kullanım amacı farklı olan mevcut bina türleri için de benzer çalışmaların yapılması, iki yönetmeliğin mevcut binaların deprem güvenliği açısından kıyaslanması için faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- ABYYHY, 1998. *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Aksoylu, C. Mobark, A., Arslan, M.H. and Erkan, İ.H. (2020). A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la Construcción*, 19(2), 282-305. <https://doi.org/10.7764/rdlc.19.2.282>
- Aksoylu, C. ve Arslan, M. (2021). 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2). <https://doi.org/10.29137/umagd.844186>
- Asıgçel, Z. (2019). *Betonarme binalarda deprem etkisinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Başaran, V. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) göre Afyonkarahisar İçin Deprem yüklerinin değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 1028-1035. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67739>
- DBYBHY, 2007. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Demir, A. ve Kayhan A.H. (2017). Deprem Yönetmeliği 2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması. *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H. and Demir, F. (2018). An evaluation on seismic performance of existing reinforced concrete buildings in Turkey. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(Ek Sayı 1): 224-237. <https://doi.org/10.29048/makufebed.443126>
- Dilmaç, H. and Demir, F. (2019). Earthquake vulnerability assessment of rc structures with variable infill wall properties. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 176-189. <https://doi.org/10.31590/ejosat.597194>
- Engin, S. (2019). Betonarme bir binanın Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ve Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019) koşullarına göre değerlendirilmesi. *VI. International Earthquake Symposium (IESKO)* (ss.663-668). Kocaeli.
- Gündoğay, A., Ulutaş, H. ve Tekeli, H. (2019). Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 755-768. <https://doi.org/10.24012/dumf.432136>
- İşık, E. (2013). Bitlis ili'nin depremselliği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 267-273.
- İşık, E., Büyüksaraç, A., Ekinci, Y.L., Aydın, M.C. and Harirchian, E. (2020). The effect of site-specific design spectrum on earthquake-building parameters: A case study from the Marmara region (NW Turkey). *Applied Sciences*, 10(20), 7247. <https://doi.org/10.3390/app10207247>
- İşık, E., Ekinci, Y., Sayıl, N., Büyüksaraç, A. and Aydın, M.C. (2021). Time-dependent model for earthquake occurrence and effects of design spectra on structural performance: A case study from the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(2), 215-234. <https://doi.org/10.3906/yer-2004-20>
- İbiş, T. ve Ulutaş, H. (2021). Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10(3).
- Kadaş, K., Soysal, B.F., Akansel, V.H., Mazılıgüney, L. and Yakut, A. (2019). Comparison of 2007 and 2019 seismic hazard maps based on spectrum intensities and corresponding engineering demands – a case study with RC school buildings in Istanbul. *5th International Conference on*

*Earthquake Engineering and Seismology*,  
Ankara.

Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen  
Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Karaca, H., Oral, M. ve Erbil, M. (2019). Konut tasarımı bağlamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, Niğde örneği. *21. Ulusal Mekanik Kongresi* (ss. 296-302). Niğde.
- Karaca, H. (2020). Örneklerle TBDY 2019 zemin parametrelerinin kullanılan yapısal malzeme miktarına ve çatı katı yanal ötelenmesine etkisi. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.680595>.
- Karaca, H., Oral, M. ve Erbil, M. (2020). Yapısal tasarım bağlamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, Niğde örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 898-903. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.667365>
- Karasin, İ.B., Işık, E., Demirci, A. ve Aydın, M. (2020). Coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1319-1330. <https://doi.org/10.24012/dumf.682377>
- Keskin, E. ve Bozdoğan, K.B. (2018). 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin Kırklareli ili özelinde değerlendirilmesi. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 74-90.
- Kılıç, G. (2019). *Betonarme yapıda perde yeri seçiminin yapısal davranış etkisinin TBDY 2018 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri M.G. ve Arslan M.H. (2018). Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması. *Selçuk Teknik Dergisi*, 17(2), 43-58.
- SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.
- Soycan, C. (2019). *Depremde betonarme bina performansının Türk deprem yönetmelikleri 2007 ve 2018'e göre değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şimşek, F. (2020). *A3 türü düzensizliğe sahip betonarme bir yapının DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Topaktaş, M. (2019). *Kolon süreksizliği bulunan betonarme bir binanın DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Turan, G.E. (2020). *2007 ve 2018 Türkiye deprem yönetmeliklerine göre farklı döşeme sistemlerine sahip betonarme bir yapının deprem davranışlarının karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Tunç G. ve Tanfener, T. (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi. *3.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım* (ss. 153-166). Ankara.
- Uçar, B. (2019). *Betonarme bir hastane binasının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 kapsamında deprem performansının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulutaş, H. (2019). DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359. <https://doi.org/10.31590/ejosat.620827>
- Yalçın, H., Gülen, L. ve Utkucu, M. (2013). Türkiye ve yakın çevresinin aktif fayları veri bankası ve deprem tehlikesinin araştırılması. *Yerbilimleri*, 34(3), 133-160.
- Yalın, M. ve Ulutaş, H. (2021). Mevcut okul türü bir binanın deprem performansının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.896637>

# Genelleştirilmiş lineer modellerde kısmi ve augmented kısmi artıklar ve grafikleri

## *Partial and augmented partial residuals and plots in generalized linear models*

Esin AVCI\*<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 28200, Merkez, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 18.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 30.07.2021

### Öz

Genelleştirilmiş lineer modeller; fen, mühendislik ve sosyal alanlarda sıkça karşılaşılan bağımlı değişkenin kesikli veya sürekli dağılıma sahip olması durumunun, bağımsız değişken(ler)le modellenmesine olanak veren yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, bağımsız değişkenlerin modelde yer alma biçimlerinin belirlenmesinde tanışal grafiklerden yararlanılmıştır. Bu amaçla kısmi ve augmented kısmi artıklar ile bu artıklara ait grafikler tanıtılarak, modellemede sıkça kullanılan artık grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Uygulama olarak, 1965-1998 yılları arasındaki grev sayılarının sendikalaşma oranı, ücret oranı, işyeri ve kapanan işyeri sayılarıyla olan ilişkisi analiz edilmiş ve en uygun model seçilmeye çalışılmıştır. Analiz sonucunda; kısmi artık ve augmented kısmi artık grafiklerinin, ele alınan tüm bağımsız değişkenlerin modelde yer alma biçimini daha belirgin biçimde gösterdiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Artık, Augmented kısmi artık, Genelleştirilmiş lineer modeller, Grev, Kısmi artık.

### Abstract

*Generalized linear models; It is one of the methods that allows the modeling of the dependent variable having discrete or continuous distribution, which is frequently encountered in science, engineering and social fields, with independent variable(s). In this study, diagnostic graphics were used to determine the form of the independent variables were included in the model. For this purpose, partial and augmented partial residuals and graphs of these residuals were introduced and compared with the residual graphs that are frequently used in modeling. As an application, the relationship between the number of strikes between 1965 and 1998 with the unionization rate, wage rate, number of workplaces and closed workplaces was analyzed and the most suitable model was chosen. It is concluded that partial residual and augmented partial residual graphs show the functions of all the independent variables are included in the model more accurately.*

**Keywords:** Residual, Augmented partial residual, Generalized linear models, Strikes, Partial residual

\*<sup>a</sup> Esin AVCI; esinavci@hotmail.com, Tel: (0454) 310 53 63, orcid.org/0000-0002-9173-0142



## 1. Giriş

Lineer ve lineer olmayan regresyon modellerinde istatistiksel analiz yöntemleri bağımlı değişkenin normal dağıldığı varsayımına dayanmaktadır. Bağımlı değişkenin normal dağıldığı durumların yanı sıra sürekli olmadığı durumları analiz etmek için geliştirilmiş modeller de bulunmaktadır. Örneğin tedaviye katılma durumunun modellemesinde bağımlı değişken (katılma=1 ve katılmama=0) değerlerini almaktadır. Bazı durumlarda da belirli bir zaman aralığında bir olayın kaç kez tekrarlandığı; örneğin bir günde meydana gelen ölümle sonuçlanan trafik veya iş kazaları, bir yıl ya da bir günde meydana gelen deprem sayısı veya bir saat içinde bankaya uğrayan müşteri sayısı ilgi konusu olabilmektedir. Bu durumlarda bağımlı değişken kesiklidir. Normal dağılıma sahip olmayan, sürekli değerler alan uygulama alanları da vardır. Bu tür verilerin analizine olanak veren geliştirilmiş modellerden biri Genelleştirilmiş Lineer Modellerdir (GLM).

Genelleştirilmiş lineer modeller, bağımlı değişken dağılımının üstel dağılım ailesi üyesi olduğu varsayımına dayanmaktadır. Üstel dağılım ailesi; binom, negatif binom, Poisson, normal, gamma ve üstel gibi daha genel ve uygulama alanı daha kapsamlı olan dağılımları içermektedir. Üstel dağılım ailesinde varyans ortalamasının bir fonksiyonudur. Bu durum değişen varyansa yol açmaktadır. Bu nedenle etkin bir parametre tahmini için en küçük kareler tahmin yöntemi yerine ağırlıklandırılmış en küçük kareler, Newton-Raphson ve Fisher-Scoring algoritmalarından yararlanılmaktadır (Myers vd., 2001).

Genelleştirilmiş lineer modeller, bağımlı değişkenin normal dağılım göstermediği durumlar için veri dönüştürme yöntemine alternatif olarak kullanılabilir. Bu modellerden elde edilen sonuçlar, ters dönüşüme gerek olmaması ve daha dar güven aralığına sahip olması nedeniyle veri dönüşümüne göre daha doğru sonuçlar verdiği saptanmıştır (Lewis vd., 2001; McCullagh ve Nelder, 1989).

Genelleştirilmiş lineer modeller ilk defa Nelder ve Waddernburn (1972) tarafından ele alınmıştır. Daha sonraki yıllarda McCullagh ve Nelder (1989), Aitken M. (1989), Lindsey (1997), Uusipaikka (2000), McCulloch ve Searle (2001), Myers vd. (2001), Dobson (2002) genelleştirilmiş lineer modeller teorisi hakkında çalışmaya devam etmişlerdir.

Genelleştirilmiş lineer modellerde, lineer ve lineer olmayan regresyon modellerinde kullanılan grafiksel ve istatistiksel yöntemlerin benzerleri bağımsız değişken(ler)le bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi veren bağıntı fonksiyonunu oluşturmak için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, genelleştirilmiş lineer modeller için çeşitli artıklar ve bu artıklardan yararlanan tanınal grafikler verilmiştir. Bu amaçla, TÜİK ve Çalışma ve Sosyal güvenlik Bakanlığında derlenen 1965-1998 yılları arasında Türkiye de yapılan grevler ve bu grevlerin belirleyicileri ile olan ilişkisi sözü edilen yöntemlerle analiz edilmiştir. Veriler analiz edilirken grafiksel ve istatistiksel yöntemlerin uygulanmasında S-plus istatistik paket programı kullanılmıştır.

## 2. Gereç ve yöntem

Lineer modeller genelleştirilmiş lineer modellerin bir uzantısıdır. Dolayısıyla lineer modellerden yola çıkarak genelleştirilmiş lineer modeller tanımlanacaktır.

Lineer modellerde  $Y$  bağımlı değişken vektörü,  $\mu$  ortalama ve  $\sigma^2$  varyans ile normal dağıldığı varsayılmaktadır. Bağımlı değişken ortalaması  $\mu$  ile bağımsız değişkenler  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$E(Y) = \mu = \sum_{j=1}^p x_j \beta_j \quad (1)$$

$i=1,2,\dots,n$  ve  $j=1,2,\dots,p$

Burada  $\beta$ 'lar, değeri genelde bilinmeyen ve veriden tahmin edilmesi gereken değerlerdir. Matris gösterimi ile  $(\mu \ n \times 1, X \ n \times p$  ve  $\beta \ p \times 1$  boyutludur)

$$E(Y) = \mu = X\beta \quad (2)$$

Burada  $X$  model matrisidir ve  $\beta$  parametre vektörüdür. Model matrisi, modelde olması düşünülen tüm bağımsız değişkenleri içeren matristir.

Genelleştirilmiş lineer modellerde bağımlı değişken dağılımı, birçok dağılımı içeren üstel dağılım ailesine sahiptir. Üstel dağılım ailesinin yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki biçimdedir.

$$f(y; \theta, \phi) = \exp \left\{ \frac{[y\theta - b(\theta)]}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\} \quad (3)$$

Burada  $a(\cdot), b(\cdot)$  ve  $c(\cdot)$  özel fonksiyonlardır.  $\theta$ , merkez ölçüsü parametresi ve  $\phi$ , genellikle ölçek parametresi olarak adlandırılır.

Bağımlı değişkene ait ortalama değerinin ( $\mu$ ) bağımsız değişkenlerle ilişkisi bağıntı fonksiyonu ile belirlenir. Bağıntı fonksiyonunu  $\eta$  ile gösterilirse;

$$\eta = g(\mu) = X\beta \quad (4)$$

olur. Burada  $\beta$ , bilinmeyen ve verilerden tahmin edilmesi gereken parametrelerdir.  $X$  ise model matrisidir (McCullagh ve Nelder, 1989).

Bağımlı değişkenin dağılımı ile bağıntı fonksiyonları birbirinden bağımsız değildir. Örneğin; binom dağılımında başarı ihtimal değerleri  $0 \leq p \leq 1$  aralığında değer alması gerektiğinden, seçilen bağıntı fonksiyonunun bu temel kuralı bozmayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca, seçilen bağıntı fonksiyonları türevi alınabilen ve monoton olmalıdır (Myres vd., 2001). Bağıntı fonksiyonu, lineer modellerde ortalamaya eşit olmaktadır. Lineer modellerde olduğu gibi, bağıntı fonksiyonunun bağımlı değişkenin ortalamasına (beklenen değerine) eşit olduğu durumlarda bağıntı fonksiyonuna “Özdeş” denir. Bağımsız değişkenler aralığı oldukça dar olduğunda ve modelde lineer olmama problemi dışında herhangi bir sorun olmadığında, bağımlı değişken dağılımına bakılmaksızın özdeş bağıntı fonksiyonu çok iyi sonuçlar verebilmektedir.  $\theta$  parametresine eşit olan bağıntı fonksiyonuna “Kanoniksel” adı verilmektedir (McCullagh ve Nelder, 1989).

Bağıntı fonksiyonunu doğruluğunu grafiksel olarak kontrol etmenin en kolay yolu; bağımlı değişken değerlerini  $\hat{\eta}_i$  ön tahmin değerlerine karşı çizmektir. Grafik düz bir doğru biçimi gösteriyorsa, bu durum bağıntı fonksiyonun doğru tanımlandığını; eğrisel bir biçim gösteriyorsa, bağıntı fonksiyonunun doğru tanımlanmadığını göstermektedir. İkili (Binary) değer alan bağımlı değişkenler için bu grafik bilgi verici değildir.

Genelleştirilmiş lineer modellerde lineer modellerde olduğu gibi, tahmin edilen modelin veriye uyumu ile varsa etkin gözlemlerin ortaya çıkarılması ve bağımsız değişken(ler)in modelde yer alma fonksiyonlarının tespit edilmesi gibi tanıtılma amaçları için artıkların ve bu artıklara ilişkin grafiklerin elde edilmesi gerekmektedir.

## 2.1. Genelleştirilmiş lineer modellerde artıklar ve grafikleri

### 2.1.1. Genel artıklar ve grafikleri

Genel artık olarak adlandırılan artıklar; lineer modellerden bilinen bağımlı değişken değerinin tahmin değerinden farkına oldukça benzemektedir. Ancak genelleştirilmiş lineer modellerde, bağımlı değişken ortalaması ile bağımsız değişkenler bağıntı fonksiyonu yardımıyla ifade edildiğinden, genel artıklar;

$$g(\hat{\mu}_i)(y_i - \hat{\mu}_i) = \left(\frac{d\eta_i}{d\hat{\mu}_i}\right)(y_i - \hat{\mu}_i) \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. Bu artıklar, S-plus istatistik paket programında “working residual” olarak adlandırılmaktadır.

Artık değerinin dikey, ilgilenilen bağımsız değişkenin yatay eksene çizilmesiyle elde edilen tanıtılma grafiğine “Artıkların Bağımsız Değişkene Karşı Grafiği” denilmektedir. Grafik sıfır ortalamalı ve sabit varyanslı bir doğru biçimi gösteriyorsa; ilgilenilen bağımsız değişkenin modele lineer biçimde eklenmesi; eğrisellik durumunda ise, oluşan biçime göre  $x^2, \sqrt{x}, \log x$  vb. gibi lineer olmayan biçimde eklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

### 2.1.2. Kısmi artık ve grafiği

Lineer regresyon için kısmi artık grafiği 1972’de Larsen ve McCleary tarafından tanımlanmıştır. Genelleştirilmiş lineer modeller için kısmi artık grafiği McCullagh ve Nelder (1989) tarafından verilmiş ve bu grafik bağımsız değişkenlerin fonksiyonel yapılarının kontrolü için kullanılmıştır. Landwehr vd. (1984) lojistik regresyonla ağırlıklandırılmış lineer regresyon arasında ilişki kurarak lojistik regresyon için kısmi artık grafiklerini oluşturmuştur. O’Hara Hines ve Carter (1993), kısmi artık grafiklerinin genelleştirilmiş lineer modellerde etkili gözlemlerin değerlendirmesi üzerine çalışmışlardır.

Kısmi artık grafiği, ilgilenilen bağımsız değişkenin lineer olmayan, monoton bir fonksiyonla açıklanmasının iyi olup olmadığını incelemeye yarayan bir tanıtılma grafiğidir.

Bağımlı değişkenin  $p \times 1$  ve  $q \times 1$  boyutuna sahip  $x_{11}, \dots, x_{1n}$  ve  $x_{21}, \dots, x_{2n}$  bağımsız değişken vektörleri ile açıkladığı varsayılsın. Bu durumda

bağımlı değişkene ait ortalama;  $x_{1i}$  ve  $x_{2i}$  değişkenleri için,

$$g(\mu_i) = \eta_i = \beta_1 x_{1i} + h(x_{2i}) \quad (6)$$

$i=1, \dots, n$

şeklinde kurulan bağıntı fonksiyonu ile açıklansın. Burada  $\beta_0$  bilinmeyen bir parametre,  $\beta_1$   $p \times 1$  boyutlu bilinmeyen parametre vektörü ve  $h(\cdot)$  ise  $x_{2i}$  bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu,  $g$  ise bilinen bağıntı fonksiyonudur.

Uygulamada  $h(\cdot)$  genellikle bilinmediğinden; doğal bir yaklaşım olarak veriler  $g(\hat{\mu}_i) = \hat{\eta}_i$  bağıntı fonksiyonu ve (3) ile verilen olasılık yoğunluk fonksiyonu için tahmin edilmektedir. Burada  $\hat{\eta}_i$  lineer ön tahmini;

$$\hat{\eta}_i = \alpha_0 + \alpha_1' x_{1i} + \alpha_2' x_{2i} \quad (7)$$

$i=1, \dots, n$

ile verilir. Burada  $\alpha_0$  bilinmeyen skalar parametre ve  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  sırasıyla  $1 \times p$  ve  $1 \times q$  boyutlu bilinmeyen parametre vektörleridir.  $\hat{\mu}_i$ , (3) olasılık yoğunluk fonksiyonuna ve (7) bağıntı

$$\begin{aligned} & [(\beta_0 - b_0) + (\beta_1 - b_1)'x_1 + h(x_2) - \frac{1}{2}(\eta - \hat{\eta})^2 \frac{\left(\frac{d^2\eta}{d\mu^2}\right)}{\left(\frac{d\eta}{d\mu}\right)^2} + e] \\ & = [(\beta_0 - b_0) + (\beta_1 - b_1)'x_1 + h(x_2) + \hat{Q}(X) + e] \end{aligned} \quad (11)$$

olarak elde edilir. Burada  $\hat{Q}(X)$  değeri  $g$  bağıntı fonksiyonundaki lineer olmamayı veren ölçüttür. Eğer  $b_0$  ve  $b_1$  sırasıyla  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  değerlerine yeterince yakın ve  $|\hat{Q}(X)|$  yeterince küçük ise; o zaman kısmi artık grafiği daha iyi sonuç vermektedir. Dolayısıyla kısmi artık grafiğinin davranışı  $b_0$ ,  $b_1$  ve  $|\hat{Q}(X)|$  'e bağlıdır.

Kısmi artık grafiğinden daha ileri seviyedeki bilgileri anlamak için kitleye ait kısmi artık değerleri elde edilmelidir.

$$p_{rt} = (y - \tilde{\mu}) \left(\frac{d\eta}{d\tilde{\mu}}\right) + \beta_2' x_2 \approx (\beta_0 - \gamma_0) + (\beta_1 - \gamma_1)'x_1 + Q(X) + h(x_2) + \varepsilon \quad (12)$$

Burada  $\varepsilon = (y - \tilde{\mu}) \left(\frac{d\eta}{d\tilde{\mu}}\right)$ ,  $Q(X) = -(\eta - \hat{\eta})^2 G(\tilde{\mu})$  ve  $E(\varepsilon|x_1) = 0$  olduğundan  $\hat{\eta} = E(\varepsilon|x_2) = E\{E(\varepsilon|x_2)|x_2\} = 0$  olur.

fonksiyonuna sahip  $y_i$ 'ler için ortalama fonksiyonudur.

(7)'de verilen bağıntı fonksiyonu yeniden  $x_2$  değişkeninin herhangi bir fonksiyonu biçiminde düzenlendiğinde,

$$\hat{\eta}_i = b_0 + b_1'x_{1i} + b_2'l(x_{2i}) \quad (8)$$

$i=1, \dots, n$

elde edilir.  $x_2$  bağımsız değişkeni ile ilgilenildiğini varsayalım.  $x_2$  değişkeni için kısmi artık değeri,

$$\hat{p}_{rt} = \left(\frac{d\eta}{d\hat{\mu}}\right) (y - \hat{\mu}) + b_2'x_2 \quad (9)$$

ile elde edilir. Bu değer  $x_2$  değişkenine karşı çizimi ile "**Kısmi Artık Grafiği**" elde edilir.

$l(x_2) = x_2$  olduğunda kısmi kısmi artık grafiği durumları incelendiğinde verilerden elde edilen regresyon tahmini;

$$\hat{\eta} = b_0 + b_1'x_1 + b_2'x_2 \quad (10)$$

olur. Kısmi artıkların ikinci Taylor seri açılımı ile elde edilen yaklaşık değer;

Artık değerindeki  $(\beta_0 - \gamma_0)$  terimi, uygulamada çok önemli olmayan  $h$  fonksiyonunun eklenmiş sabitle açıklanan kısmıdır.

$(\beta_1 - \gamma_1)'x_1$  ve  $Q(X)$  terimleri değişime ve yanlılığa potansiyel katkıları vardır. Yanlılığa olan potansiyel katkıları;

$$E(p_{rt}|x_2) \approx (\beta_0 - \gamma_0) + (\beta_1 - \gamma_1)'E(x_1|x_2) + E(Q(X)|x_2) + h(x_2) \quad (13)$$

ile görülebilir.

Eğer  $x_1$  ve  $x_2$  bağımsız ise;  $E(X) = 0$  olduğundan  $E(x_1|x_2) = 0$  olur. Dolayısıyla yanlılık sadece  $Q(X)$ 'e yani bağıntı fonksiyonundaki lineer olmamaya bağlıdır. Eğer bağıntı fonksiyonu ortalamaya göre lineerse;  $Q(X) = 0$  olur. Çünkü;  $(\eta - \hat{\eta}) = 0$  olur. Uygulamada ortalama değerler uç değerlerden uzak değerler aldığı sürece  $Q$ -yanlılığı artsa bile problem oluşturmaz (Cook ve Croos-Dabrera, 1998).

$\beta_1$ 'in  $\gamma_1$ 'e eşit olabilmesi için  $E(x_1|x_2)$  koşullu beklenen değerinin  $x_2$ 'ye göre lineer olması gerekmektedir.  $\beta_1, \gamma_1$ 'e eşit olduğunda ise;  $(\beta_1 - \gamma_1)'E(x_1|x_2)$  teriminden kaynaklanabilecek yanlışlık ortadan kalkmaktadır. Böylece kısmi artık grafiği, ilgilenilen değişkenin varsayılan modelde doğru biçimde yer almasını sağlamaktadır.

### 2.1.3. Augmented kısmi artık ve grafiği

Mallows (1986), yılında bağımsız değişkenlerin birbiriyle ilişkili olması nedeniyle bazen kısmi artıkların lineer olmayan fonksiyon etrafında daha düzgün serpilme gösterdiğini belirtmiştir. Cook (1993), augmented kısmi artıklarının  $E(x_1|x_2)$  koşullu beklenen değerinin  $x_2$ 'ye göre daha lineer olmasında esneklik sağladığını ve özellikle ilgilenilen değişken 2. dereceden bir fonksiyona sahip olduğunda etkin olduğunu belirtmiştir. Genelleştirilmiş lineer modeller için augmented kısmi artık;

$$\hat{p}_{aug} = \left(\frac{d\eta}{d\hat{\mu}}\right) (y - \hat{\mu}) + b'_2x_2 + b'_3x_2^2 \quad (14)$$

$i=1, \dots, n$

ile tanımlanır. Bu artık değerlerinin  $x_2$ 'ye karşı çizimiyle “**Augmented Kısmi Artık Grafiği**” elde edilmektedir (Cai ve Tsai, 1999).

### 3. Bulgular

Bu çalışmada, 1965-1998 yılları arasında Türkiye’de yapılan grevler ve bu grevlerin belirleyicileri Poisson regresyon metodu ile incelenmiştir. Grevlerin belirleyicileri olarak, sendikalaşma oranı, işyeri sayısı, ücret oranları ve kapanan işyeri sayıları kullanılmıştır. Kullanılan veriler TÜİK kaynakları ve Çalışma ve Sosyal güvenlik Bakanlığında derlenmiştir. 1980-1983 yılları arasında askeri yönetim olduğunda grev görülmemektedir. Dolayısıyla bu yıllara ait veriler çıkarılmıştır.

Kolmogorov-Smirnov test istatistiği ile 1965-1998 yılları arasındaki grev sayılarının 106

ortalamalı Poisson dağılımına sahip olduğu sonucuna varılmıştır (D= 0.5668, p>0.05).

Bağımlı değişkenin gözlemleri arasında ilişki olup olmadığı, Durbin-Watson test istatistiği ile kontrol edilebilir.

$$H_0: \rho = 0 \text{ (otokorelasyon yoktur)}$$

test istatistiği sonucunda;  $d=1.97$  elde edilmiştir. Bu değer  $d_u = 1.74$  kritik değerinden büyük olduğundan bağımlı değişken gözlemleri arasında otokorelasyon (ilişki) olmadığı sonucuna varılmıştır.

Başlangıç olarak modeli;

$$g(\hat{\mu}) = \hat{\eta} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x_1 + \hat{\beta}_2x_2 + \hat{\beta}_3x_3 + \hat{\beta}_4x_4 \quad (15)$$

şeklinde tahmin edelim. Burada;

$y$ : 1965-1998 yılları arasındaki grev sayıları.

$x_1$ : 1965-1998 yılları arasındaki sendikalaşma oranı.

$x_2$ : 1965-1998 yılları arasındaki işyeri sayısı.

$x_3$ : 1965-1998 yılları arasındaki ücret oranları.

$x_4$ : 1965-1998 yılları arasındaki kapanan işyeri sayısıdır.

Tahmin edilen parametrelerin anlamlılıkları Wald testi ile incelenebilir. Wald istatistiğine göre, modelde diğer bağımsız değişkenler olduğunda  $x_1$  değişkeninin anlamlılığı için (parametre tahmin değerleri ve standart hataları Tablo 1’den alınmıştır);

$H_0: \beta_1 = 0$  Hipotezine göre test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

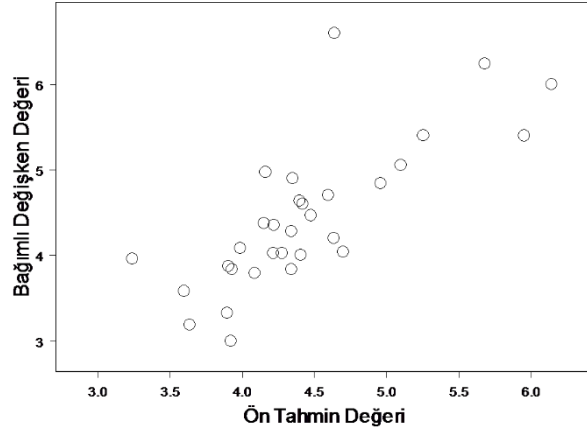
$z_1^2 = \left(\frac{0.1449}{0.0427}\right)^2 = 11.5155$ . Kritik değer olan  $\chi_{1;0.05}^2 = 3.841$  den büyük olduğundan katsayı önemli bulunur. Dolayısıyla  $x_1$  değişkeni model için önemlidir denebilir. Diğer parametreler için benzer şekilde hipotez testi yapılabilir.

**Tablo 1.** Katsayıların anlamlılık test değerleri

Katsayılar	Parametre tahmin değerleri	Parametre tahminine ait standart hata	z değeri	p değeri
$\hat{\beta}_0$	2.0237	1.0274	1.9697	0.0244*
$\hat{\beta}_1$	0.1449	0.0427	3.3970	0.0003*
$\hat{\beta}_2$	-0.0002	0.00006	-2.6999	0.0034*
$\hat{\beta}_3$	0.0353	0.0065	5.4240	0.0000*
$\hat{\beta}_4$	-0.0008	0.0003	-2.5140	0.0059*
Uyum İyiliği Testi	$\chi^2 = 1702.26$			0.0000*

Tablo 1’den ele alınan tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamada önemli olduğu görülmektedir ( $z_j^2 > \chi_{1;0.05}^2 = 3.841$ ). Uyum iyiliği testinden tahmin edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülür ( $p < 0.05$ )

Bağıntı fonksiyonu ile ilgili hataların ortaya çıkarılmasında tanısal bir grafik olan bağımlı değişken değerleri  $\hat{\eta}_i$  ön tahmin değerlerine karşı çizildiğinde Şekil 1’deki grafik elde edilmiştir.

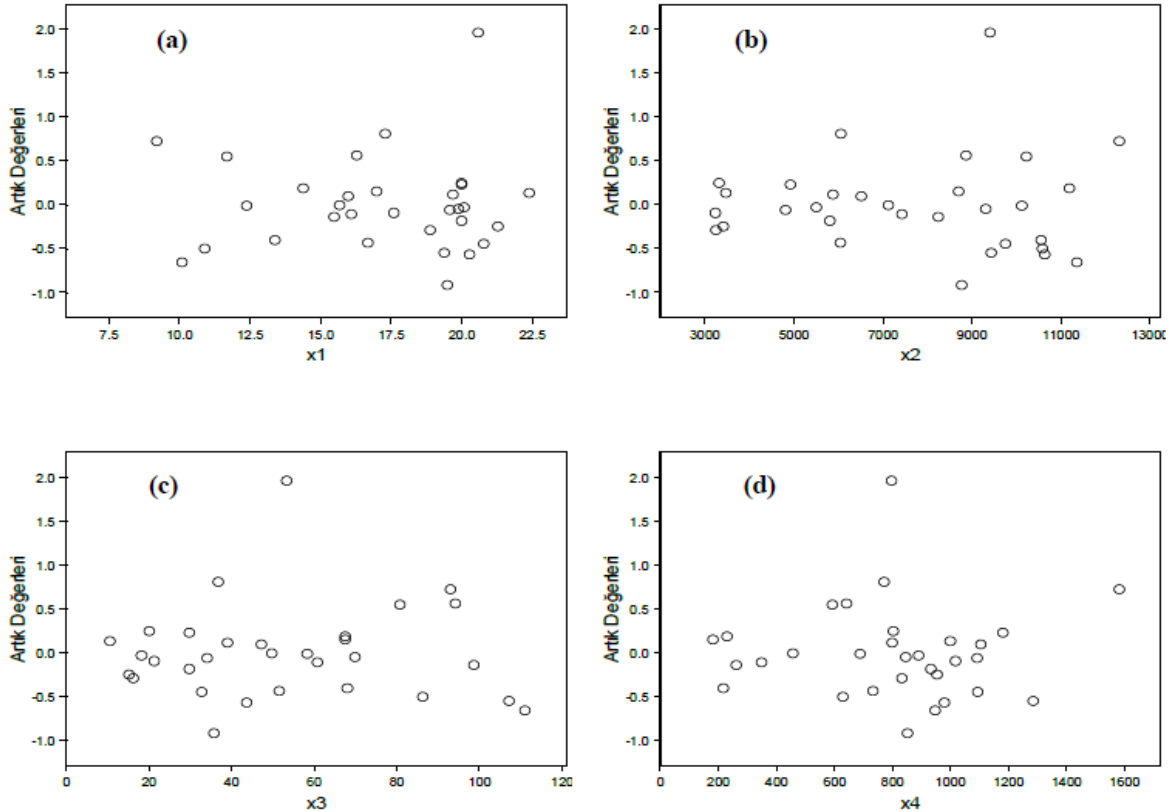


Şekil 1. Bağımlı değişken değerlerinin ön tahmin değerlerine karşı grafiği

Şekil 1’den görüldüğü gibi düz bir doğru biçimi gösterdiğinden bağıntı fonksiyonunun doğru seçilmiş olabileceği söylenebilir.

Ele alınan bağımsız değişkenlerin modelde yer alma fonksiyonunun belirlenmesi için sırasıyla; artık kısmı artık ve augmented kısmı artıklardan elde edilen tanısal grafikler incelenmiştir.

$\left(\frac{\partial \hat{\eta}_i}{\partial \hat{\mu}_i}\right) (y_i - \hat{\mu}_i)$ ’den elde edilen artık değeri sırasıyla her bir bağımsız değişkene karşı çizildiğinde aşağıdaki grafikler oluşmaktadır (Şekil 2).



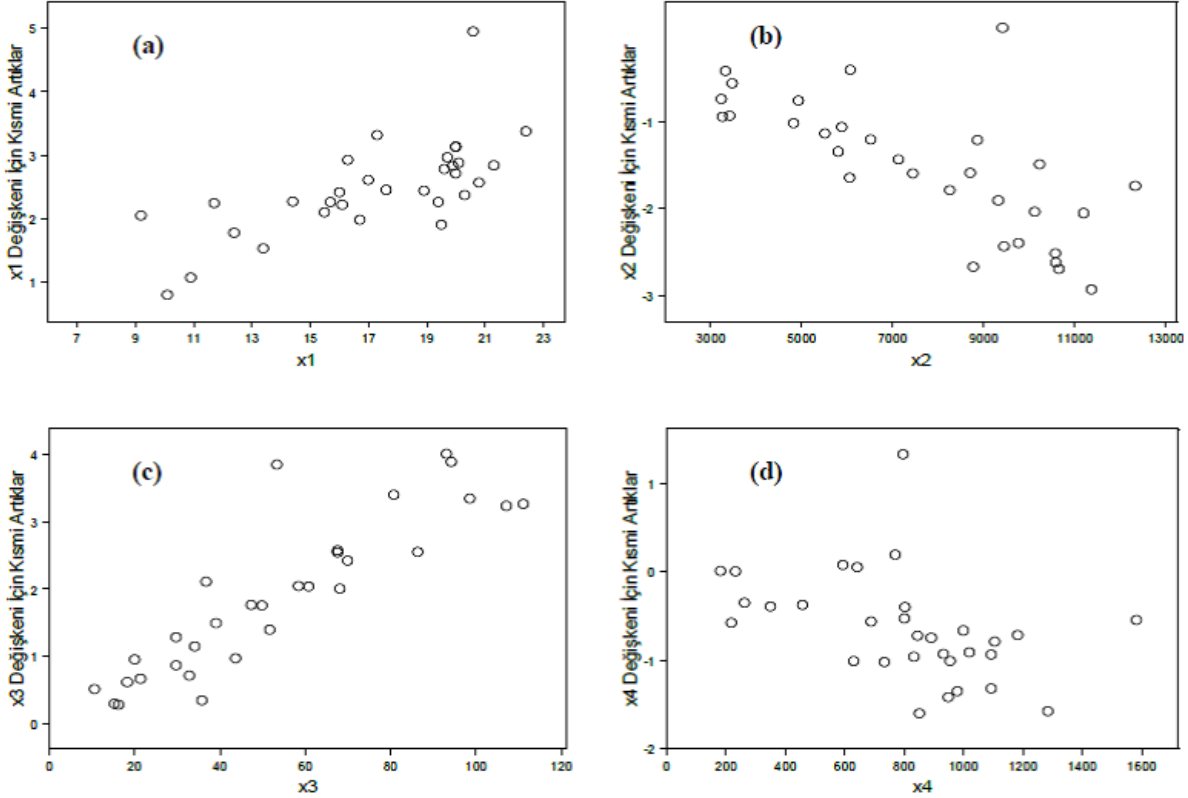
Şekil 2. Artıkların bağımsız değişkenlere karşı grafiği



Şekil 2’den (a), (b), (c) ve (d) grafikleri ele alınan dört bağımsız değişkenin modelde net bir biçimde lineer olarak yer almasını göstermemektedir.

Kısmi artık değerleri;  $g(\hat{\mu}) = \hat{\eta} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x_1 + \hat{\beta}_2x_2 + \hat{\beta}_3x_3 + \hat{\beta}_4x_4$  denkleminde ilgili parametre değerleri hesaplandıktan sonra  $x_1$  değişkeni için  $pre = \left(\frac{\partial \hat{\eta}_i}{\partial \hat{\mu}_i}\right) (y_i - \hat{\mu}_i) + \hat{\beta}_1x_1$

eşitliği ile ve  $x_1$  değişkeni için  $pre = \left(\frac{\partial \hat{\eta}_i}{\partial \hat{\mu}_i}\right) (y_i - \hat{\mu}_i) + \hat{\beta}_2x_2$  ile hesaplanmaktadır. Diğer değişkenler için benzer yolla hesaplanabilir.  $\beta$  tahmin değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Kısmi artık grafikleri, elde edilen kısmi artık değerlerinin ilgili değişkenlere karşı çizimi ile elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Kısmi artıkların bağımsız değişkenler için grafiği

Kısmi artık grafikleri modele alınmış olan bağımsız değişkenlerin modelde nasıl bir şekilde yer alması gerektiğini belirten tanısal bir grafik olduğundan, Şekil 3 (a) ve (c)  $x_1$  ve  $x_3$  değişkenlerinin pozitif yönde lineer, Şekil 3 (b) ve (d) ise;  $x_2$  ve  $x_4$  bağımsız değişkenlerinin negatif yönde lineer bir biçimde modele alınması gerektiğini belirtmektedir.

Son olarak, augmented kısmi artık grafiklerinin elde edilmesi için tahmin edilen modele ilgilenilen bağımsız değişkenin karesel terimi eklenir. Bu modelden önce artıklar elde edilir sonra bu artık değerlerine ilgilenilen değişkenin lineer ve karesel terimi eklenerek augmented kısmi artıklar elde edilir.  $x_1$  değişkeni için augmented kısmi artık hesaplanma adımları şu şekildedir:

Önce model,

$$\hat{\eta} = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1x_1 + \hat{\gamma}_2x_2 + \hat{\gamma}_3x_3 + \hat{\gamma}_4x_4 + \hat{\gamma}_5x_1^5 \quad (16)$$

olarak tahmin edilir. Buradan elde edilen  $\left(\frac{\partial \hat{\eta}_i}{\partial \hat{\mu}_i}\right) (y_i - \hat{\mu}_i)$  artıkları  $x_1$  değişkeninin lineer ve karesel terimi toplanarak augmented kısmi artıklar elde edilir.

$$p_{aug} = \left(\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial \hat{\mu}}\right) (y - \hat{\mu}) + \hat{\gamma}_1x_1 + \hat{\gamma}_5x_1^5 \quad (17)$$

$\hat{\gamma}_1$  ve  $\hat{\gamma}_5$  katsayıları sırasıyla; 0.0234 ve 0.0038 dir. Diğer değişkenler için benzer biçimde elde edildiğinde  $\hat{\gamma}_1$  ve  $\hat{\gamma}_5$  katsayı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

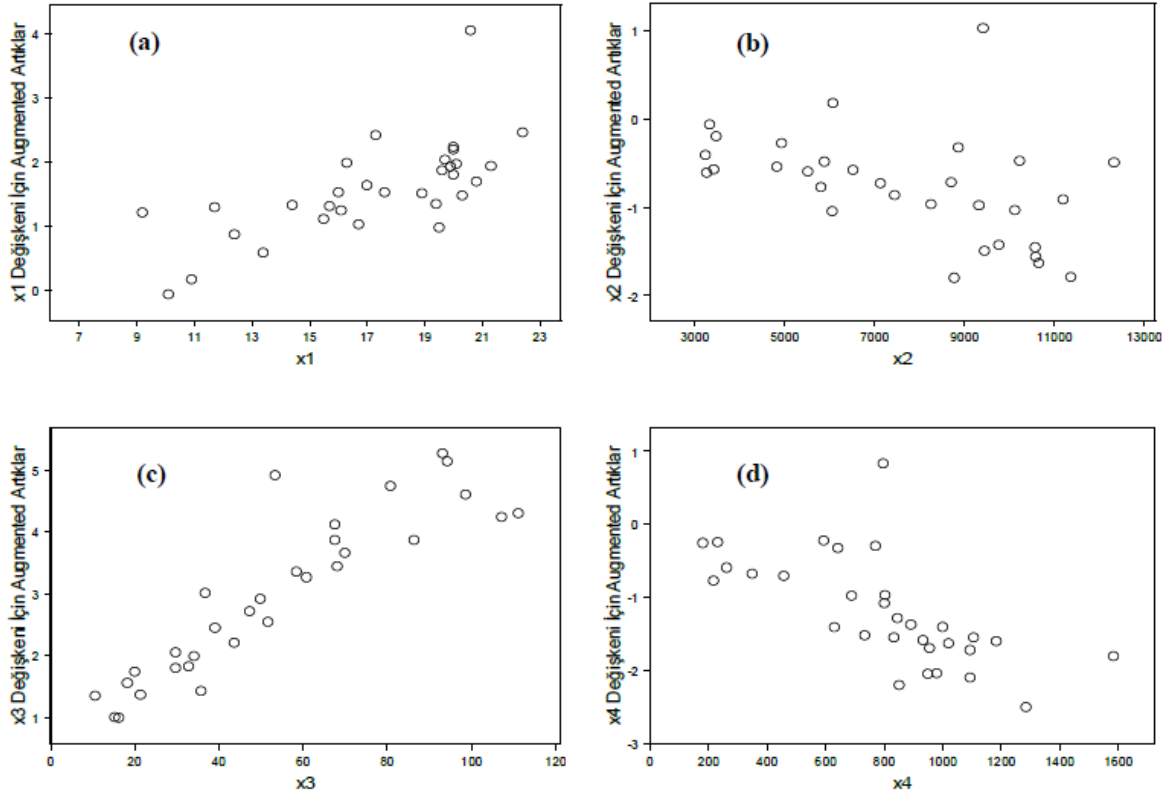


**Tablo 2.**  $\hat{\gamma}_1$  ve  $\hat{\gamma}_5$  katsayı değerleri

Değişken	$\hat{\gamma}_1$	$\hat{\gamma}_5$
$x_1$	0.0234	0.0038
$x_2$	-0.0001	0
$x_3$	0.0761	-0.0003
$x_4$	-0.0015	0

Augmented kısmi artık grafikleri, elde edilen augmented kısmi artık değerlerinin ilgili değişkenlere karşı çizimi ile elde edilmiştir (Şekil 4).

Augmented kısmi artık grafikleri ilgili bağımsız değişken modele özellikle karesel bir biçimde dahil edilmesi gerektiğinde güçlü tanısal bir grafikdir.



**Şekil 4.** Augmented kısmi artıkların bağımsız değişkenler için grafiği

Şekil 4 (a) ve (c)  $x_1$  ve  $x_3$  değişkeninin modele pozitif yönde lineer biçimde, Şekil 4.(b) ve (d) ise;  $x_2$  ve  $x_4$  değişkeninin negatif yönde lineer biçimde katılması gerektiğini göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar

Genelleştirilmiş lineer modeller, bağımlı değişkenin normal dağılımın yanı sıra binom, negatif binom, Poisson, gamma ve üstel gibi daha genel ve uygulama alanı daha kapsamlı olan dağılımları içermektedir. Bağımlı değişken ortalaması ile bağımsız değişkenler bağıntı fonksiyonu yardımıyla ilişkilendirilmektedir.

Lineer modellerde olduğu gibi genelleştirilmiş lineer modellerde de bağımsız değişken(ler)in modelde yer alma fonksiyonlarının tespit edilmesinde artıklara ve bu artıklara ilişkin grafiklere gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçla,

yaygın olarak kullanılmayan kısmi artık ve augmented kısmi artık ve grafikleri ele alınmıştır.

Bu çalışmada, genelleştirilmiş lineer modellerin üstel dağılım aile üyelerinden olan Poisson modeli grev sayılarının sendikalaşma oranı, işyeri sayısı, ücret oranları ve kapanan işyeri sayısı ile olan ilişkisinin belirlenmesi için artık grafiklerinden ve istatistiksel analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Analiz sonucunda; kısmi artık ve augmented kısmi artık grafiklerinin yaygın olarak kullanılan artık grafiklerine göre daha belirgin bir biçimde grev sayılarının, sendikalaşma oranı ve ücret oranları ile pozitif, işyeri ve kapanan işyeri sayısı ile negatif yönde lineer bir ilişkisi olduğunu göstermiştir.

Sendikalaşma oranının grev sayılarına olan marjinal etkisi  $e^{\hat{\beta}_1 x_1}$  ile belirlenmiştir. Buna göre sendikalaşma oranı %20 olduğunda ortalama grev sayıları %18 oranında artış göstermiştir.

Ücret oranları arttıkça grev sayılarında artış görülmesi, grevin temel nedenlerinden biri olan ücretlere enflasyon oranında zam yapılmaması olarak gösterilebilir. Örneğin 1990 yılında %60.4 olan enflasyon oranına %50 ücret artışı verildiğinde ortalama grev sayılarında %6 oranında bir artış görülmüştür.

Endüstri ilişkilerinin ayrılmaz bir parçası olan grev sayıları artan işyeri sayısı ile azalma göstermektedir. Örneğin işyeri sayısı 3000 olduğunda ortalama grev sayıları %45 oranında azalma göstermiştir. Bu durum işsizlik sorununun varlığına bağlanabilmektedir. Benzer biçimde kapanan işyeri sayısı 1000 olduğunda ortalama grev sayıları %55 oranında azalma göstermiştir.

### Kaynaklar

- Aitken, M., Anderson, D., Francis, B. and Hinde, J. (1989). *Statistical modelling in GLIM*. Oxford: Clarendon Press.
- Cai, Z. and Tsai, C. (1999). Diagnostics for nonlinearity in generalized linear models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 29, 445-469. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(98\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(98)00079-6)
- Cook, R.D. (1993). Exploring partial residual plots. *Technometrics*, 35, 351-362.
- Cook, R.D. and Croos-Dabrera, R. (1998). Partial residual plots in generalized linear models. *American Statistical Association*, 93(442), 730-739. <https://doi.org/10.1080/01621459.1998.10473725>
- Dobson, A.J. (2002). *An introduction to generalized linear models* (2<sup>nd</sup> ed). London: Chapman and Hall.
- Landwehr, J.M., Pregibon, D. and Shoemaker, A.C. (1984). Graphical methods for assessing logistic regression models. *Journal of the American Statistical Association*, 79(385), 61-71.
- Larsen, W.A. and McCleary, S.J. (1972). The use of partial residual plot in regression analysis. *Technometrics*, 14, 781-790.
- Lewis, S.L., Montgomery, D.C. and Myers, R.H. (2001). Examples of designed experiments with nonnormal responses. *Journal of Quality Technology*, 33, 265-278. <https://doi.org/10.1080/00224065.2001.11980078>
- Lindsey, J.K. (1997). *Applying generalized linear model*. New York: Springer Verlag.
- Mallows, C.L. (1986). Augmented partial residuals. *Technometrics*, 28, 313-319.
- McCullagh, C.E. and Searle, S.R. (2001). *Generalized linear and mixed effects*. America: John Wiley & Sons, Inc.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A. (1989). *Background an outline of generalized linear models*. İçinde: *Generalized linear models* (2<sup>nd</sup> ed.). London: Chapman and Hall.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C. and Vining G.G. (2001). *Generalized linear models with applications in engineering and science*. John Wiley and Sons. Inc.
- Nelder, A.J. and Wedderburn, R.W.M. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 135, 370-384.
- O'Hara Hines, R.J. and Carter, E.M. (1993). Improved added variable and partial residual plots for the detection of influential observations in generalized linear models. *Applied Statistics*, 42(1), 3-20. <https://doi.org/10.2307/2347405>
- Uusipaikka, E. (2000). *Confidence intervals in generalized regressions models*. Boca Raton: CRC Press.

## Yapay sinir ağları metodu ile günlük çığ noktası sıcaklığı tahmini

### *Daily dew point temperature estimation with artificial neural networks method*

Nazan Sevtap CAN<sup>1,a</sup>, Arzu ŞENCAN ŞAHİN<sup>\*1,b</sup>

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

• Geliş tarihi / Received: 27.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 30.07.2021

#### Öz

Çığ noktası sıcaklığı, tarım başta olmak üzere ekolojik, hidrolojik ve klimatolojik model benzeri birçok faaliyetin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için çığ noktası sıcaklığı önemli bir faktördür. Çığ noktası sıcaklığının yüksek olduğu ve değişkenlik gösterdiği durumda bitkiler olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı seyrek yağış alan kurak bölgelerde ve seracılığın yoğun olduğu bölgelerde çığ noktası sıcaklığı tahmini önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada Muğla ili için 1 Ocak 2019 ve 31 Aralık 2019 tarihleri arasındaki bağıl nem oranı, basınç ve hava sıcaklığı verilerine bağlı olarak yapay sinir ağları (YSA) metodu kullanılarak çığ noktası sıcaklığı tahmin edilmiştir. Bunun için MATLAB programlama dili kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde en iyi sonucu, gizli tabakada 7 nöron sayısı ile Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve ileri beslemeli geri yayımlı (Feed-Forward BackProp) sinir ağı modeli vermiştir. RMSE hata değeri 2.112987863, R<sup>2</sup> değeri 0.887436814, cov değişim katsayısı 0.170439905 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu ve çığ noktası sıcaklığının tahmin edilmesinde bu metodun başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çığ noktası sıcaklığı tahmininde yapay sinir ağları modelinin farklı bölgeler ve farklı meteorolojik parametreler için de kullanılabilmesi mümkündür. Bu tahminler, özellikle tarımla uğraşanlar için oldukça yararlı olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Çığ noktası sıcaklığı, Matlab, Yapay sinir ağları

#### Abstract

Dew point temperature plays a significant role in determining many activities such as ecological, hydrological, and climatological models, especially agriculture. Dew point is an important factor for the growth and development of plants. Plants are negatively affected when the dew point temperature is high and varies. For these reasons, the dew point temperature prediction has become important in arid regions with sparse rainfall and in areas where greenhouse cultivation is intense. In this study, the artificial neural network (ANN) method was used to estimate the dew point temperature in Mugla Province based on relative humidity, pressure and temperature data from January 1, 2019 to December 31, 2019. The MATLAB programming language is used for this. The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm and the Feed-Forward Back Propagation neural network model give the best results in ANN training, where there are 7 neurons in the hidden layer. The RMSE error value is 2.112987863, the R<sup>2</sup> value is 0.887436814, and the cov coefficient of variation is 0.170439905. These values have been found to be at acceptable levels, and this method can be successfully used to estimate the dew point temperature. The artificial neural network model can be used to estimate the dew point temperature for different regions and different meteorological parameters. These estimates will be very helpful, especially for those engaged in agriculture.

**Keywords:** Dew point temperature, Matlab, Artificial neural networks

<sup>\*b</sup> Arzu ŞENCAN ŞAHİN; arzusencan@isparta.edu.tr, Tel: (0246) 214 67 72, orcid.org/0000-0001-8519-4788

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0003-1002-9109

## 1. Giriş

Çiğ noktası sıcaklığı, hava basıncının sabit kaldığı sürece, havadaki su buharının çiğ veya su damlacıklarına dönüşeceği sıcaklıktır. Kısacası, doygunluk buhar basıncı ve gerçek buhar basıncının eşit olduğu sıcaklık olarak tanımlanabilir. Çiğ noktası, bağıl nem ile ilişkilidir. Yüksek bağıl nem, çiğ noktasının mevcut hava sıcaklığına daha yakın olduğunu gösterir. % 100 bağıl nem, çiğ noktasının mevcut sıcaklığa eşit olduğunu ve havanın maksimum su ile doymuş olduğunu gösterir. Çiğ noktası sabit kaldığında ve sıcaklık arttığında bağıl nem azalır. Günümüzde çiğ noktası sıcaklıkları hazırlanmış tablolardan bağıl nem ve sıcaklığa bağlı olarak belirlenmektedir (Zounemat-Kermani, 2012).

Hava tahmini birçok alan için önemlidir. Bu alanlardan bazıları tarım, ulaşım, havayolu taşımacılığı olarak sıralanabilir. Anlık hava durumlarının rapor edilmesi kolaydır ancak geleceğe yönelik hava durumlarının tahmini, analizi oldukça zordur ve önemlidir. Tarım, hava ve yağışlara endekslili olan temel alanlardan biri olup hava durumu raporları sayesinde tarımda zarara uğrayan alanlar gittikçe azalmaktadır. Hava durumu raporu kullanıcıların bilgilendirilmesi içindir. Bu sebeple, hava durumu tahmininin en az hata ile belirlenmesi kullanıcılar için yararlı olacaktır. Geleceğe yönelik hava tahminleri için birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak en iyi sonuç, en uygun yöntemin kullanılması ile elde edilecektir (Sankari ve Valarmathi, 2017).

Sıcaklık, bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için oldukça etkilidir. Her bitkinin yetişmesi için optimum sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek sıcaklıktan bitkiler etkilenmektedir. Bu amaçla ilk kez ABD’de sıcaklığa dayalı bölge haritaları çalışmalarına Amerikan Bahçe Bitkileri Derneğinin 1974-1995 yılları ait 4745 meteoroloji ölçüm merkezinden aldığı veriler kullanılarak başlanmıştır (Paulsen, 1994; Peşkirioğlu vd., 2016). Seralarda ürün yetiştirme sürecinde yetiştirilecek olan bitkiler için gerekli olan ışık, nem, sıcaklık vb. gibi unsurların kontrolü sağlanabilir. Seralarda yetişen bitkiler büyüme sırasında farklı sıcaklıklara gereksinim duymaktadır. Sıcaklık değerlerinin değişkenlik göstermesi, bitkinin verimini ve kalitesini etkilemektedir. Özellikle Akdeniz iklimine sahip bölgelerde yaz aylarında sıcaklığın yüksek değerlere ulaşması sera ürünlerinin veriminin ve kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Sıcaklığın kontrolünün sağlanmasında iklimlendirme,

havalandırma ve soğutma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Boyacı vd., 2017).

Birçok tarımsal, ekolojik, hidrolojik ve klimatolojik model için çiğ noktası sıcaklığı gereklidir (Hubbard vd., 2003). Özellikle seyrek yağış alan kurak bölgelerde çiğ noktası sıcaklığının bilinmesi, bitkilerin bir zarara uğramaması ve verimli olabilmesi için gereklidir (Agam ve Berliner, 2006). Seralarda da çiğlenme önemli bir sorundur. Sera dışında havanın günlük ortalama çiğ noktası sıcaklığı daha düşük olurken, bu değer sera içinde daha yüksek olabilir. Çiğlenme olayı genellikle gece ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, gece sera içinde belirlenen çiğ noktası sıcaklığı değerinden yararlanılabilir. Çiğ noktası sıcaklığının tahmin edilmesiyle seralar için gerekli önlemlerin önceden alınması sağlanacaktır.

Yapay zeka yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA) metodu pek çok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Akyüz vd. çalışmalarında Antalya ili için aylık ortalama bağıl nem ve buhar basıncı değerlerini kullanılarak YSA metoduyla aylık ortalama hava sıcaklığı değerlerini tahmin etmişlerdir. YSA metodunun ortalama hava sıcaklığı tahmininde başarılı bir şekilde kullanıldığını ifade etmişlerdir (Akyüz vd., 2020). İlkuçar vd., çalışmalarında YSA metodu ile mekanik özelliklere göre sekiz farklı ağaç türünün tahmini yapmışlardır. İleri beslemeli geri yayımlı YSA metodunun %96.29 doğruluk oranında tahmin yapabildiğini göstermişlerdir (İlkuçar vd., 2018). Çiğ noktası sıcaklığının tahmininde de özellikle son zamanlarda yapay zeka yöntemleri kullanılmaktadır. Mehdizadeh vd. çalışmalarında İran’ın kuzeybatısında iki istasyonda çiğlenme noktası sıcaklığını tahmin etmek için gen ifade programlama (GEP) yöntemini kullanmışlardır (Mehdizadeh vd. 2017). Shank vd. çalışmalarında daha önceki yıllardaki hava durumu verilerini girdi olarak kullanarak daha sonraki yıllardaki çiğ noktası sıcaklığını tahmin etmek için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmışlardır (Shank vd., 2008). Baghban vd. çalışmalarında nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve genetik algoritma (GA) yöntemlerini kullanarak çiğ noktası sıcaklığı tahmini yapmışlardır. Korelasyon katsayısı değerleri 0.9987 olarak bulunmuştur (Baghban vd., 2016). Mohammadi vd. çalışmalarında günlük olarak çiğ noktası sıcaklığını tahmin etmek için yapay sinir ağları metodunu kullanmışlardır. Korelasyon katsayısı değerleri 0.9617 olarak bulunmuştur (Mohammadi vd., 2015). Naganna vd çalışmalarında hibrit yapay zeka yöntemleri (YSA ve ateş böceği algoritması) kullanarak Hindistan’da iki bölge için çiğ noktası sıcaklığı

değerlerini tahmin etmişlerdir (Naganna vd., 2019). Qasem vd. çalışmalarında GEP, M5 model ağacı (M5) ve Destek Vektör Regresyon (SVR) yöntemlerini kullanarak İran'da Tebriz bölgesi için meteorolojik parametrelere bağlı olarak çiğ noktası sıcaklığı değerlerini tahmin etmişlerdir (Qasem vd., 2019). Amirmojahedi vd. çalışmalarında İran'ın güney kıyı kesiminde yer alan Bandar Abass limanı için günlük çiğ noktası sıcaklığını tahmin etmek için aşırı öğrenme makinesi (ELM) ile dalgacık dönüşümü (WT) algoritmasını birleştiren yeni bir hibrit yaklaşım kullanmışlardır (Amirmojahedi vd., 2016). Alizamir vd. çalışmalarında aşırı öğrenme makinesi (ELM) ve regresyon ağacı (RT) gibi farklı modellerle Kore'de Seul ve Incheon istasyonları için farklı meteorolojik değişkenler kullanarak çiğ noktası sıcaklığını tahmin etmişlerdir (Alizamir vd., 2020). Shiri vd. çalışmalarında YSA ve GEP yöntemlerini kullanarak Kore'de Seul ve Incheon istasyonları için günlük çiğ noktası sıcaklığını tahmin etmişlerdir (Shiri vd., 2014). Kisi vd. çalışmalarında nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve YSA yöntemlerini kullanarak Kore'de Daego, Pohang ve Ulsan bölgeleri için günlük çiğ noktası sıcaklığı değerlerini tahmin etmişlerdir. Çalışma sonunda her iki yöntemin de aynı doğrulukta performans gösterdiğini ifade etmişlerdir (Kisi vd., 2013). Zounemat-Kermani çalışmasında saatlik çiğlenme noktası sıcaklığını tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve Levenberg-Marquardt (LM) ileri beslemeli yapay sinir ağı modelinin kullanılabilirliğini incelemiştir (Zounemat-Kermani, 2012). Mohammadi vd. çalışmalarında günlük çiğ noktası sıcaklığının tahmininde en önemli parametreleri belirlemeye yönelik bir yaklaşım sunmak için uyarlanabilir nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanmıştır (Mohammadi vd., 2016).

Çiğ noktası sıcaklığı, gerçek buhar basıncını hesaplamak veya bağıl nemi tahmin etmek için de kullanılabilir (Mahmood ve Hubbard, 2005). Nemli havanın termodinamik özellikleri iterasyona gerek kalmadan kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem girdi alınarak, su buharının doyma ve kısmi basınçları ile yaş termometre ve çiğ noktası sıcaklıkları da bulunabilir. Özbek çalışmasında kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemin bir fonksiyonu olarak su buharı basınçları, yaş termometre ve çiğ noktası sıcaklıkları gibi nemli havanın termodinamik özelliklerini belirlemek için yapay sinir ağları metodunu kullanmıştır (Özbek, 2016).

Literatür çalışmalarından görüldüğü gibi yapay zeka yöntemleri özellikle son zamanlarda çiğ

noktası sıcaklığının tahmininde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Muğla ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM, 2020) temin edilen önceki hava durumu verileri girdi olarak kullanarak çiğ noktası sıcaklığı tahmin edilmiştir. Çalışma, Matlab programı kullanılarak yapay sinir ağı metoduyla yapılmıştır. Bu metotta nem oranı, basınç, sıcaklık değerlerine bağlı olarak çiğ noktası sıcaklığı tahmin edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Muğla ilinde seracılık için çiğlenmeyi önlemek ve bitki verimliliğini arttırmak için kullanılabilir.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Yapay sinir ağları

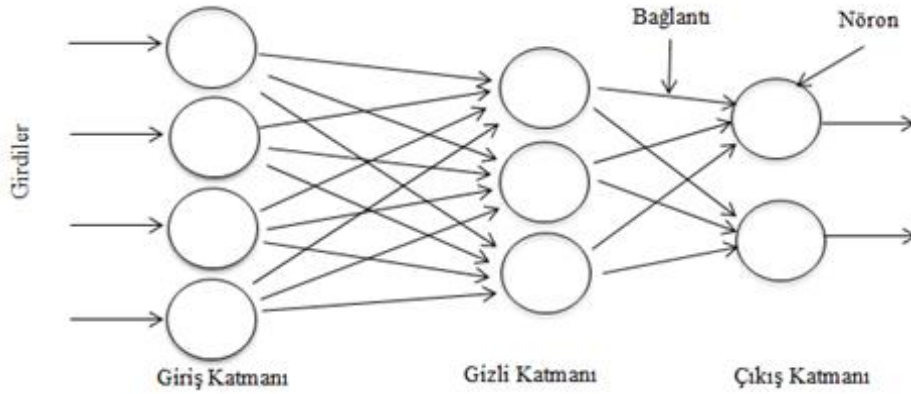
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyininde bulunan biyolojik nöronları taklit eden yazılım tabanlı sentetik yapılardır. YSA özellikle eksik, belirsiz, karmaşık ve bulanık bilgileri işlemekteki başarıları nedeniyle, birçok endüstriyel probleme uygulanabilmektedir. Yapılardaki paralellikten dolayı çok hızlı çalışabilmeleri, onların özellikle gerçek zamanlı olaylarda çalışmalarını sağlamaktadır (Bayır, 2008).

YSA yapay zekâ yöntemlerinden biridir. En basit şekilde ifade edilecek olursa basit biyolojik sinir sistemlerin çalışma şekillerinin taklit edilerek oluşturulduğu matematiksel bir modeldir. YSA temel prensipleri arasında beyin öğrenerek yeni bilgiler elde etme, güçlü düşünme, problem çözme, tahmin etme vb. yeteneklerin kazandırılması gibi özellikler yer almaktadır. Doğrusal olsun ya da olmasın herhangi bir olayla ilgili girdi ve çıktı arasında ilişkiyi, eldeki örneklerden öğrenerek önceki zamanlarda görülmemiş olayları, daha önceki örnekler vasıtasıyla ilişkilendirerek çözüm üretme gibi özellikleri nedeniyle YSA araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir (Kaftan, 2010).

Girdi tabakasından gelen bilgiler belli standartlar çerçevesinde işlenerek çıkış tabakasına iletilir. Ağın temel görevini gizli katman yapmakta ve gizli katman sayısı gerçekleştirilecek amaç doğrultusunda ağdan ağa değişkenlik göstermektedir. Çıkış tabakasında ise ara katmandan gelen bilgiler işlenir ve girdi katmanına sunulmuş olan girdilere göre üretilmesi gereken çıktı üretilir. Ağ sunulan her bir verinin çıkış sayısı kadar çıktı katmanında nöron bulunur. Çıkış katmanından üretilen değerler yapay sinir ağlarının probleme karşı oluşturduğu çıkış değerlerini oluşturmaktadır. Yapay sinir ağları yönteminin kullanıldığı bir problemin modellenmesinde,

problemin en iyi çözümü için kullanılacak gizli katman sayısı ile birlikte katmanlardaki nöron sayılarının belirlenmesi oldukça önemlidir (Şahan ve Okur, 2016).

Şekil 1’de üç ana katmandan oluşan yapay sinir ağı bağlantıları verilmiştir (Ayvaz, 2012).



Şekil 1. Yapay sinir ağı bağlantıları

YSA, Şekil 2’de gösterildiği gibi girdi ( $x_i$ ), ağırlık ( $w_i$ ), toplama ve aktivasyon fonksiyonu ile çıktı olmak üzere beş temel yapıdan oluşmaktadır (Aslay ve Özen, 2012).

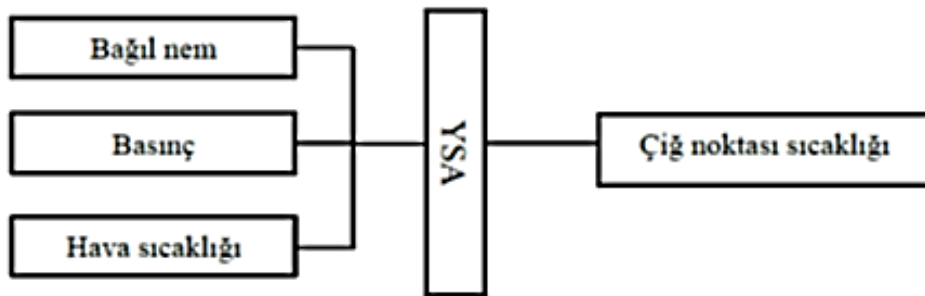


Şekil 2. Yapay sinir ağı hücresinin genel yapısı

## 2.2. YSA modeli uygulaması

Bu çalışmada; bağıl nem (%), basınç (mb) ve hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) parametrelerine bağlı olarak çığ noktası sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) YSA modeli yardımıyla

tahmin edilmiştir. Bu parametrelerin çığ noktası sıcaklığını tahmin etmede etkili olduğu bilinmektedir. Şekil 3’de tasarlanan YSA modelinin diyagramı görülmektedir.



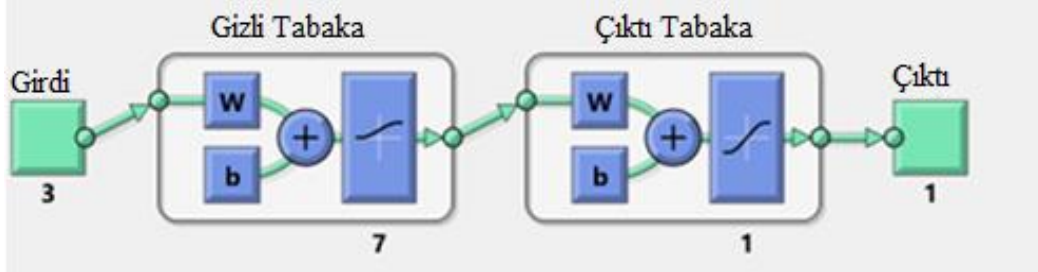
Şekil 3. Tasarlanan sistem için YSA diyagramı



Bu parametrelerle ilgili veriler 2019 yılında Muğla ili için günlük olarak hazırlanmış ve verilerin 292 adedi eğitim, 73 adedi test verisi olarak kullanılmıştır. YSA'nın eğitimi için ağ tipi olarak ileri beslemeli geri yayımlı (Feed-Forward BackProp), geriye yayılma algoritmasının Levenberg Marquardt (LM), Logistic Sigmoid (logsig) aktivasyon fonksiyonu ve ağ performans

fonksiyonunun değerlendirilmesinde ise ortalama karesel hata (MSE) seçilmiştir. Verilerin eğitiminde, gizli katmanda en uygun sonucu veren 7 nöron sayısı kullanılmıştır.

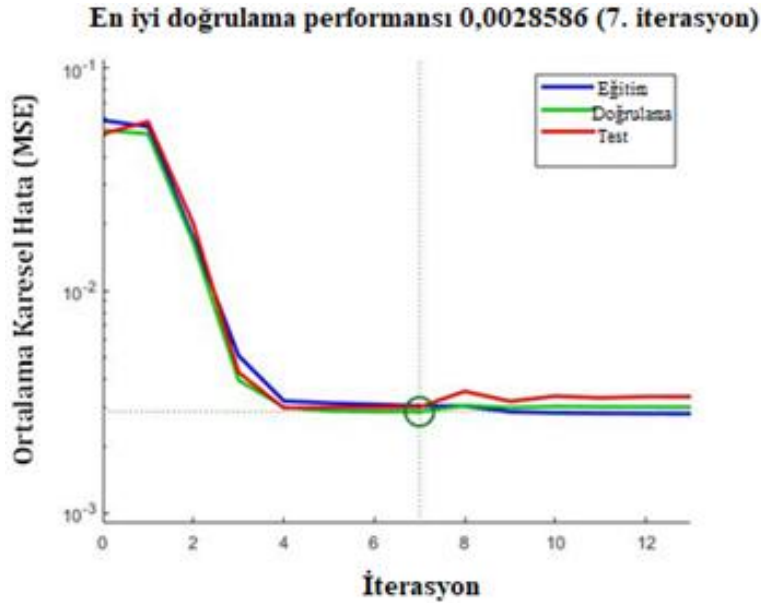
Şekil 4'de ara yüz nntool tarafından oluşturulan yapay sinir ağının blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4. Ara yüz nntool tarafından oluşturulan yapay sinir ağının blok diyagramı

Veriler YSA modelinde eğitilmeden önce girdi ve çıktı değerleri normalize edilmelidir. Bu çalışmada elde edilen veriler 0-1 değerleri arasında normalize edilmiştir. Gerçekleştirilen eğitimde 1000 iterasyon kullanılmıştır. Ağın eğitim süreci 13 iterasyonda tamamlanmış olup ortalama karesel

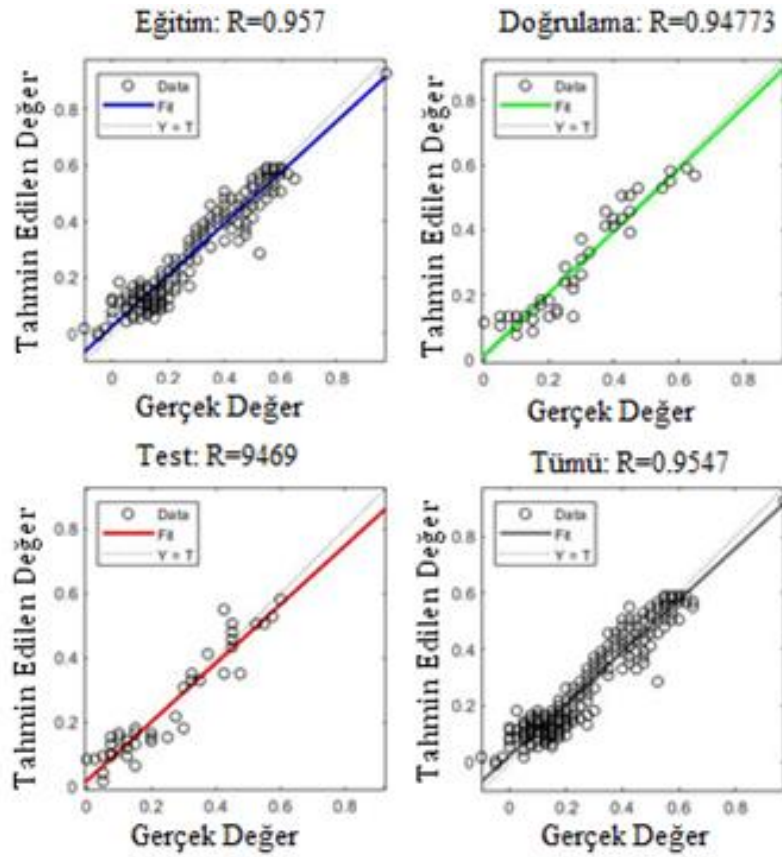
hata (MSE) değerinin en düşük olduğu değere 7. iterasyonda ulaşılmıştır. Şekil 5' de modelin iterasyona bağlı performans grafiği görülmekte olup MSE değeri ise 0.0028586 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Eğitim, doğrulama ve test verilerinin performans değişimi

Şekil 6'da modelin performansının gösterildiği korelasyon katsayısı (R) grafikleri verilmiştir. Şekil 6' da korelasyon katsayısı değerlerine bakıldığında eğitim (Training) verileri için R = 0.957, test (Test) verileri için R=0.9469, doğrulama (Validation) verileri için R=0.94773 ve Tüm (All)

veriler için R=0.9547 olarak bulunmuştur. Tüm veriler için değerlerin 1'e yakın olması, YSA metoduyla elde edilen veriler ile gerçek veriler arasında uyum olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısı değerlerinin 1'e yakın olması modelin başarılı olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 6. Eğitim, doğrulama ve test kümelerine ait regresyon grafikleri

YSA modelinin iyi çalışıp çalışmadığını anlamak için ortalama karekök hata (RMSE), korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), varyasyon katsayısı (cov) gibi bazı istatistiksel göstergelere bakılmaktadır (Köksal, 2011). Bu istatistiksel göstergeler aşağıda belirtilen eşitliklerle hesaplanabilir (Şencan ve Kalogirou, 2005).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n (y_{p,m} - t_{m,m})^2}{\sum_{m=1}^n (t_{m,m} - \bar{t}_{m,m})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (y_{p,m} - t_{m,m})^2}{n}} \quad (2)$$

$$cov = \frac{RMSE}{|\bar{t}_{m,m}|} \times 100 \quad (3)$$

Eşitliklerde belirtilen  $y_{p,m}$  tahmin edilen değeri,  $t_{m,m}$  gerçek değeri,  $\bar{t}_{m,m}$  gerçek değer ortalamasını,  $n$  ise veri sayısını ifade etmektedir.

### 3. Bulgular

Bu çalışmada, YSA modeli ile Muğla ili için farklı meteorolojik değişkenler kullanarak çiğ noktası

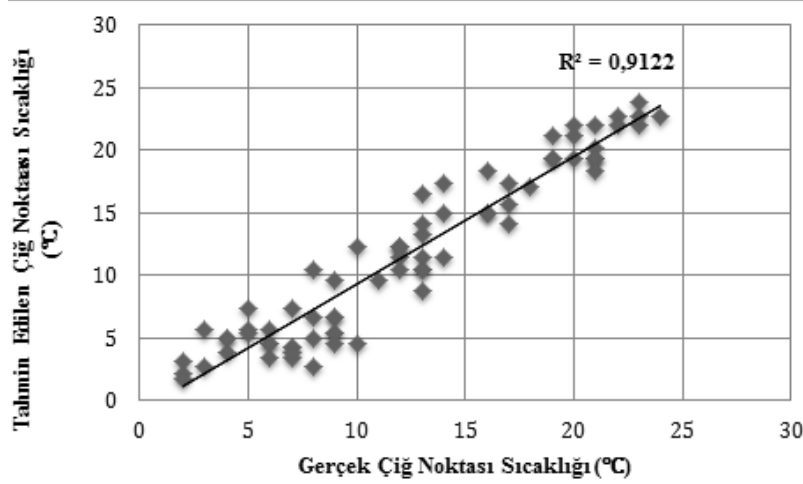
sıcaklığı tahmin edilmiştir. YSA modelinin oluşturulmasında Matlab programında Neural Network araç kutusu (nntool) kullanılmıştır. Çalışmada, en iyi modeli oluşturmak için farklı algoritma ve nöron sayıları ile denemeler yapılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin performansını değerlendirmek için ortalama karekök hata (RMSE), varyasyon katsayısı (cov) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) göstergeleri kullanılmıştır. Bu göstergeler yardımıyla günlük çiğ noktası sıcaklığının tahmin edilen değerleri ile ölçülen değerleri arasında istatistiksel bir karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. RMSE ve cov değerlerinin daha küçük değerleri, tahminlerin daha yüksek doğrulukta olduğunu; daha büyük  $R^2$  değerleri, tahmin edilen ve ölçülen değerler arasında daha yüksek doğrusal bir ilişkiyi olduğunu gösterir (Mohammadi vd., 2015; Köksal, 2011). Denemeler sonucunda en küçük RMSE ve cov değeri ile en yüksek  $R^2$  değerine LM (Levenberg-Marquardt) algoritması ve gizli tabakada 7 nöron sayısı ile ulaşılmıştır.

**Tablo 1.** YSA modelinin istatistiksel analizi

Algoritma-Nöron	RMSE	cov	R <sup>2</sup>
LM-7	2.112987863	0.170439905	0.887436814

Test veri seti için, günlük olarak ölçülen gerçek çığ noktası sıcaklığı ve YSA modeli ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerlerinin karşılaştırması Şekil 7’de görülmektedir. Gerçek ve tahmin edilen çığ noktası sıcaklıkları için R<sup>2</sup> değeri 0.9122 olarak

bulunmuştur. Yüksek R<sup>2</sup> değeri, YSA modeli ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerleriyle gerçek çığ noktası sıcaklığı değerleri arasındaki ilişkinin doğruluğunu göstermektedir.

**Şekil 7.** Gerçek ve tahmin edilen çığ noktası sıcaklık değerlerinin karşılaştırması

Tablo 2’de Muğla ilinin 2019 yılına ait tüm verileri içinde rastgele alınan günlük nem oranı, basınç ve hava sıcaklığı değerlerine bağlı olarak gerçek çığ noktası sıcaklığı değerleri ve YSA metodu ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerlerinin

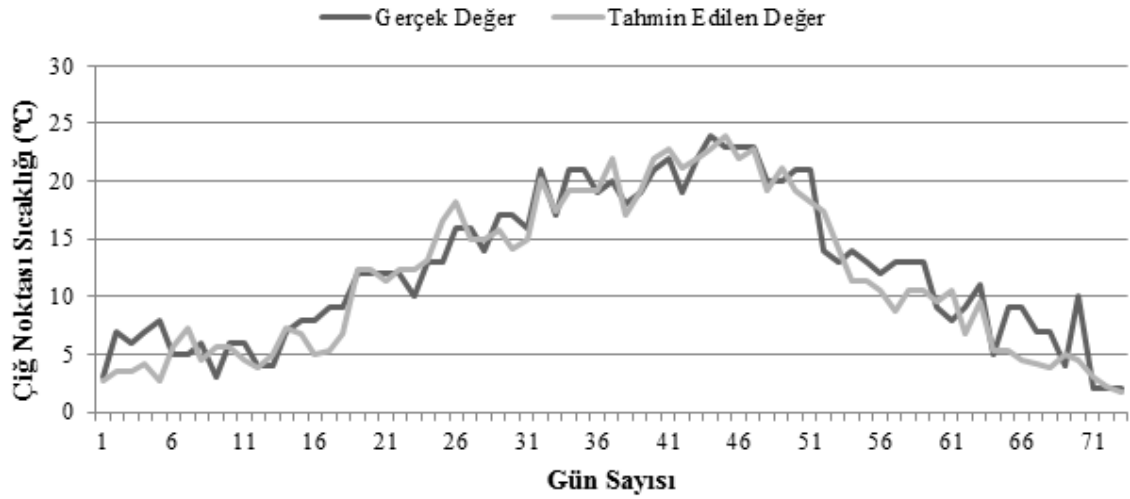
karşılaştırılması, hata ve yüzde hata değerleri verilmiştir. Tablo 2’de verildiği gibi en büyük yüzde hata değeri % 3.8 olarak bulunmuş olup bu hata değerlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Gerçek ve YSA ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklık değerlerinin karşılaştırması ve hata değerleri

Nem oranı (%)	Basınç (mb)	Hava sıcaklığı (°C)	Gerçek çığ noktası sıcaklığı (°C)	YSA ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı (°C)	Hata	Yüzde hata (%)
27.5	20	11	4	3.847874	0.152126	3.803159
62.5	34	25	12	12.34204	-0.34204	2.8503
65	35	26	13	13.22573	-0.22573	1.73639
85	43	34	21	20.23069	0.769307	3.663366
77.5	40	31	17	17.36418	-0.36418	2.14221
82.5	42	33	19	19.24964	-0.24964	1.3139
82.5	42	33	19	19.24964	-0.24964	1.3139
92.5	46	37	22	22.72155	-0.72155	3.27978
90	45	36	22	22.01791	-0.01791	0.08139
92.5	46	37	23	22.72155	0.278448	1.210642
82.5	42	33	20	19.24964	0.750358	3.751792

Şekil 8’de ise test verileri için günlük olarak ölçülen gerçek çığ noktası sıcaklığı ve YSA ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerlerinin

karşılaştırılmalı grafiği verilmiştir. Genel olarak gerçek ve tahmin edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Günlük olarak gerçek ve YSA ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerlerinin karşılaştırması

#### 4. Sonuçlar

Seyrek yağış alan kurak bölgelerde ve seracılığın yoğun olduğu bölgelerde çığ noktası sıcaklığı tahmini önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada çığ noktası sıcaklığının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım olarak YSA modeli kullanılmıştır. YSA metodu, Muğla ili için çığ noktası sıcaklığı değerlerini belirlemek için uygulanmıştır. YSA metodu ile tahmin edilen değerler ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda RMSE hata değeri 2.112987863,  $R^2$  değeri 0.887436814, cov değişim katsayısı 0.170439905 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Ayrıca en büyük yüzde hata değeri % 3.8 olarak bulunmuştur. Test verileri için günlük olarak ölçülen gerçek ve YSA ile tahmin edilen çığ noktası sıcaklığı değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Sonuç olarak, YSA modelinin çığ noktası sıcaklığının tahmin edilmesinde başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada geliştirilen YSA modeli ile nem oranı, basınç ve hava sıcaklığı değerlerine bağlı olarak çığ noktası sıcaklığı kısa bir süre içinde tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Muğla ilinde seracılık için çığlenmeyi önlemek ve bitki verimliliğini arttırmak için kullanılabilir. Ayrıca farklı bölgeler ve farklı meteorolojik parametreler için de YSA modelleri ile çığ noktası sıcaklığını doğru bir şekilde tahmin edebilmek mümkün olabilmektedir. Bu tür tahminler, ekolojistler, meteorologlar, tarım üreticileri ve hava durumu verileriyle çalışan araştırmacılar için faydalı olacaktır.

#### Kaynaklar

- Agam, N. and Berliner, P.R. (2006). Dew formation and water vapor adsorption in semi-arid environments—a review. *Journal of Arid Environments*, 65(4), 572-590. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.09.004>.
- Akyüz, A., Kumaş, K., Ayan, M. ve Güngör, A. (2020). Antalya İli Meteorolojik Verileri Yardımıyla Hava Sıcaklığının Yapay Sinir Ağları Metodu ile Tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 146-154. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.511481>.
- Alizamir, M., Kim, S., Kisi, O. and Zounemat-Kermani, M. (2020). Deep echo state network: a novel machine learning approach to model dew point temperature using meteorological variables. *Hydrological Sciences Journal*, 65(7), 1173-1190. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1735639>
- Amirmojahedi, M., Mohammadi, K., Shamshirband, S., Danesh, A.S., Mostafaeipour, A. and Kamsin, A. (2016). A hybrid computational intelligence method for predicting dew point temperature. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 415. [10.1007/s12665-015-5135-7](https://doi.org/10.1007/s12665-015-5135-7).
- Aslay, F. ve Özen, Ü. (2013). Meteorolojik parametreler kullanılarak yapay sinir ağları ile toprak sıcaklığının tahmini. *Politeknik Dergisi*, 16(4), 139-145.
- Ayvaz, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları ve Paralel Akışlı Isı Eşanjörlerinde Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baghban, A., Bahadori, M., Rozyn, J., Lee, M., Abbas, A., Bahadori, A. and Rahimali, A. (2016). Estimation of air dew point temperature using computational intelligence schemes. *Applied*

- Thermal Engineering*, 93, 1043-1052. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.056>.
- Bayır, R. (2008). Yapay Zeka Teknikleri Dersi Ders Notları. *Karabük Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü*.
- Boyacı, S., Akyüz, A., Üstün, S., Baytorun, A.N. ve Güğercin, Ö. (2017). Seralarda yüksek sıcaklıkların azaltılmasında kullanılan yöntemler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 89-95. <https://doi.org/10.19159/tutad.300720>.
- Hubbard, K.G., Mahmood, R. and Carlson, C. (2003). Estimating daily dew point temperature for the northern Great Plains using maximum and minimum temperature. *Agronomy Journal*, 95(2), 323-328. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.3230>.
- İlkuçar, M., Kaya, A. ve Çifci, A. (2018). Mekanik Özelliklere Göre Ağaç Türlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 75-83. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.310585>.
- Kaftan, İ. (2010). *Batı Türkiye gravite ve deprem katalog verilerinin yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kisi, O., Kim, S. and Shiri, J. (2013). Estimation of dew point temperature using neuro-fuzzy and neural network techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 114(3), 365-373. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0845-9>.
- Köksal, E., (2011). *Makina Elemanları Konstrüksiyonunda Çentik Faktörünün Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mahmood, R. and Hubbard, K.G. (2005). Assessing bias in evapotranspiration and soil moisture estimates due to the use of modeled solar radiation and dew point temperature data. *Agricultural and forest meteorology*, 130(1-2), 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.02.004>.
- Mehdizadeh, S., Behmanesh, J. and Khalili, K. (2017). Application of gene expression programming to predict daily dew point temperature. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1097-1107. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.181>.
- MGM-Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2020, 15 Kasım). Erişim adresi <https://www.mgm.gov.tr/>
- Mohammadi, K., Shamshirband, S., Motamedi, S., Petković, D., Hashim, R. and Gocic, M. (2015). Extreme learning machine based prediction of daily dew point temperature. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.008>.
- Mohammadi, K., Shamshirband, S., Petković, D., Yee, L. and Mansor, Z. (2016). Using ANFIS for selection of more relevant parameters to predict dew point temperature. *Applied Thermal Engineering*, 96, 311-319. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.081>.
- Naganna, S.R., Deka, P.C., Ghorbani, M.A., Biazar, S. M., Al-Ansari, N. and Yaseen, Z.M. (2019). Dew point temperature estimation: application of artificial intelligence model integrated with nature-inspired optimization algorithms. *Water*, 11(4), 742. <https://doi.org/10.3390/w11040742>.
- Ozbek, A. (2016). Estimation of Moist Air Thermodynamic Properties using Artificial Neural Network. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 51-58.
- Qasem, S.N., Samadianfard, S., Sadri Nahand, H., Mosavi, A., Shamshirband, S. and Chau, K. W. (2019). Estimating daily dew point temperature using machine learning algorithms. *Water*, 11(3), 582. <https://doi.org/10.3390/w11030582>.
- Paulsen, G.M. (1994). High temperature responses of crop plants. *Physiology and determination of crop yield*, 365-389. <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c25>.
- Peşkirioğlu, M., Özaydın, K.A., Özpınar, H., Nadaroğlu, Y., Cankurtaran, G.A., Sabahaddin, Ü. ve Şimşek, O. (2016). Bitkilerin Sıcağa ve Soğuğa Dayanıklılık Bölgelerinin Türkiye Ölçeğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Haritalanması. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 11-25. <https://doi.org/10.21566/tbmaed.85397>.
- Shank, D.B., Hoogenboom, G. and McClendon, R.W. (2008). Dewpoint temperature prediction using artificial neural networks. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47(6), 1757-1769. <https://doi.org/10.1175/2007JAMC1693.1>.
- Shiri, J., Kim, S. and Kisi, O. (2014). Estimation of daily dew point temperature using genetic programming and neural networks approaches. *Hydrology Research*, 45(2), 165-181. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.229>.
- Sri Sankari, G. and Valarmathi, D.A. (2017). Weather Forecasting with Back Propagation of Neural Network using MATLAB. *International Journal of Scientific Research in Computer Science*.

*Engineering and Information Technology*, 2(2), 2456-3307.

Şahan, M. ve Okur, Y. (2016). Akdeniz bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş enerjisinin tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 11(1), 61-71.

Şencan, A. and Kalogirou, S.A. (2005). A new approach using artificial neural networks for determination

of the thermodynamic properties of fluid couples. *Energy Conversion and Management*, 46(15-16), 2405-2418.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.11.007>

Zounemat-Kermani, M. (2012). Hourly predictive Levenberg–Marquardt ANN and multi linear regression models for predicting of dew point temperature. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 117(3-4), 181-192. <https://doi.org/10.1007/s00703-012-0192-x>.



## Samsun ilinin turizm iklim indeksi değerlerinin trend analizi

### Trend analysis of tourism climate index values in Samsun

Bahtiyar EFE\*<sup>1,a</sup>, Edanur GÖZET<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 08.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 30.07.2021

#### Öz

Turizm faaliyetleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de belirli zaman dilimlerinde yoğunlaşmaktadır. Turizm faaliyetlerinin yapıldığı dönemin uzunluğu o bölgedeki iklim ve hava durumu özelliklerine bağlıdır. İklim ve termal konfor şartlarını belirleyebilmek için meteorolojik değişkenler kullanılarak bazı indisler geliştirilmiştir. İklimle ilgili konfor durumunu belirlemede kullanılan en yaygın indis Turizm İklim İndisi(TCI)dir. Samsun ilinin TCI değerlerinin trend analizini yapmak amacıyla Samsun Bölge ve Bafra Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından alınan, 1990-2019 yılları arasında gerçekleşen günlük ortalama ve günlük maksimum bağıl nem (%), günlük ortalama rüzgar şiddeti (km/saat), günlük ortalama güneşlenme süresi (saat), günlük toplam yağış miktarı (mm), günlük minimum ve günlük ortalama sıcaklık (°C) verileri alınıp bu verilerin aylık TCI değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan TCI değerlerinin yıllık, mevsimlik ve aylık ortalamaları alınmış; Samsun ve Bafra istasyonları için Şen Yenilikçi Trend Testi (ŞYTT) ve Mann-Kendall (MK) yöntemleri kullanılarak trend analizleri yapılmıştır. Her iki istasyonun TCI değerleri incelendiğinde; en yüksek TCI değeri yaz mevsiminde *mükemmel* olarak hesaplanmışken ardından sonbaharda *çok iyi*, ilkbaharda *iyi* ve kış mevsiminde *kabul edilebilir* olarak hesaplanıp kategorize edilmiştir. Trend analiz sonuçlarına göre; Samsun Meteoroloji Gözlem İstasyonunda (MGİ) Mayıs ve Eylül aylarında artan trend görülürken, Bafra MGİ'de Ocak, Şubat, Nisan, Mayıs, Ekim ve Aralık aylarında artan trend görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Mann-Kendall Trend Testi, Samsun, Şen Yenilikçi Trend Testi, Turizm İklim İndeksi (TCI)

#### Abstract

Tourism activities are more frequent in certain time periods in our country as well as in the whole world. The length of the tourism period depends on the climate and weather conditions of that region. Some indices have been developed by using meteorological variables to determine climatic and thermal comfort conditions. The most common index used in determining climate comfort is Tourism Climate Index (TCI). The daily average and daily maximum relative humidity (%), daily average wind intensity (km / hour), average daily sunshine duration (hour), daily total precipitation amount (mm), daily minimum and daily average temperature (°C) data were obtained from Samsun and Bafra Automatic Meteorology Observation Stations in order to make trend analysis of TCI values of these stations. Annual, monthly and seasonal averages of the calculated TCI values were taken and trend analyzes were performed for Samsun and Bafra stations using the Şen Innovative Trend Test (ŞYTT) and Mann-Kendall (MK) methods. When TCI values are examined; The highest TCI value was calculated to be perfect in summer, then it was calculated and categorized as very good in autumn, good in spring and acceptable in winter. According to the trend analysis results; While there is an increasing trend in May and September in Samsun station, an increasing trend is observed in Bafra station in January, February, April, May, October and December.

**Keywords:** Mann-Kendall Trend Test, Samsun, Şen Innovative Trend Test, Tourism Climate Index (TCI)

\*a Bahtiyar EFE; bahtiyar.efe@samsun.edu.tr, Tel: (0506) 588 08 11, orcid.org/0000-0001-5604-7068

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-9558-2941

## 1. Giriş

İklim, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin yanı sıra; onların oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen ekstrem değerlerinin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerin birleşimi olarak tanımlanabilir (Türkeş, 2001). Sanayi devriminin sonrasında ısınma, ulaşım, enerji üretimi gibi ihtiyaçlar nedeniyle fosil yakıt kullanımını artmış, CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazlarının (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs vb.) uzun dalga boylu ışınları tutmasıyla yüzey sıcaklıklarında artış gözlenmiştir (Öztürk, 2002). Yüzey sıcaklıklarındaki bu artış 0.8°C'lik bir artıştır (Bayar ve Behrend, 1994). Bu durum küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Antropojenik nedenler dışında küresel iklim değişikliğini etkileyen doğal faktörler de mevcuttur. Gelen güneş radyasyonu ve yerküreden uzaya gönderilen uzun dalga boylu radyasyondaki değişiklikler buna örnek olarak verilebilir (MGM-İklim değişikliği). Turizm, iklim değişimi ve değişkenliğinden fazla etkilenen bir sektördür. İnsanların turizm faaliyetlerine karar vermesinde, nereye, ne zaman gideceklerini planlamasında turizm klimatolojisi önemli bir yere sahiptir (De Freitas, 2001).

Yaz turizm faaliyetleri tüm dünyada belirli bir zaman içerisinde yoğunlaşır. Turizm faaliyetlerinin yapıldığı dönemin uzunluğu o bölgedeki iklim ve hava durumu özelliklerine bağlıdır. İklim ve termal konfor şartlarını belirleyebilmek için meteorolojik değişkenler kullanılarak bazı indisler geliştirilmiştir (Tzenkova vd., 2007). İklim konforu belirlemede kullanılan en yaygın indis Turizm İklim İndeksi (TCI)'dir. Deniz turizmi yapılan bir bölgede sıcaklığın yüksek, bulutluluğun ve rüzgarın az olması gerekiyken, kış turizmi yapılan bir bölgede de aranan öncelikli şart, sıcaklıklarının düşük ve kar yağışlı gün sayısının fazla olmasıdır (Doğaner, 2001). Mieczkowski (1985) tarafından turizm konforunun matematiksel olarak hesaplanabilmesi için iklim unsurlarını değerlendirebilecek bir iklim sınıflandırma yöntemi olan TCI tanımlanmıştır. Gelecek dönemler için iklim tahmini yapmak amacıyla meteorolojik değişkenlerin trend analizleri yapılmalıdır. Hesaplanan TCI değerlerine trend analizi yapıldığında değerlerin artış ya da azalışına göre bölgenin turizm özelliğini etkileyecek olan iklimin olumlu ya da olumsuz değişimi hakkında yorum yapılabilir.

TCI çok sayıda araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Amiranashvili vd. (2015), yapmış

oldukları bir çalışmada, Güney Kafkasya ülkelerinin başkentlerinde (Bakü, Tiflis, Erivan) TCI koşullarının ve turizm faaliyetleri açısından en uygun alanları belirlemeyi amaçlamışlardır. TCI değerlerinin, en yüksek olduğu başkent Bakü'dür ve en yüksek TCI değeri Haziran ayında hesaplanmıştır; TCI değerinin en düşük olduğu başkent ise Erivan'dır ve bu değer Aralık ayında hesaplanmıştır. Fang ve Jin (2015), yapmış oldukları bir çalışmada turizm mevsimselliğinde iklimin rolünü ve etkilerini değerlendirmişlerdir. TCI yöntemini kullanarak 1980 – 2010 yılları arasındaki dönem için Çin'deki çoğu bölgenin turizm ikliminin mevsimsel dağılımını incelemişlerdir. 1980 – 2010 dönemi için genel olarak ülkenin çoğunun turizm için elverişli olduğu, ilkbaharda kuzey ve kuzeybatı bölgelerinin iyi koşullara sahip olduğu ve kuzeydoğu, doğu ve güney bölgelerinin ise kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca mevsimsel olarak incelendiğinde, bölgenin yazın soğuk iklimden kaynaklı olarak mükemmel, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Platolar gibi yüksek düzlük alanların ise turizm açısından elverişli olmadığına karar vermişlerdir.

TCI, Türkiye için yapılan çalışmalarda da kullanılmıştır. Kum ve Gönençgil (2018), yaptıkları bir çalışmada, ülkemizin güneybatı sahillerindeki iklim konforunu belirlemeyi amaçlamışlardır. 1983-2006 yılları arasında sıcaklık, yağış, bağıl nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi değişkenleri kullanılarak Bodrum, Marmaris, Fethiye, Finike, Antalya ve Alanya Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) için TCI değerlerinin alansal ve zamansal analizini yapmışlardır. Samsun, ülkemizin Orta Karadeniz kıyısında konumlanmış olan eski bir yerleşim yeridir. Kıyı turizmi, doğa turizmi, dağ-yayla turizmi ve termal turizm için oldukça çekicidir (Yılmaz, 2009). Bu yüzden, Samsun için turizm bakımından iklimin elverişliliğinin incelenmesi önem arz etmektedir. Güçlü (2010), yaptıkları bir çalışmada, Sinop-Ordu illerinin kıyı kesimlerinin deniz turizm mevsiminin iklim koşullarıyla olan ilişkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda en elverişli güneşlenme şartlarını sağlayan şehir Samsun iken, en elverişsiz güneşlenme Ordu ilinde görülmektedir. TCI değerleri Mayıs-Eylül aylarında ortalama iyi kategorisindedir. Sinop ili diğer istasyonlar arasında daha yüksek TCI değerine sahip olup çok iyi kategorisinde yer almıştır.

Bu çalışmada ise sadece Samsun ilindeki Samsun Bölge (Bundan sonra Samsun olarak

kullanılacaktır) ve Bafra MGİ incelenmiş olup TCI değerlerinde trend olup olmadığına, hem Mann-Kendall trend testi hem de Şen Yenilikçi Trend Testi ile araştırılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde veri ve yöntem tanıtılacak, üçüncü bölümünde bulgular verilecek, son bölümünde ise sonuçlar değerlendirilecektir.

## 2. Veri ve yöntem

### 2.1 Çalışma alanı ve veri

Samsun ili, ülkemizin “Orta Karadeniz” olarak anılan coğrafi bölümünde konumlanmış olup 9.083

km<sup>2</sup>'lik bir yüz ölçümüne sahiptir. Yeşilirmak ve Kızılırmak nehirlerinin Karadeniz'e döküldüğü deltalar Samsun ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Coğrafi konum olarak 40° 50' ve 41° 51' kuzey enlemleri, 37° 08' ve 34° 25' doğu boylamları arasındadır (Şekil 1). Şehrin kuzeyinde Karadeniz doğusunda Ordu, batısında Sinop, güneyinde Tokat ve Amasya illeri yer alır. Samsun ili sahil kesimi düz bir arazi yapısına sahip iken iç kesimleri dağlık yer şekline sahiptir. Doğusunda Canik Dağları, batısında ise Çangal sıra dağları bulunur. Genel olarak ılıman bir iklime sahip olmasına karşın sahil kısımları ile iç bölgelerinin iklim özellikleri topografik özelliklerden kaynaklı farklılık gösterir (Hekimoğlu vd., 2007).



Şekil 1. Samsun ili haritası (Coğrafya Harita, 2021)

Bu çalışmada, TCI değerlerini hesaplamak için gerekli olan ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, yağış miktarı, güneşlenme süresi, minimum bağıl nem, ortalama bağıl nem ve rüzgar şiddeti verileri Samsun ve Bafra MGİ için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Veriler 1990 – 2019 yıllarını kapsamakta olup, günlük değerlerdir.

Kullanılan istasyonlara ait çeşitli bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü üzere; yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat), rüzgar şiddeti (km/saat) ve sıcaklık (°C) Samsun'da daha yüksek iken bağıl nem (%) ve yıllık toplam yağış miktarı (mm) Bafra MGİ' de daha fazladır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait bilgiler

İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yağış (mm)	Güneşlenme süresi (saat)	Rüzgar (km/saat)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
Samsun	41.3441	36.2563	590	5.7	2.1	15	71.8
Bafra	41.5515	35.9247	670	5.6	1.9	14.2	77.8

### 2.2 Turizm iklim indeksi (TCI)

Bu çalışmada, Mieczkowski (1985)'nin literatüre kazandırdığı Turizm İklim İndeksi (TCI) yöntemi kullanılmıştır. TCI yönteminde sıcaklık (°C), bağıl nem (%), yağış miktarı (mm), güneşlenme süresi

(saat) ve rüzgar şiddeti (km/saat) temel unsurlardır. TCI'nın nasıl hesaplandığı Denklem (1)'de gösterilmiştir. Mieczkowski bu yöntemle iklimi, turizm için kategorize etmiştir. Kullanılan sınıflandırma Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2:** Mieczkowski'nin TCI değerlerinin sınıflama şeması

TCI indekslerin sayısal değerleri	Açıklayıcı kategori
90-100	İdeal
80-89	Mükemmel
70-79	Çok iyi
60-69	İyi
50-59	Kabul Edilebilir
40-49	Marjinal
30-39	Elverişsiz
20-29	Çok Elverişsiz
10-19	Son Derece İmkansız
9- -9	İmkansız
-10- -20	İmkansız

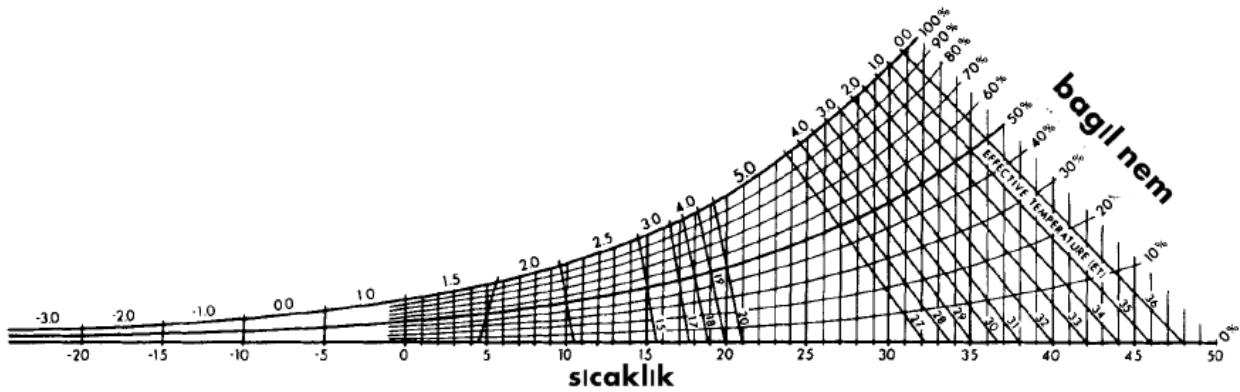
$$TCI = 2*(4CID + CIA + 2P + 2S + W) \quad (1)$$

Burada, CID (gündüz konfor indeksi) maksimum sıcaklık ve minimum bağıl nemin, CIA (günlük konfor indeksi) ise ortalama sıcaklık ve ortalama nemin Şekil 2'deki grafik yardımıyla okunmasıyla elde edilir. P (yağış miktarı) aylık ortalama yağış miktarın, S (güneşlenme süresi) günlük ortalama güneşlenme süresini, W (rüzgar hızı) ise ortalama rüzgar hızını kullanarak hesaplanan indisleri ifade etmektedir (Mieczkowski, 1985). İndisteki terimlerin açıklaması şu şekildedir:

**Termal Konfor İndisleri:** Nem oranı fazlalığının sıcaklıkların yüksek oldukları durumlarda termal

konfor üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Şekil 2'de sıcaklık ve bağıl neme bağlı bir derecelendirme yapılmıştır: CID ve CIA.

Gündüz konfor indeksi (CID), günlük maksimum sıcaklık ve minimum bağıl nem değişkenlerini birleştirir ve TCI'da %40 ağırlığa sahiptir. Günlük konfor indeksi (CIA), günlük ortalama sıcaklık ve ortalama bağıl nem değişkenlerini birleştirir ve TCI'da %10 ağırlığa sahiptir (Mieczkowski, 1985). Diyagramda kuru termometre sıcaklıkları ile bağıl nem değerleri kesiştirilip termal konfor indisleri elde edilir. Elde edilen indisler formülde ilgili yerlere yerleştirilir.

**Şekil 2.** TCI için termal konfor derecelendirme sistemi. (Mieczkowski, 1985)

**Yağış miktarı (P) indisi:** Turizm konforu için yağış önemli bir faktördür. Düzenli olarak çok miktarlarda yağış alan ve şiddetli fırtına olayları görülen bir bölge, hiç yağış almayan ya da az miktarda yağış alan bir diğer bölgeye göre tatil konforunu daha da sınırlandıracaktır. Tablo 3'te görüldüğü gibi aylık ortalama yağış miktarı arttıkça indisteki oran düşmektedir.

**Güneşlenme süresi (S) indisi:** Tatil beldelerinde güneş ışığı; güneş yanığı, cilt kanseri gibi bazı olumsuz sonuçlar doğursa bile turistler için önemli ve olumlu bir faktör olduğu bilinmektedir. Derecelendirme yapılırken de güneş ışığının ne kadar çok saat etkili olursa o bölge için turizm konforunun daha yüksek oranda olacaktır (Tablo 3).

**Rüzgar şiddeti (W) indisi:** Türbülans ve buharlaşma ile ısı transferini hızlandırdığı için kritik bir rol oynayan ve daha düşük sıcaklıklarda üşüme hissini arttıran bir faktördür. Mieczkowski (1985) tarafından yapılmış olan çalışmalarda

rüzgar turizm açısından olumsuz bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü gibi rüzgar hızı arttıkça indekse katkı sağlayan puan azalmıştır.

**Tablo 3.** Yağış (P), güneşlenme (S) ve rüzgar şiddeti (W) indisleri

Aylık toplam yağış (mm)	P	Günlük ortalama güneşlenme (saat)	S	Rüzgar hızı (km/saat)	W
0.0- 14.9 mm	5	10 saat ve üzeri	5	< 2.88	5
15.0-29.9 mm	4.5	9 saat- 9 saat 59 dakika	4.5	2.88-5.75	4.5
30.0- 44.9 mm	4	8 saat- 8 saat 59 dakika	4	5.76- 9.03	4
45.0-59.9 mm	3.5	7 saat- 7 saat 59 dakika	3.5	9.04- 12.23	3.5
60.0-74.9 mm	3	6 saat- 6 saat 59 dakika	3	12.24-19.79	3
75-89.9 mm	2.5	5 saat- 5saat 59 dakika	2.5	19.80-24.29	2.5
90.0-104.9 mm	2	4 saat- 4saat 59 dakika	2	24.30-28.79	2
105.0-119.9 mm	1.5	3 saat- 3saat 59 dakika	1.5	28.80-38.52	1
120.0-134.9 mm	1	2 saat- 2saat 59 dakika	1	>38.52	0
135-0-149.9 mm	0.5	1 saat- 1saat 59 dakika	0.5		
150.0 mm ve üzeri	0	1saatten daha az	0		

Uzun dönemli ortalamalar kullanılarak yapılan hesaplamalara göre, her iki MGİ'de de CID indisi Mayıs- Haziran-Eylül- Ekim aylarında maksimum sıcaklıkların etkisiyle en yüksek değerlerde hesaplanmıştır. CIA indisi ise ortalama sıcaklıklara bağlı biri indis olduğundan her iki istasyonda da Haziran ayında en yüksek değer hesaplanmıştır. Yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre daha az yağış alan Samsun ilinin her iki istasyonunda da P

indisine katkı en yüksek Haziran ayında, en düşük ise Ekim ayında olmuştur. S indisi, güneşlenme süresine bağlı olarak her iki istasyonda da Temmuz ayında en yüksek değeri almıştır. W indisine olan katkı hemen hemen bütün aylarda maksimum düzeydedir. TCI değerlerine bakıldığında; en yüksek TCI değeri Haziran ayında, en düşük Ocak ayında hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** MGİ'lerin İklim İndislerinin Aylık ve Yıllık TCI değerleri

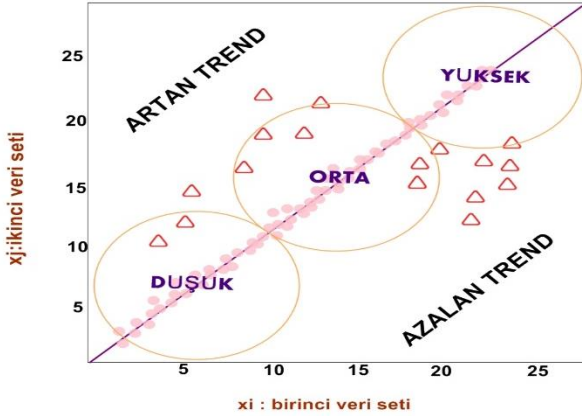
Samsun MGİ (1990-2019)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
<b>CID</b>	2.3	2.3	2.6	3	4.4	4.5	4	4.5	4.5	4.6	3.6	3	3.5
<b>CIA</b>	1.9	1.9	2.1	2	3.3	4.7	4.5	4.4	4.7	3.5	2.6	2	3.2
<b>P</b>	2.9	3.5	2.9	3	3.5	3.5	4.1	3.7	3.5	2.7	2.8	3	3.2
<b>S</b>	1.2	1.4	1.8	3	3.1	4.1	4.4	4.2	3.3	2.2	1.9	1	2.6
<b>W</b>	4.8	4.9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.9
<b>TCI</b>	48	52	54	64	77	85.8	84	79	83	74	62	50	<b>67.8</b>
Bafra MGİ (1990-2019)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
<b>CID</b>	2.1	2.3	2.5	3	4.5	4.5	3.9	3.7	4.5	4.4	3.3	2	3.5
<b>CIA</b>	1.8	1.8	2	2	3.2	4.6	4.6	4.5	4.5	3.4	2.5	2	3.1
<b>P</b>	3.1	3.6	3.7	4	3.9	4.1	4.5	4.1	3.6	2.9	3.1	3	3.6
<b>S</b>	1.4	1.4	1.8	2	3.1	3.9	4.2	4.3	3.4	2.2	1.6	1	2.6
<b>W</b>	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>TCI</b>	48	52	56	65	81	86.6	85	83	83	73	60	49	<b>68.4</b>

### 2.3 Şen yenilikçi trend testi (ŞYTT)

Şen Yenilikçi Trend Testi (bundan sonraki bölümlerde ŞYTT olarak kullanılmıştır.)

yönteminde zaman serisi halindeki meteorolojik veriler iki periyoda ayrılır. Elde edilen iki veri seti de küçükten büyüğe sıralanır. Koordinat sisteminde ilk periyota ait veri seti x-eksenine,

ikinci periyota ait veri seti de y-eksenine sıralanır. Eğer veriler 1:1 doğrusu üzerinde kalıyorsa *trend yok* demektir. Veriler, doğrunun üst kısmında yani üst üçgende yer alıyorsa *artan trend* olduğu; doğrunun alt kısmında yani alt üçgende yer alıyorsa *azalan trend* olduğu söylenebilir. Veriler değerlerine göre düşük, orta, yüksek olarak gruplandırılarak trend analizi yapılmaktadır (Şen, 2012).



Şekil 3. Şen yönteminin temsili bir grafiği (Şen, 2012)

#### 2.4 Mann-kendall (MK) trend testi

Meteorolojik değişkenlerin trend analizinde; gözlem ve ölçümlerle ilgili problemlerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Mann Kendall Trend Testi (Mann, 1945; Kendall, 1975) de parametrik olmayan bir test olup, meteorolojik verilerin belirli bir zaman periyodundaki trendlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Mann Kendall Trend Testi bundan sonraki bölümlerde MK Testi olarak yazılmıştır. Aşağıdaki formülle yöntemin istatistiği (S), ard arda gelen terimlerden önceki terim, ondan sonraki tüm terimlerden tek tek çıkartılır. Eğer önceki terim, kendinden sonraki tüm terimlerden küçük ise +1, büyük ise -1 kendinden sonraki tüm terimlere eşit ise 0 değerini alır. Daha sonra her bir terim için bu değerler (-1, 0, +1) toplanır. Toplama işlemi sonucunda S değeri elde edilir. S değerinin sıfırdan büyük olması artan trend olabileceğini, sıfırdan küçük olması azalan trend olabileceğini, sıfıra eşit olması ise bir trendin olmadığını göstermektedir.

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

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

S 'nin varyansının hesaplanması Z anlamlılık seviyesinin bulunması için önemlidir. Aşağıdaki formüle göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen Z değeri tabloda okunur. İkiyle çarpılır. Bu işlem sonucunda p değeri elde edilir. Elde edilen p değeri başta seçilen  $\alpha$  anlamlılık seviyesinden küçük ise trend var, büyük ise trend yok demektir. Başka bir deyişle; p, 0.01'den küçük ise 0.01 seviyesinde, 0.01 ile 0.05 aralığında ise 0.05 ile 0.1 aralığında ise 0.1 seviyesinde anlamlılık vardır. P değerinin 0.1'den büyük olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

$$s = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{eğer } s > 0 \\ 0 \quad \text{eğer } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{eğer } s < 0 \end{array} \right\} \quad (5)$$

Çalışmada yapılan hesaplamalar temel R (R Core team, 2018) paketleri, tidyverse (Wickham, 2017) paketi kullanılarak yapılmıştır. ŞYTT grafikleri ise ggplot (Wickham, 2016) paketi kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada yalnızca MK trend testi sonuçlarına göre anlamlı olan mevsimler ve aylardaki ŞYTT sonuçları ayrıntılı açıklanmıştır.

### 3. Bulgular

Samsun ve Bafra MGI'lerinin yıllık, mevsimlik, aylık TCI değerleri ve MK trend testi sonuçları Tablo 5'de gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar sonraki bölümlerde açıklanacaktır. Belirli bir anlamlılık seviyesinde olanlar koyu renk ve yıldız ile aşağıda belirtildiği gibi gösterilmiştir.

#### 3.1 Samsun MGI

##### 3.1.1 Samsun MGI'nin yıllık ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

Samsun MGI için hesaplanmış olan yıllık TCI değer aralığı 64-71 aralığında seyretmektedir. 30 yıllık ortalama TCI değeri 68'dir. Bu değer aralığı Mieczkowski'nin kategorize ettiği iklim sınıflandırmasında *iyi* iklim koşullarına karşılık gelmektedir. En yüksek yıllık ortalama TCI değeri 2013 yılında 71 olarak hesaplanmış olup *çok iyi* kategorisindeyken, en düşük TCI değeri 1991 yılında 64 ile *iyi* kategorisindedir.



**Tablo 5** MGİ'lerin yıllık, mevsimlik ve aylık uzun dönem ortalama TCI değerleri ve çalışma dönemi için MK trend testi sonuçları

	Samsun istasyonu				Bafra istasyonu			
	TCI	Kategori	S	P	TCI	Kategori	S	P
<b>Yıllık ort.</b>	68	iyi	0.13	0.326	68	iyi	0.45	<b>0.001**</b>
<b>Kış</b>	50	kabul edilebilir	-9.22E+03	0.957	50	kabul edilebilir	0.42	<b>0.001**</b>
<b>İlkbahar</b>	65	iyi	0.14	0.276	67	iyi	0.42	<b>0.001**</b>
<b>Yaz</b>	83	mükemmel	-0.06	0.643	85	mükemmel	0.16	0.212
<b>Sonbahar</b>	73	çok iyi	0.22	<b>0.089</b>	72	çok iyi	0.42	<b>0.001**</b>
<b>Ocak</b>	48	marjinal	-0.11	0.401	48	marjinal	0.29	<b>0.022*</b>
<b>Şubat</b>	52	kabul edilebilir	0.19	0.158	52	Kabul edilebilir	0.31	<b>0.017*</b>
<b>Mart</b>	53	kabul edilebilir	-0.09	0.464	56	Kabul edilebilir	0.19	0.134
<b>Nisan</b>	64	iyi	0.11	0.401	65	iyi	0.26	<b>0.049*</b>
<b>Mayıs</b>	77	çok iyi	0,23	<b>0.075</b>	81	mükemmel	0.35	<b>0.007**</b>
<b>Haziran</b>	85	mükemmel	3.08E+04	0.886	87	mükemmel	0.18	0.174
<b>Temmuz</b>	84	mükemmel	-0.08	0.555	85	mükemmel	0.21	0.124
<b>Ağustos</b>	79	çok iyi	-0.15	0.246	83	çok iyi	0.19	0.143
<b>Eylül</b>	83	mükemmel	0.22	<b>0.089</b>	83	mükemmel	0.51	<b>0.092</b>
<b>Ekim</b>	73	çok iyi	-0.04	0.720	73	çok iyi	0.32	<b>0.013*</b>
<b>Kasım</b>	62	iyi	6.44E+04	0.630	60	iyi	0.22	0.086
<b>Aralık</b>	50	kabul edilebilir	-0.04394	0.748	48	Kabul edilebilir	0.41	<b>0.001**</b>

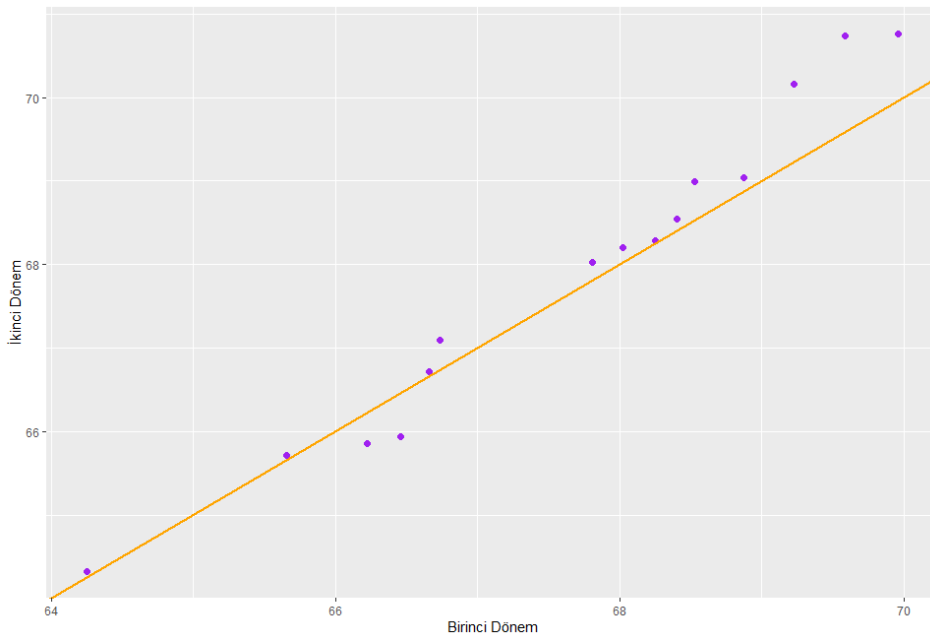
(**kalm\*\***): 0.01 seviyesinde anlamlı trend

(**kalm\***): 0.05 seviyesinde anlamlı trend

(**kalm**): 0.1 seviyesinde anlamlı trend

Yıllık ortalama TCI değerlerinin ŞYTT sonuçlarına göre; büyük değerlerin olduğu grup *artan trend* bölgesinde yer alırken orta değerler

trendsizlik çizgisine yakın artan trend bölgesindedir. Küçük değerlerin ise iki tanesi trendsizlik çizgisi üzerindeyken diğer ikisi de azalan trend bölgesindedir. (Şekil 4). MK trend testine göre; herhangi bir seviyede anlamlı olmayan artan trend söz konusudur (Tablo 5).



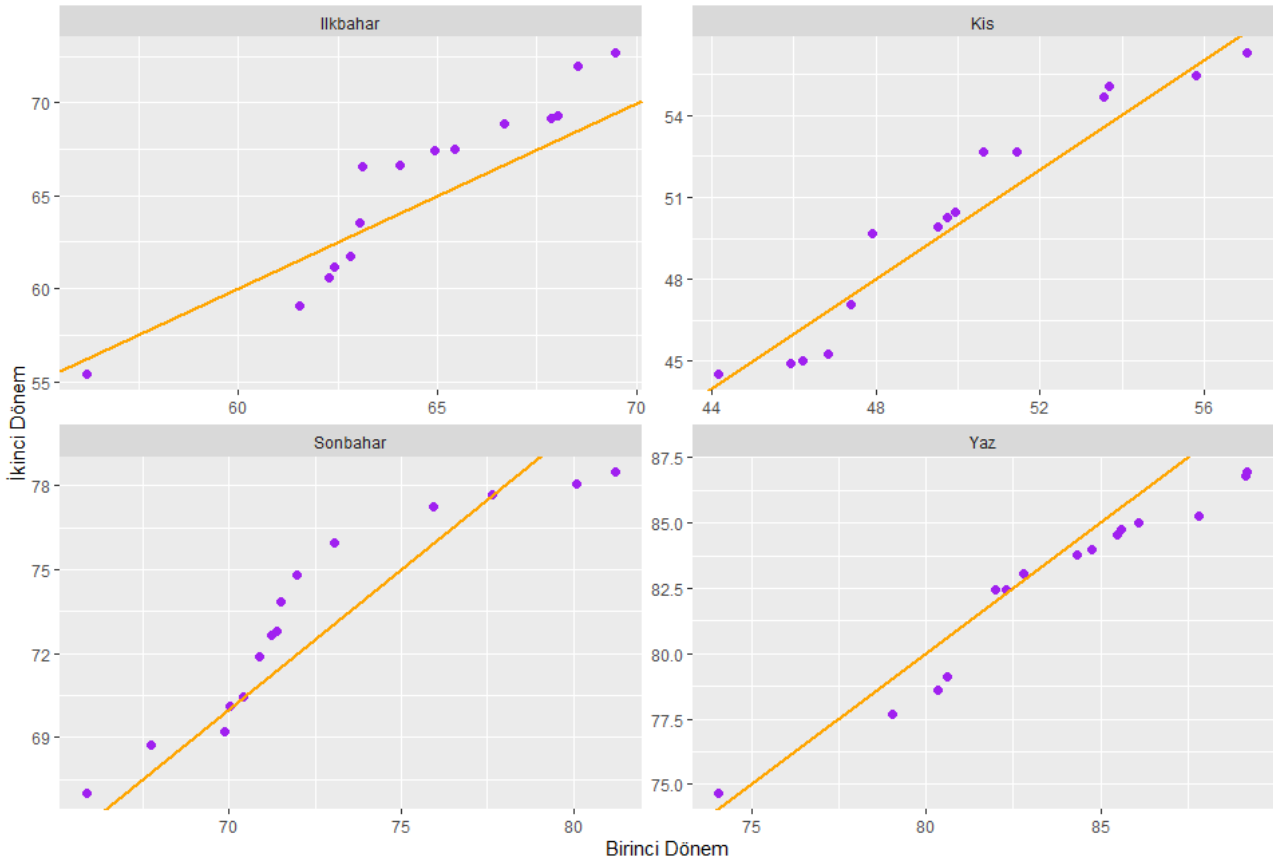
**Şekil 4.** Samsun MGİ yıllık TCI ortalamaları için ŞYTT

### 3.1.2 Samsun MGİ'nin mevsimlik ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

Samsun MGİ'nin TCI değerlerinin mevsimlik ortalamaları Şekil 5'te gösterilmiştir. Genel olarak bakıldığında en yüksek ortalama TCI değeri 83 ile yaz mevsiminde *mükemmel*, en düşük TCI değeri ise ortalama 50 ile kış mevsiminde *kabul edilebilir* olarak hesaplanmıştır. İlkbaharda ortalama 65 ile *iyi* sınıftayken, sonbaharda 73 değeri *çok iyi* sınıfta yer almıştır. En yüksek TCI değeri 2003 yılının yaz mevsiminde hesaplanırken, en düşük TCI değeri ise 1992 yılının kış mevsiminde hesaplanmıştır. Mevsim gruplarını ayrı ayrı

incelediğimizde MK trend testine göre istatistiksel olarak anlamlı trend sadece sonbahar mevsiminde bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde 0.1 seviyesinde anlamlı artan trend görülmektedir (Tablo 5).

ŞYTT göre; sonbahar mevsiminde; küçük değerlerden ikisi artan trend bölgesindeyken diğer ikisi de trendsizlik çizgisi üzerindedir. Büyük değerlerden ikisi azalan trend bölgesindeyken biri trendsizlik çizgisi üzerindedir. Orta gruptakilerde ise tüm değerler artan trend bölgesindedir ve bu grubun trend şiddetleri diğer gruplara göre daha fazladır (Şekil 5).

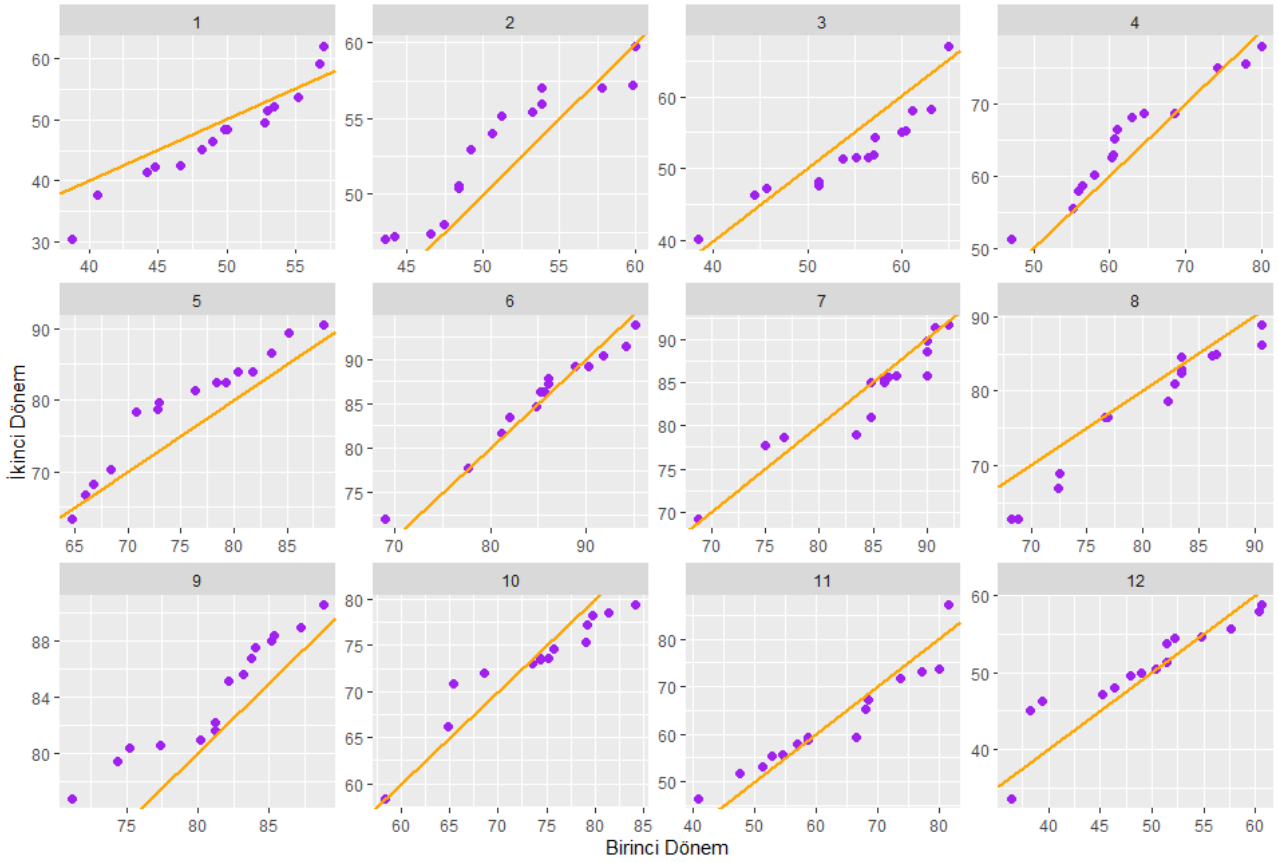


Şekil 5. Samsun MGİ mevsimlik TCI ortalamaları için ŞYTT

### 3.1.3 Samsun MGİ'nin aylık ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

Samsun MGİ'nin hesaplanmış olan aylık TCI değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek TCI değerleri Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşmiştir. En yüksek değer 2003 yılının Haziran ayında görülmüştür ve bu değer 95'dir ve en düşük TCI değerleri ise Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir ve en düşük değer 2018 yılının Ocak ayında hesaplanmıştır ve bu değer

30'dur. MK trend testine göre; Mayıs ve Eylül aylarında 0.1 seviyesinde anlamlı artan trend görülmektedir (Tablo 5). ŞYTT grafiği incelendiğinde; Mayıs ayında, en küçük değer azalan trend bölgesindedir. Bu değer haricinde tüm değerler artan trend bölgesindedir ve orta gruptaki değerlerin trend şiddeti daha yüksektir. Eylül ayında tüm gruplardaki değerler artan trend bölgesindedir. Küçük değerlerin trend şiddeti daha yüksektir. (Şekil 6).



Şekil 6. Samsun MGİ mevsimlik TCI ortalamaları için ŞYTT

### 3.2 Bafra MGİ

#### 3.2.1 Bafra MGİ'nin yıllık ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

Bafra MGİ için hesaplanmış olan aylık TCI değer aralığı 63-75 aralığında seyretmektedir. 30 yıllık ortalama TCI değeri 68'dir. Bu değer aralığı iyi iklim koşullarına karşılık gelmektedir. En yüksek yıllık ortalama TCI değeri 2013 yılında 75 olarak hesaplanmış olup *çok iyi* kategorisindeyken, en düşük TCI değeri 2011 yılında 63 ile *iyi* kategorisindedir.

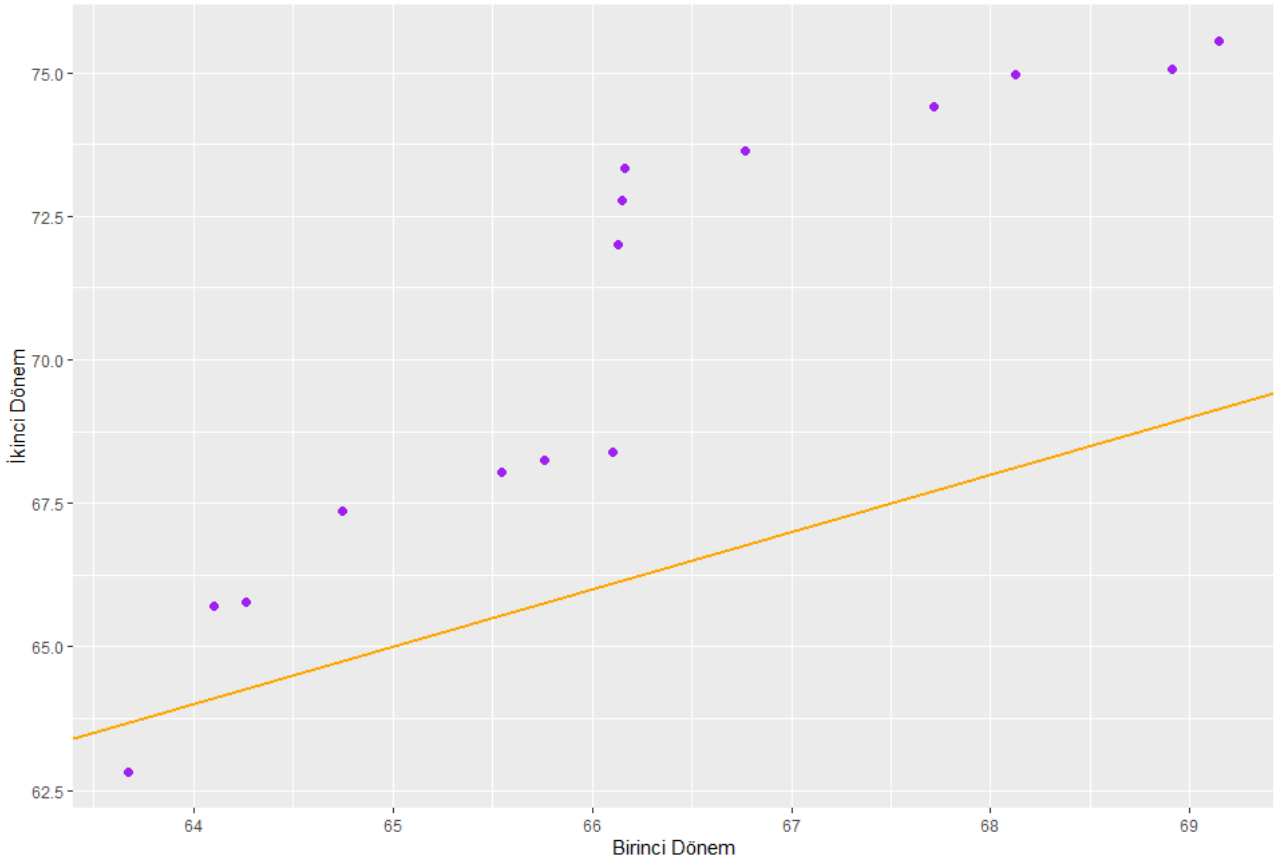
Yıllık ortalama TCI değerlerinin ŞYTT sonuçlarına göre, bütün gruplarda TCI değerleri *artan* bölgededir. Yalnızca en küçük değer azalan trend bölgesindedir (Şekil 7). Büyük ve orta değerlerin trendleri küçük değerlerden daha şiddetlidir. MK trend testine göre 0.01 seviyesinde anlamlı artan trend vardır (Tablo 5).

#### 3.2.2 Bafra MGİ'nin mevsimlik ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

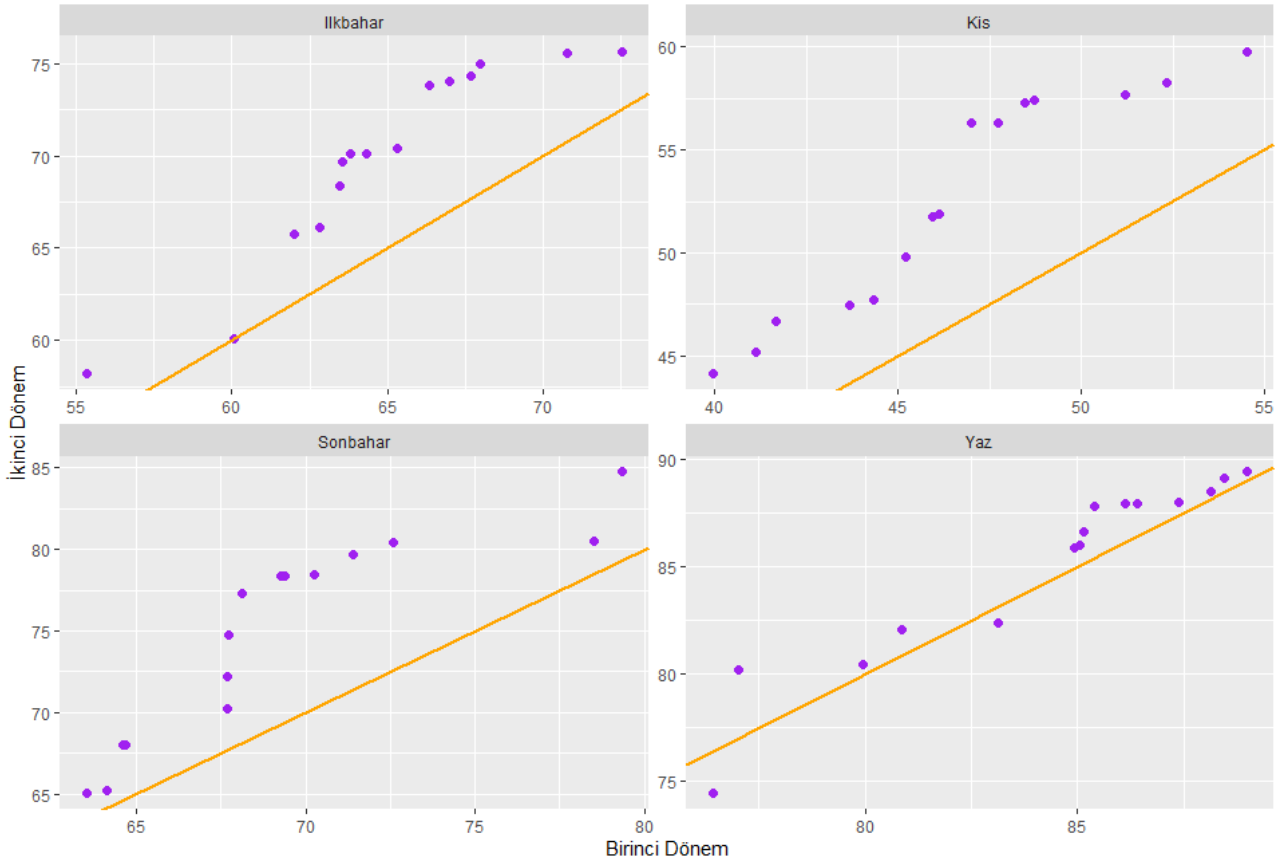
Bafra MGİ için hesaplanmış olan TCI değerlerinin mevsimlik ortalamalarına genel olarak

bakıldığında en yüksek ortalama TCI değeri 85 ile yaz mevsiminde *mükemmel*, en düşük TCI değeri ise ortalama 50 ile kış mevsiminde *kabul edilebilir* olarak hesaplanmıştır. İlkbaharda ortalama 67 ile *iyi* sınıftayken, sonbaharda 72 değeri *çok iyi* sınıfında yer almıştır. En yüksek TCI değeri 2003 yılının yaz mevsiminde 89 olarak hesaplanmışken, en düşük TCI değeri ise 1992 yılının kış mevsiminde 40 olarak hesaplanmıştır. Mevsim gruplarını ayrı ayrı incelediğimizde; MK göre kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde 0.01 seviyesinde anlamlı artan trend vardır (Tablo 5).

Bafra MGİ'nin mevsimlik ortalama TCI değerlerinin ŞYTT sonuçları incelendiğinde; kış mevsiminde, tüm gruplar artan trend bölgesindedir ve büyük değerlerin trend şiddeti daha fazladır. İlkbahar mevsiminde, büyük ve orta değerler artan trend bölgesindeyken küçük değerlerden bir tanesi trensizlik çizgisi üzerindedir. Sonbahar mevsiminde, tüm değerler artan trend bölgesindedir ve orta gruptaki değerlerin trend şiddeti daha yüksektir (Şekil 8).



Şekil 7. Baflra MGİ yıllık TCI ortalamaları için ŞYTT



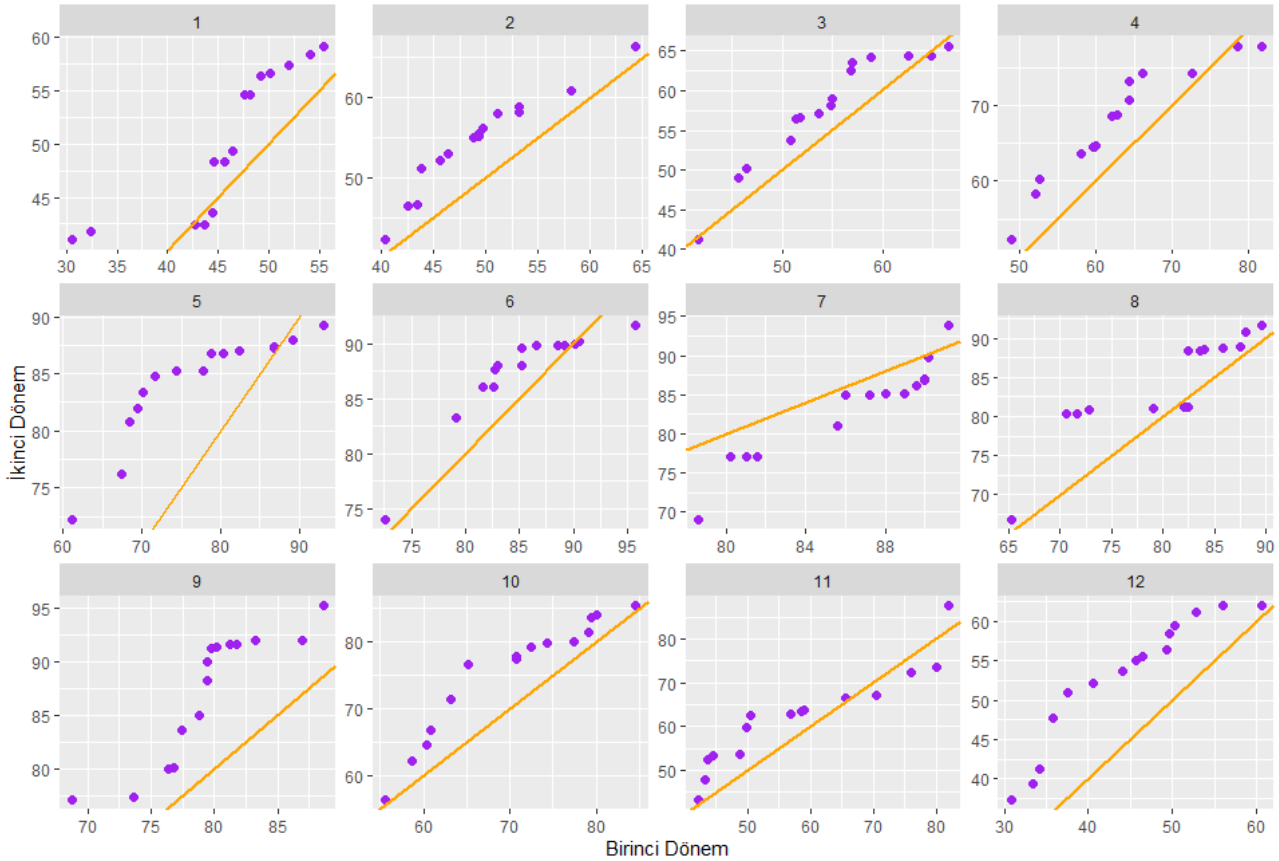
Şekil 8. Baflra MGİ mevsimlik TCI ortalamaları için ŞYTT

### 3.2.3 Bafra MGİ'nin aylık ortalama TCI değerleri ve ŞYTT

Bafra MGİ'de hesaplanmış olan aylık en yüksek TCI değerleri Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşmiştir. En yüksek değer 2003 yılının Haziran ayında görülmüştür ve bu değer 95'dir. En düşük TCI değerleri ise Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir. En düşük değer ise 2000 yılının Ocak ayında görülmüş olup 30'dur. Aylar MK trend testine göre ayrı ayrı incelendiğinde; Mayıs ve Aralık aylarında 0.01 seviyesinde; Ocak, Şubat,

Nisan ve Ekim aylarında 0.05 seviyesinde; Kasım ayında ise 0.1 seviyesinde anlamlı artan trend görülmektedir (Tablo 5).

Bafra MGİ'nin aylık TCI değerlerinin ŞYTT sonuçları incelendiğinde; Temmuz ayında azalan trend görülürken diğer tüm aylarda azalan trend görülmüştür. Şubat, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında tüm değer grupları için artan trend söz konusudur ve orta değerlerin trend şiddeti daha fazladır (Şekil 9).



Şekil 9. Bafra MGİ aylık TCI ortalamaları için ŞYTT

## 4. Sonuçlar

Samsun ilindeki istasyonların TCI değerlerinin trend analizini yapmak amacıyla Samsun ve Bafra Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında 1990-2019 yılları arasında gerçekleşen günlük ortalama ve günlük maksimum bağıl nem (%), günlük ortalama rüzgar şiddeti (km/saat), günlük ortalama güneşlenme süresi (saat), günlük toplam yağış (mm), günlük minimum ve günlük ortalama sıcaklık (°C) verileri alınarak bu verilerin aylık TCI değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan TCI değerlerinin yıllık, mevsimsel ve aylık ortalamaları alınmış, ŞYTT ve MK yöntemleri ile trend analizleri yapılmıştır.

TCI değerleri incelendiğinde; Samsun MGİ'de yıllık ortalama TCI değerinin 67.8 ile *iyi* sınıfta yer aldığı görülmüştür. En yüksek TCI değeri Haziran ayında ortalama 85 ile *mükemmel* iken, en düşük TCI değeri Ocak ayında ortalama 48 ile *marjinal* sınıfta yer alır. TCI değerlerinin mevsimsel ortalamaları büyükten küçüğe doğru yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış şeklinde sıralanmıştır. Bafra MGİ'de yıllık ortalama TCI değeri 67 ile *iyi* sınıfta yer aldığı görülmüştür. Aylık olarak, Haziran ayında 87 (*mükemmel*) ile en yüksek TCI değeri, Ocak ayında 48 (*marjinal*) ile en düşük TCI değeri hesaplanmıştır. TCI değerlerinin mevsimsel ortalamaları büyükten

küçüğe doğru yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış şeklinde sıralanmıştır.

Samsun ve Bafra MGI'de 30 yıllık TCI değerlerinin ortalamalarına MK uygulandığında Bafra MGI'de 0.01 anlamlılık seviyesinde artan trend olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki istasyonda da ortak olarak Sonbahar mevsiminde anlamlı seviyede artan trend görülürken Bafra MGI'nin İlkbahar ve Kış mevsimlerinde de 0.01 anlamlılık seviyesinde artan trend görülmüştür. Samsun'da Mayıs ve Eylül aylarında 0.1 anlamlılık seviyesinde artan trend görülmektedir Bafra MGI'de Mayıs ve Aralık ayında 0.01 anlamlılık seviyesinde; Ocak, Şubat, Nisan ve Ekim aylarında 0.05, Eylül ayında ise 0.1 anlamlılık seviyesinde artan trend görülmektedir. Özellikle bahar aylarında anlamlı seviyede artan trend görülmesi; turizm sezonunun bu aylarda daha konforlu ve turistler açısından daha çekici aylar olabileceği sonucunu öngörmemize neden olmuştur.

Samsun için ŞYTT sonuçları incelendiğinde; yıllık ortalama TCI değerleri yüksek ve orta değerler için artan trend bölgesindedir. Fakat trendsizlik eğrisinden çok uzakta değildirler. Sonbahar mevsiminde verilerin büyük kısmı artan trend bölgesindedir. Mayıs ve Eylül ayları için ŞYTT değerlerinin, Mayıs ayındaki en küçük değer hariç artan trend bölgesinde olduğu görülmüştür. Bafra MGI'nin ŞYTT sonuçları incelendiğinde en küçük değer hariç, bütün değerlerin artan trend bölgesinde olduğu görülmektedir. Mevsimsel olarak, yaz mevsimi hariç diğer üç mevsimin bütün değerleri artan trend bölgesindedir. Aylık olarak, Temmuz ayında azalan trend görülürken diğer tüm aylarda azalan trend görülmüştür. Şubat, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında tüm değer grupları için artan trend söz konusudur ve orta değerlerin trend şiddeti daha fazladır.

Her ne kadar TCI, yıl içerisinde her ay için aynı kabullerle hesaplanıyor olsa da indisin turizm konforunu etkileyen başka meteorolojik değişkenlerin de göz önüne alınarak geliştirilmesi veya düzeltilmesi faydalıdır. Bu sebeple yağış şiddeti (mm/saat) gibi zamansal çözünürlüğün toplam yağış miktarına göre daha yüksek veya kurak periyottaki yağışlı gün sayısı gibi turizm konforu açısından daha anlamlı iklim göstergelerinin göz önünde bulundurulmasında fayda vardır. Samsun ilinde yaz turizminin en yoğun yaşandığı Temmuz ve Ağustos aylarında aynı zamanda deniz suyu sıcaklıkları da en yüksek değerlerde gözlenmektedir. Deniz suyu sıcaklıklarının yüksek seyretmesi, konvektif aktivitenin ve kararsızlığın, şiddetli hava

olaylarının oluşma potansiyelinin arttığı bilinmektedir. Bahsi geçen aylarda Samsun ilinde turizm yoğunluğu yaşandığı ancak şiddetli hava olaylarının (boran, hortum vb.) yaşandığı da bilinmektedir. Turizm indeksi uzun dönemli ortalamaların dikkate alındığı dolayısıyla ekstremelerin hesaplamalarda etkisinin daha az olduğu bir yaklaşımdır. Bu sebeple kısa vadeli şiddetli hava olaylarının turizm indeksine dahil edilmesi gerekmektedir.

### Teşekkür

Yazarlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne çalışmada kullanılan veriyi hazırladığı için teşekkür eder.

### Kaynaklar

- Amiranashvili G., Chargazia, K.Z. and Matzarakis, A. (2015). Comparative characteristics of the tourism climate index in the south cucasus countries capitals (Baku, Tbilisi, Yerevan). *Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Atmosphere, Ocean, and Space Plasma*, 17b(2014), 14-25.
- Coğrafya Harita (2021, 10 Şubat). Erişim adresi [http://cografyaharita.com/haritalarim/41\\_samsun\\_ili\\_haritasi.png](http://cografyaharita.com/haritalarim/41_samsun_ili_haritasi.png)
- Doğaner, S., (2001). *Türkiye Turizm Coğrafyası*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Fang, Y. and Yin, J., (2015). National assessment of climate resources for tourism seasonality in china using the tourism climate index. *Atmosphere* 6(2), 183-194. <https://doi.org/10.3390/atmos6020183>.
- Güçlü, Y., (2010). Sinop-Ordu kıyı kuşağında iklim konforu ve deniz turizmi mevsiminin iklim koşullarına göre belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 15(23), 119-144.
- Hekimoğlu, B., Altındeğer, M. ve Demirbaş, A. R., (2007). Samsun ilinin fiziki durumu ve avantajı. *Samsun Tarım Orman Bölge Müdürlüğü*, [https://Samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Tarimsal\\_strateji/Samsun\\_ilinin\\_fiziki\\_durumu\\_ve\\_avantajlari.pdf](https://Samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Tarimsal_strateji/Samsun_ilinin_fiziki_durumu_ve_avantajlari.pdf)
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. London: Charles Griffin.
- Kum, G. ve Gönençgil, B. (2018). Türkiye'nin güneybatı kıyılarında turizm iklim konforu. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17, 70-87.
- Mann, H.B. (1945). Non-Parametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.



- Mieczkowski, Z., (1985). The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism. *Canadian Geography*, 29, 220 - 233.
- R Core Team, (2018). *R: A Language and Environment For Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Şen, Z., (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrological Engineering*, 17(9), 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556).
- Türkeş, M., (2001). *Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma*. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri 1, 187-205.
- Tzenkova, A., Ivancheva, J., Koleva, E. and Videnov, P. (2007). The human comfort conditions at Bulgarian black sea side. *3rd International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Freiburg, Almanya.
- Wickham H. (2016). *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.
- Wickham H. (2017). Tidyverse: easily install and load the 'tidyverse'. R package version 1.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>.
- Yılmaz, A. ve Şahin, K., (2009). Samsun ve yakın çevresinde turizm ve turist algılaması. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(7).

## ***Lactobacillus paracasei* biyokatalizörü ile enantiyosaf (S)-1-(4-metoksifenil) etanol üretimi**

*Production of enantiopure (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol by Lactobacillus paracasei biocatalyst*

**Engin ŞAHİN<sup>\*1,a</sup>**

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 69000, Bayburt

• Geliş tarihi / Received: 03.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.08.2021

### **Öz**

Bu çalışmada, 4-metoksiasetofenonun enantiyoseçici indirgenmesinde yedi biyokatalizörün indirgeme kapasitesi tam hücre biyokatalizör olarak araştırılmıştır. *Lactobacillus paracasei* BD28'in en iyi indirgeme kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur. pH, inkübasyon süresi, çalkalama hızı ve sıcaklık gibi farklı parametrelerin enantiyomerik aşırılık ve dönüşüm üzerindeki etkileri araştırıldı. Tam hücre biyokatalizörü *Lactobacillus paracasei* BD28 kullanılarak, genel alerjik yanıt için tedavi fonksiyonuna sahip sikloalkil [b] indollerin sentezinde kullanılabilen (S)-1-(4-metoksifenil) etanol, gram ölçeğinde, yüksek verimli ve enantiyomerik olarak saf halde üretilmiştir. Gram ölçekli üretim gerçekleştirildi ve % 95 verimle optik olarak saf formda 9,69 g (S)-1-(4-metoksifenil) etanol üretildi. Bu, kimyasal işlemlere kıyasla (S)-1-(4-metoksifenil) etanol üretimi için ucuz, temiz ve çevre dostu bir işlemdir.

**Anahtar kelimeler:** Asimetrik indirgenme, Biyokatalizör, Kiral alkol, *Lactobacillus paracasei*, (S)-1-(4-metoksifenil) etanol

### **Abstract**

In this study, the reductive capacity of seven biocatalysts were investigated as whole-cell biocatalyst in the enantioselective reduction of 4-methoxyacetophenone. *Lactobacillus paracasei* BD28 was found to have the best reductive capacity. Effects of different parameters such as pH, incubation time, agitation speed and temperature, on enantiomeric excess and conversion were investigated in a bioconversion. (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol which, can be employed for the synthesis of cycloalkyl [b] indoles which have the treatment function for general allergic response, was produced in gram-scale, high yield and enantiomerically pure form using whole-cell biocatalyst of *Lactobacillus paracasei* BD28. The gram-scale production was carried out, and 9.69 g of (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol in optically pure form was produced with 95 % yield. This is a cheap, clean and eco-friendly process for production of (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol compared to chemical processes.

**Keywords:** Asymmetric reduction, Biocatalyst, Chiral alcohol, *Lactobacillus paracasei*, (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol

<sup>\*a</sup> Engin Şahin; esahin@bayburt.edu.tr, Tel: (0505) 691 35 61, orcid.org/0000-0002-3723-1705

## 1. Giriş

Kiralite, başta ilaç üretimi olmak üzere çok çeşitli endüstrilerde oldukça fazla dikkat çekmektedir. İlaç endüstrisinde kiraliteye artan ilgi ilaç formülasyonlarının üretiminde tekli enantiyomerlerin kullanılmasını talep eden düzenleyici kurumlar tarafından körüklenmektedir, çünkü enantiyomerlerin her biri farklı farmakolojik aktivitelere ve farklı biyolojik etkilere sahiptirler (Drayer, 1986; Murzin vd., 2005). Bundan dolayı son yıllarda tek enantiyomer halinde ilaç satışlarında hızlı ve sürekli bir büyüme olmuştur. Bu bilgiler ışığında, enantiyoseçici üretim metotlarının geliştirilmesi hızlı bir şekilde artmıştır ve yeni metotların geliştirilmesine devam edilmektedir (Ni ve Xu, 2012). Kiral sekonder alkoller ilaçların, zirai kimyasalların ve çoğu fonksiyonel molekülün sentezi için oldukça önemli öncü maddelerdir (Patel, 2002; Gamenara ve de Maria, 2009). Örneğin, kiral 1-(4-metoksifenil) etanol'un her iki enantiyomeride çeşitli ilaçların sentezi için anahtar bir hammadedir. (S)-1-(4-metoksifenil) etanol ((S)-2), difenilhidramin hidroklorür ve loratadin dahil olmak üzere histaminlerin sentezi için önemli bir öncüdür (MacLellan ve Clayden, 2011; Brondani vd., 2012). Ayrıca, (S)-2, genel alerjik tepki için tedavi fonksiyonuna sahip olan sikloalkil [b] indollerin sentezi için kullanılabilir (Hillier vd., 2004, 2005). (R)-1-(4-metoksifenil) etanol ((R)-2), ibuprofen ve naproksen gibi aril propiyonik asit anti-enflamatuar ve analjezik ilaçların sentezi için temel bir öncü olarak kullanılabilir (Llona-Minguez vd., 2015). Bu nedenle, kimyasal veya biyolojik metotlar kullanılarak enantiyosaf olarak (S)-2 ve (R)-2'nin sentezlenmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Günümüzde enantiyosaf kiral sekonder alkoller kimyasal ve biyokatalizörler kullanılarak sentezlenebilmektedirler (Honda vd., 2017). Biyokatalizörler kiral bileşiklerin hazırlanması için çok başarılı olan ve yaygın olarak kullanılan bir metottur. Biyokatalizörlerin kimyasal katalizörlere kıyasla birçok avantajı vardır. Kimyasal katalizörler toksik atık ve çok çeşitli yan ürünler üretirken, biyokatalizörler biyolojik olarak parçalanabilir ve hafif reaksiyon koşulları altında kimyasal reaksiyonları gerçekleştirmek için temiz ve çevre dostu bir yol ve substrat için büyük bir seçicilik sağlamaktadırlar (Gotor-Fernández vd., 2006; Contesini vd., 2010). Biyokatalitik reaksiyonlar, birbirlerine göre hem avantajları hem de dezavantajları olan izole edilmiş saf enzimler ve tam hücre biyokatalizörler kullanılarak gerçekleştirilebilir (Kafarski ve Lejczak, 2004). İzole edilmiş saf enzimler, belirli reaksiyonları katalize ederek yan ürün oluşumunu

veya ürün bozulmasını ortadan kaldırır ve ürünün saflaştırması genellikle çok daha kolaydır (Kafarski ve Lejczak, 2004). Ancak, saf enzimler çok pahalıdır ve çok kararsızdır. Buna ek olarak, enzimler tek bir reaksiyonu katalize ederken, çok sayıda endüstriyel ürün, tam hücreler kullanılarak bir dizi biyokimyasal reaksiyondan sonra elde edilir. Genel olarak, enzim saflaştırma, pahalı koenzim ve koenzim rejenerasyonu ilavesini önlemek için biyokatalizör olarak izole enzimler yerine tam mikrobiyal hücreler tercihli olarak kullanılmaktadır (Ishige vd., 2005). Tüm hücre biyokatalizörler çok daha kararlı, verimli, daha kolay ve uygun maliyetli olarak kullanılabilirler. Bu yüzden biyokatalizör olarak tam hücreler tercih edilmektedir (Şahin, 2017). Literatürde, 4-metoksiasetofenon (1)'in biyokatalitik asimetrik indirgenmesine odaklanan, immobilize mikrobiyal hücreler tarafından katalize edilen enantiyomerik olarak saf (S)-2'nin biyokatalitik sentezi hakkında bazı raporlar bulunmaktadır ve bunlar sınırlı sayıda (Lou vd., 2009; Wang vd., 2009; Świzdor vd., 2010). Bitki hücre kültürleri, mikrobiyal hücreler ve ketoreduktazlar gibi çeşitli biyokatalizörler, 1'in (S)-2'ye enantiyoseçici olarak indirgenmesi için uygulanmıştır (Lou vd., 2011; Wei vd., 2016). Bununla birlikte, düşük ürün verimi (%63) ve enantiyomerik aşırılıkta (ee) (%77) (S)-2 elde edilmiştir. Rasemik 2'nin çeşitli biyokatalizörler kullanılarak (S)-2'ye asimetrik olarak yükseltildiği ve yüksek ee'lerin elde edildiği çeşitli çalışmalarda mevcuttur (Wang vd., 2009; Xu vd., 2015; Wei vd., 2016). Bununla birlikte, bu yaklaşım %50 teorik verim ile sınırlıdır (Zong vd., 2019). Bu nedenle, (S)-2 ve (R)-2'yi daha yüksek verim, ee ve daha ekonomik olarak üretmek için kullanılacak bir tam hücre biyokatalizörü geliştirmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada daha önce boza içeceğinden elde edilmiş 7 farklı laktik asit bakterisi 4-metoksiasetofenon (1)'in asimetrik indirgenmesinde biyokatalizör olarak kullanılabilir potansiyelleri değerlendirilmiştir. En iyi indirgeme kapasitesine sahip biyokatalizör belirlendikten sonra enantiyoseçiciliğe etki eden karıştırma hızı, pH, sıcaklık ve reaksiyon süresi gibi biyokatalitik indirgenme koşulları sistematik olarak optimize edilerek seçicilik üzerine etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada kullanılan kimyasallar ve MRS kültür ortamı Sigma-Aldrich'ten temin edildi. Elde edilen ürünün karakterizasyonu Bruker 400 MHz NMR kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen ürünün enantiyomerik aşırılığı (ee) Agilent 1260

model HPLC'de kiral kolon OD-H kullanılarak belirlenmiştir. Ürünün optik rotasyonu Bellingham+Stanley, ADP 220 model, dijital spektropolarimetre ile ölçülmüştür. Merck 60 silika jel (70-230), kolon kromatografisinde kullanılarak ürünün saflaştırma işlemi yapılmıştır. Reaksiyonların dönüşümleri bir miktar ham ürünün silikajel ihtiva eden küçük bir kolondan süzülmesi sonucunda HPLC analizi yapılarak keton pikinin alkol piki ile karşılaştırılması sonucu belirlenmiştir.

### 2.1. Çalışmada kullanılan biyokatalizörler ve kültür şartları

Bu çalışmada kullanılan biyokatalizler *Lactobacillus plantarum* BY14, *Lactobacillus fermentum* BY35, *Enterococcus faecium* BY48, *Lactobacillus paracasei* BD28, *Lactobacillus paracasei* BD101, *Lactobacillus paracasei* BD71 ve *Lactobacillus paracasei* BD87 daha önce boza'dan izole edilmiştir. (Dertli vd., 2016). Biyokatalizörler MRS (%2 glikoz, Twen 80 1 ml l<sup>-1</sup>, maya ekstraktı [Difco] 5 g l<sup>-1</sup>, lab lemco [Oxoid] 8 g l<sup>-1</sup>, pepton [Oxoid] 10 g l<sup>-1</sup>, sodyum asetat.3H<sub>2</sub>O 5 g l<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 2 g l<sup>-1</sup>, triamonyum sitrat 2 g l<sup>-1</sup>, tuz çözeltisi [MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O %11.5 (w/v)] ortamında 37°C'de 2 gün geliştirildi ve daha sonra yıkama işlemi yapıldı. Yıkanan biyokatalizörler liyolifizatör ile dondurularak kurutuldu. Kurutulmuş biyokatalizörler kullanılmak üzere oda sıcaklığında muhafaza edilmişlerdir.

### 2.2. Asimetrik biyoindirgenme için genel reaksiyon yöntemi

250 mL'lik bir erlen içeresine 100 mL MRS besiyeri ve üzerine 20 mg kuru *Lactobacillus paracasei* BD28 ilave edildi. Karışım çalkalayıcı inkübatörde 30°C'de 2 saat 150 rpm'de karıştırıldı. Daha sonra karışımın pH'sı 1M'lık HCl kullanılarak 6.0'a ayarlandı ve aynı şartlar altında 2 saat daha karıştırılmaya devam edildi. Substrat **1** (1 mmol) reaksiyon karışımına ilave edilerek çalkalayıcı inkübatörde 30°C, 150 rpm'de 36 saat daha karıştırıldı. Karıştırma işlemi bittikten sonra karışımın kolay bir şekilde ekstrakte edilebilmesi için santrifüjleme işlemine tabi tutuldu. Santrifüj işlemi sonrasında elde edilen sıvı kısım sodyum klörür ile doyuruldu. Daha sonra doyurulan sulu faz diklor metan ile ekstrakte edildi. Ekstraksiyon sonrasında elde edilen diklor metan fazı susuz magnezyum sülfat ile kurutuldu ve organik çözücü evaporasyon ile uzaklaştırıldı. Ham ürün kolon

kromatografisinde hekzan-etil esat (90:10) çözücü karışımı ile saflaştırıldı. Elde edilen kiral alkol (**S**)-**2**'nin yapısı NMR ile karakterize edildi ve enantiyomerik aşırılık OD-H kiral kolon kullanılarak HPLC ile belirlendi.

### 2.3. Gram ölçekte sentez yöntemi

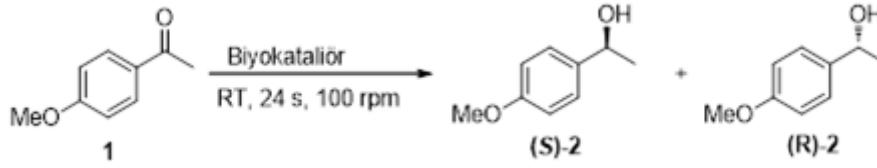
5 L'lik bir erlen içeresine 1 L'lik steril taze hazırlanmış MRS besiyeri ilave edilerek üzerine 200 mg kuru *Lactobacillus paracasei* BD28 eklendi ve 2 saat 30°C'de 150 rpm'de çalkalayıcı inkübatörde 2 saat karıştırıldı. Daha sonra pH 6'ya ayarlandı ve aynı şartlar altında 2 saat daha karıştırıldı. Bu karıştırma işleminden sonra, 4-metoksi asetofenon (67 mmol, 10.06 g) reaksiyon karışımına ilave edildi ve reaksiyon bittiğinde karakterizasyon ve saflaştırma işlemi yukarıda belirtildiği gibi gerçekleştirildi.

### 2.4. Asimetrik biyoindirgenme ve reaksiyon şartlarının optimizasyonu

Daha önce boza'dan izole edilen 7 farklı biyokatalizörün 4-metoksiasetofenon **1**'in 1-(4-metoksifenil) etanol **2**'ye asimetrik indirgenme reaksiyonunda indirgeyici kapasiteleri değerlendirildi (Tablo 1). Biyokatalitik indirgenme, 20 mg kuru biyokatalizörün 100 mL'lik taze MRS ortamında süspanse edilip üzerine 1 mmol substrat **1**'in ilave edilip 100 rpm'de 24 saat oda sıcaklığında karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu değerlendirme reaksiyonlarının sonucunda dönüşüm ve enantiyomerik aşırılık bakımından en iyi biyokatalizör olarak *Lactobacillus paracasei* BD28 belirlendi. Belirlenen bu biyokatalizör kullanılarak seçiciliğe etki eden biyoindirgenme reaksiyon şartları optimize edilmiştir (Tablo 2). Bu optimize şartlar altında biyokatalizörün endüstriyel olarak kullanılabilirliğini test etmek için gram ölçekte substratların asimetrik indirgenmesi gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular

En iyi biyokatalizörü belirlemek için asimetrik indirgenme reaksiyonları 20 mg kuru bakterinin 100 ml taze hazırlanmış MRS besiyeri içeresine ilave edildi ve 2 saat oda sıcaklığında, 100 rpm'de çalkalayıcı inkübatörde karıştırıldı. Daha sonra karışımın üzerine 1 mmol **1** eklendi ve aynı şartlar altında 24 saat karıştırıldı ve sonuçlar analiz edilerek en iyi biyokatalizör belirlendi (Tablo 1).

**Tablo 1.** 4-metoksi asetofenon (1)'in asimetrik biyoindirgenmesinde en iyi biyokatalizörün belirlenmesi

Biyokatalizör	Dönüşüm <sup>a</sup> [%]	Verim <sup>b</sup> [%]	ee <sup>c</sup> [%], (S) <sup>d</sup>
<i>Lactobacillus plantarum</i> BY14	49	47	50
<i>Lactobacillus fermentum</i> BY35	51	48	55
<i>Enterococcus faecium</i> BY48	61	55	51
<i>Lactobacillus paracasei</i> BD28	74	71	75
<i>Lactobacillus paracasei</i> BD101	59	56	68
<i>Lactobacillus paracasei</i> BD71	71	68	59
<i>Lactobacillus paracasei</i> BD87	53	48	18

Reaksiyon şartları: biyokatalizör 20 mg, substrat 1 mmol, RT, 24 s, 100 rpm. <sup>a</sup>Dönüşümler kiral HPLC ile belirlendi, <sup>b</sup>izole edilen verim, <sup>c</sup>enantiyomerik aşırılıklar kiral OD-H kolon kullanılarak HPLC ile belirlenmiştir, <sup>d</sup>Konfigürasyonlar ölçülen çevirme açılarının literatürdeki değerleri ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

4-metoksi asetofenon'un 1-(4-metoksifenil) etanol 2'ye biyokatalitik asimetrik indirgenmesinde en iyi indirgenme potansiyeline sahip *Lactobacillus paracasei* BD28 biyokatalizörü belirlendikten sonra bu biyokatalizör kullanılarak reaksiyonun

dönüşümü, ürünün seçicilik ve verimine etki eden reaksiyon koşulları (pH, karıştırma hızı, sıcaklık ve inkübasyon süresi) kapsamlı bir şekilde araştırılarak optimizasyonları yapılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** *Lactobacillus paracasei* BD28 biyokatalizörü kullanılarak asimetrik indirgenme şartlarının optimizasyonu

pH			Sıcaklık			İnkübasyon süresi			Karıştırma Hızı		
Dönş. (%) <sup>a</sup>	ee (%) <sup>b,c</sup>		°C	Dönş. (%) <sup>a</sup>	ee (%) <sup>b,c</sup>	Saat	Dönş. (%) <sup>a</sup>	ee (%) <sup>b,c</sup>	rpm	Dönş. (%) <sup>a</sup>	ee (%) <sup>b,c</sup>
4.5	74	75 (S)	RT	88	91 (S)	24	95	96 (S)	100	99	98 (S)
5.5	80	79 (S)	28	94	92 (S)	36	99	98 (S)	150	99	99 (S)
6	88	91 (S)	30	95	96 (S)	48	99	89 (S)	200	65	54 (S)
6.5	81	80 (S)	32	90	78 (S)	60	87	71 (S)	250	61	41 (S)
7	77	71 (S)	34	83	69 (S)	72	79	65 (S)			
7.5	65	63 (S)	36	78	54 (S)						

<sup>a</sup>Dönüşümler kiral HPLC ile belirlendi, <sup>b</sup>enantiyomerik aşırılıklar kiral OD-H kolon kullanılarak HPLC ile belirlenmiştir, <sup>c</sup>Konfigürasyonlar ölçülen çevirme açılarının literatürdeki değerleri ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

Reaksiyon şartları optimize edildikten sonra bu optimize şartlar altında biyokatalizör miktarının dönüşüm, enantiyomerik aşırılık ve verim üzerine etkisi araştırıldı (Tablo 3).

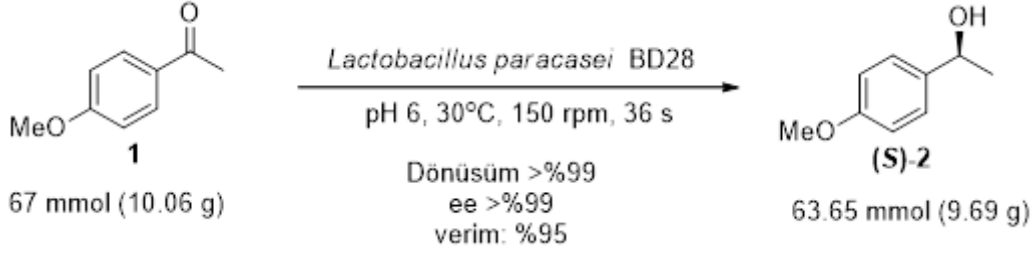
**Tablo 3.** Biyokatalizör miktarının dönüşüm ve seçiciliğe etkisi

Biyokatalizör miktarı (mg)	Dönüşüm (%)	ee (%)	Verim (%)
10	82	79	77
15	91	82	79
20	>99	>99	95
25	89	79	80
30	82	65	77
35	79	62	71
40	77	58	69
45	68	54	61
50	65	51	58
55	67	47	61

Reaksiyon şartları: pH 6, 30°C, 150 rpm, 36 h

Reaksiyon optimizasyon şartları belirlendikten sonra bu optimizasyon şartları altında biyokatalizörün endüstriyel olarak kullanılabilirliğini göstermek için değişik gram

skalada substrat kullanılarak biyokatalizörün dönüşüm ve enantiyomerik aşırılığında herhangi bir değişiklik olmadan maksimum ne kadar substratı indirgeyebileceği tespit edildi (Şekil 1).



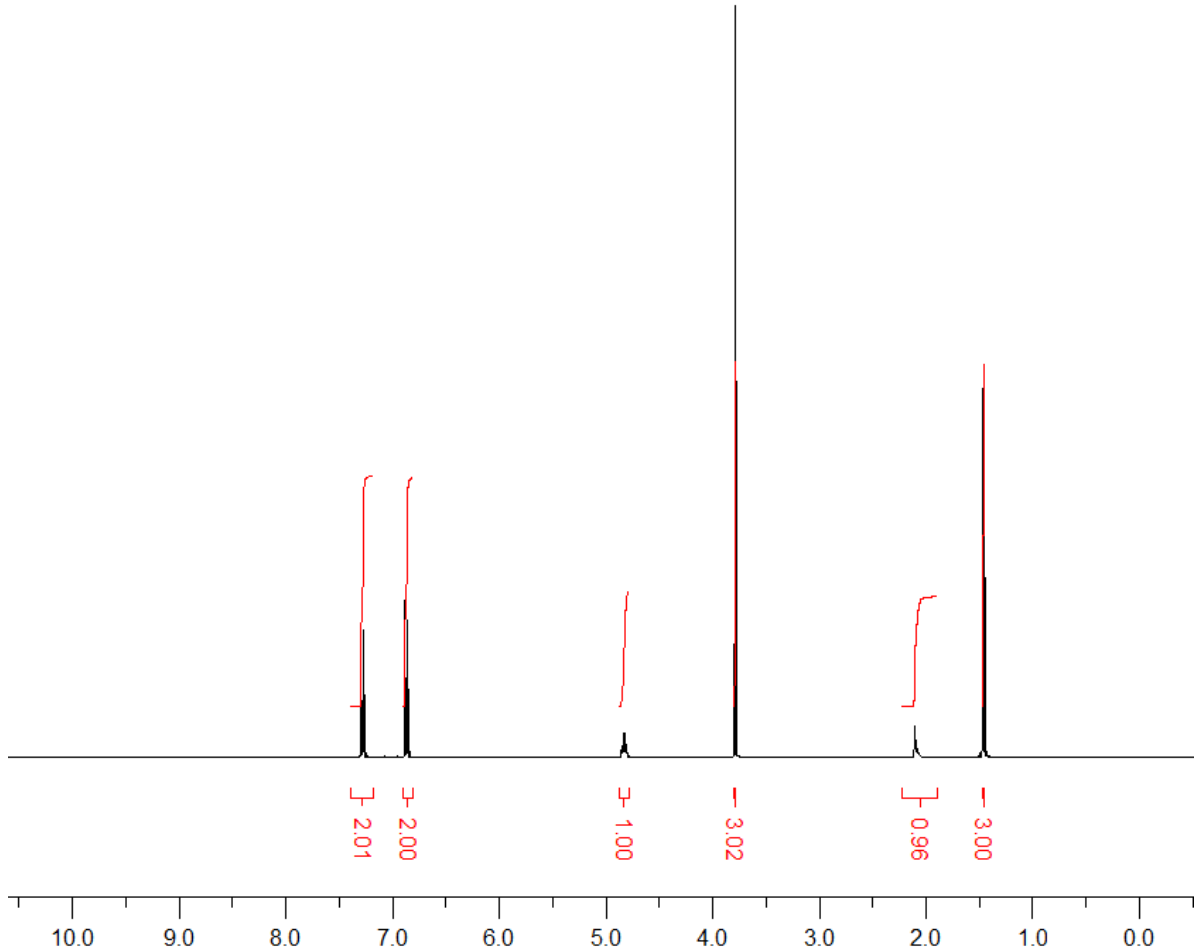
Şekil 1. (S)-1-(4-metoksifenil)ethanol'ün gram ölçekte sentezi

### 3.1. Kiral sekonder alkol (S-2)'nin spektral verileri

#### 3.1.1. (S)-1-(4-methoxyphenyl)ethanol ((S)-2) (Şahin, 2017)

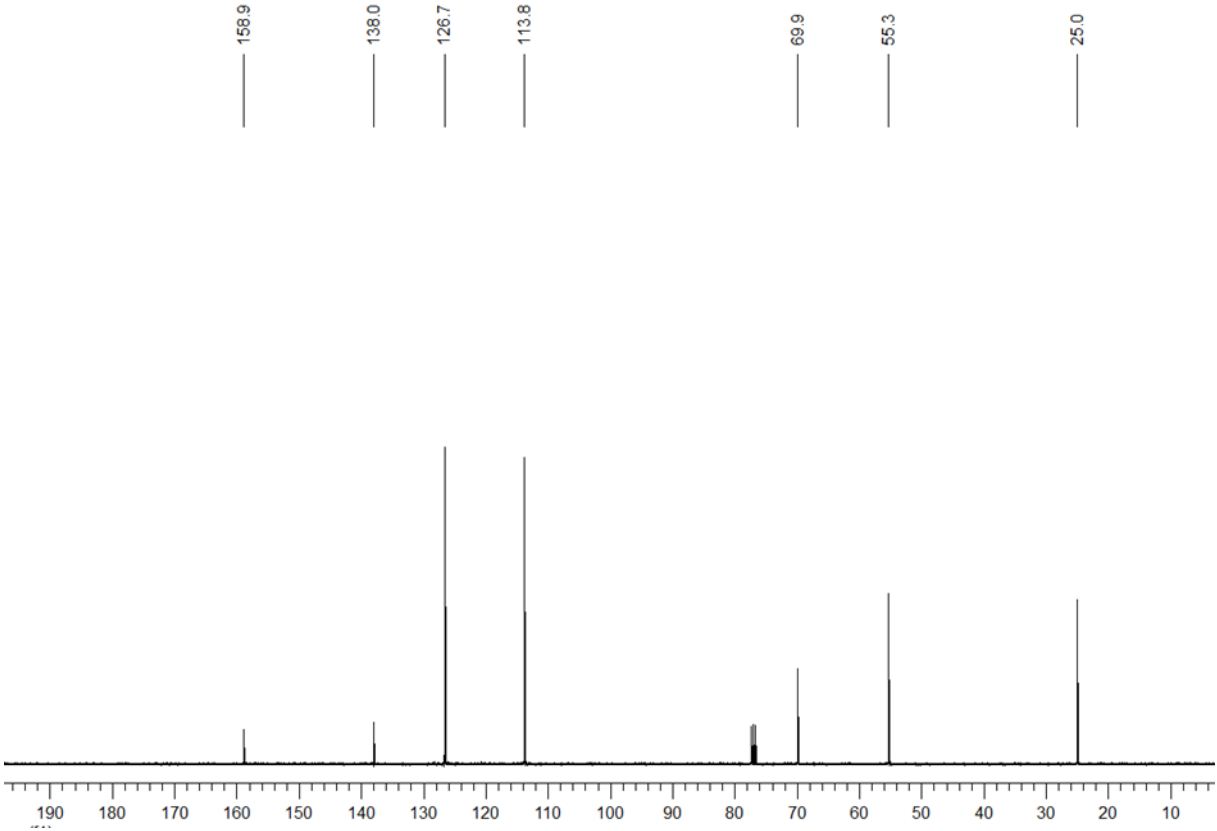
Renksiz sıvı, verim %95;  $^1\text{H-NMR}$  (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  = 7.30-7.27 (m, 2H), 6.89-6.85 (m, 2H), 4.83 (q,  $J$  = 6.4 Hz, 1H), 3.79 (s, 3H), 2.11 (bs, OH), 1.46 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H) (Şekil 2);  $^{13}\text{C-NMR}$  (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  158.9, 138.0, 126.7, 113.8,

69.9, 55.3, 25.0 (Şekil 3);  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = -61.6 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), >99% ee; Lit.  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +3.7 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ) R enantiyomer ve %6 ee için ölçülen değer (Şahin, 2017); HPLC koşulları: kirali OD-H kolon, 220 nm, akış kızı: 0.8 mL/dk, *i*-PrOH/*n*-hekzan 5:95,  $t_{\text{R}}$  (S enantiyomer) 17.7 dk. (Şekil 4 (rasemik alkol 2'nin HPLC kromatogramı); Şekil 5). Substrat 1'in HPLC analiz şartları (S)-2 ile aynıdır ve ketonun alıkonma zamanı 11.2 dk. (Şekil 6).

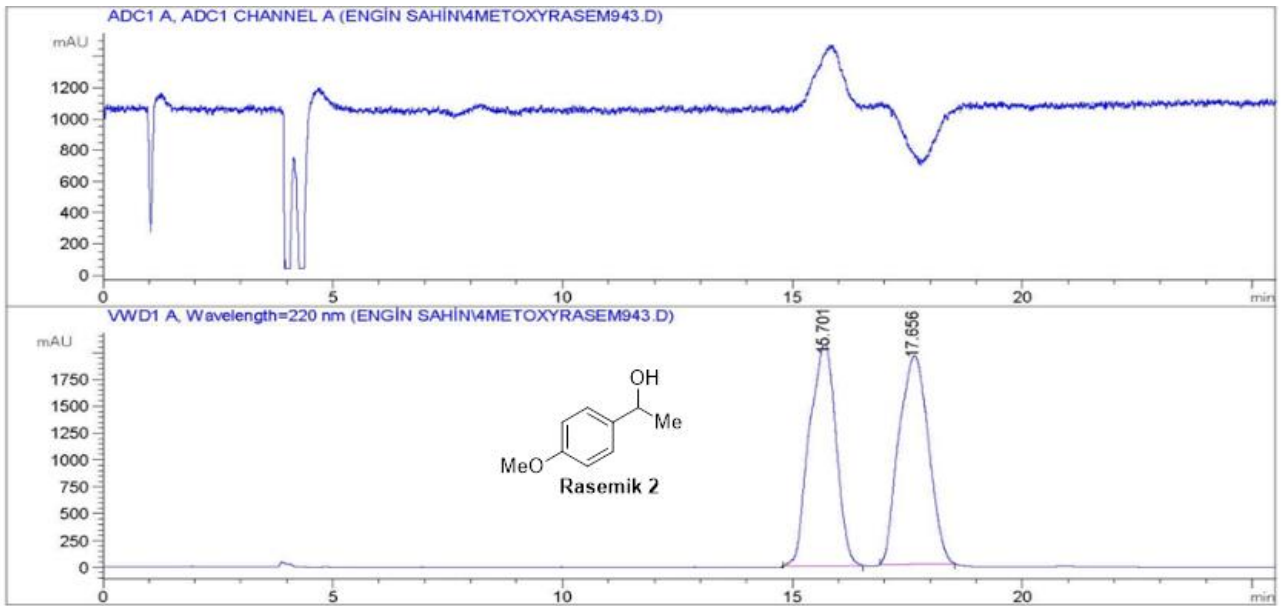


Şekil 2. (S)-2'nin  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu



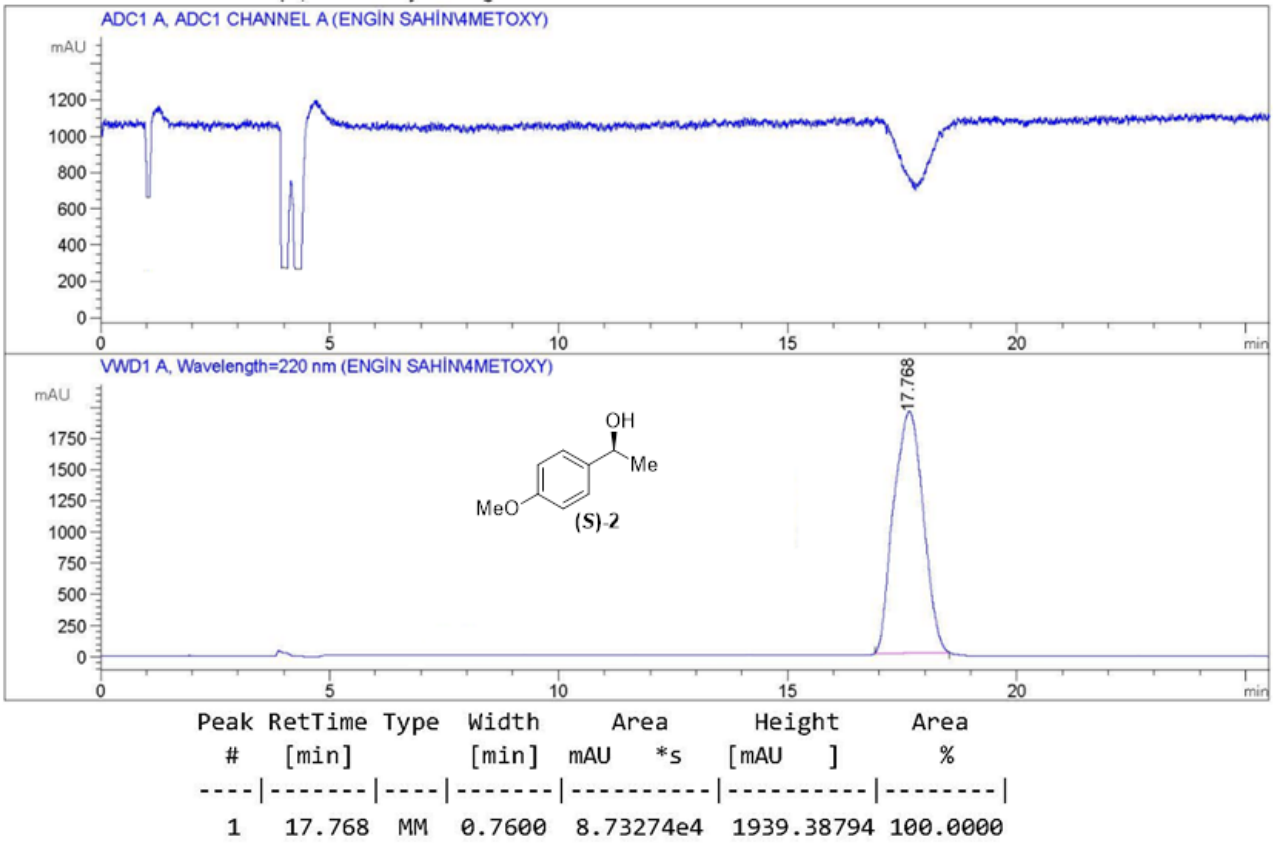


Şekil 3. (S)-2'nin <sup>13</sup>C-NMR spektrumu

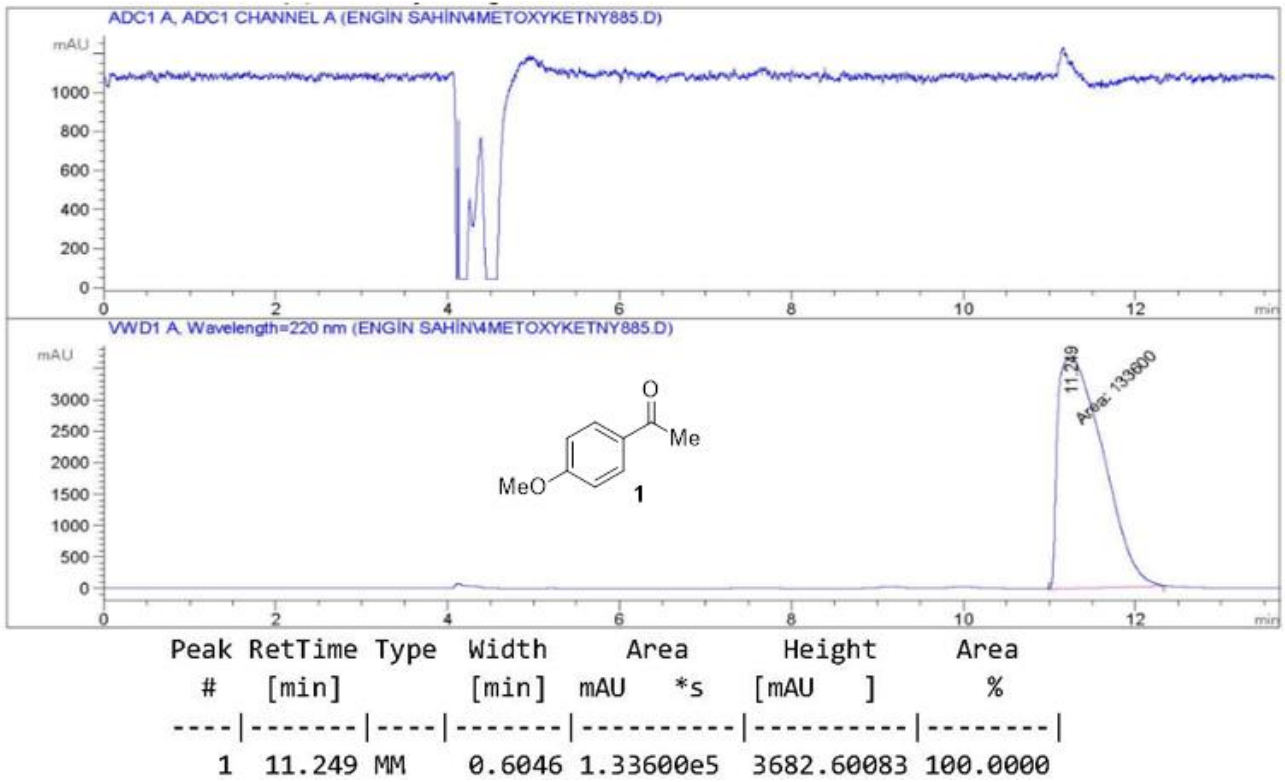


Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	15.701	MM	0.6596	8.07666e4	2040.82080	48.0774
2	17.656	MM	0.7500	8.72264e4	1938.29895	51.9226

Şekil 4. Rasemik alkol 2'nin HPLC kromatogramı



Şekil 5. (S)-2'nin HPLC kromatogramı



Şekil 6. Substrat 1'in HPLC kromatogramı

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çeşitli biyokatalizörlerin taranması sonucu arzulanan ee'yi ve dönüşümü elde etmek organik kimya için önemli bir yoldur (Matsuda vd., 2009). Bununla birlikte literatür iyi bir biyokatalizörün sahip olması gereken özellikleri tanımlamıştır (Matsuda vd., 2009). İyi bir biyokatalizöre fermentasyonun optimizasyonu kullanılarak ulaşılabilir. Biyokatalizörlere olan ilginin artmasından dolayı, bilinen mevcut biyokatalizörler hala sınırlıdır ve bu nedenle yeni ve geliştirilmiş aktivitelere sahip yeni biyokatalizörlerin keşfedilmesi hayati önem taşımaktadır. Tablo 1'den açıkça görülmektedir ki kullanılan 7 farklı biyokatalizör %49'dan %74'e kadar değişen bir dönüşüm oranı ve %18'den %75'e kadar değişen enantiyomerik aşırılıklarda (S)-2'yi üretmişlerdir (Tablo 1). Çeşitli biyoindirgenme reaksiyonlarından elde edilen enantiyomerik aşırılık ve dönüşüm değerleri, taranan 7 biyokatalizörden *Lactobacillus paracasei* BD28'nin en iyi ee'yi ve dönüşümü verdiğini ortaya koymaktadır. Bundan dolayı dönüşüm (%74) ve enantiyomerik aşırılık bakımında (%75) en iyi değere sahip olan *Lactobacillus paracasei* BD28 en iyi biyokatalizör olarak seçildi ve bundan sonraki reaksiyonlara bu biyokatalizör kullanılarak devam edildi. Reaksiyon koşulları, kiral bir alkolün başarılı bir şekilde üretilmesi için gereklidir ve pH, sıcaklık, inkübasyon süresi ve çalkalama hızı gibi parametrelerin optimizasyonu yüksek dönüşüm ve enantiyomerik aşırılığa ulaşmak için önemlidir (Tablo 2) (Pereira, 1998). İlk parametre olarak pH'nın dönüşüm ve seçiciliğe etkisinin araştırılması yapılmıştır. pH'nın, tam hücrelerin kullanıldığı biyokatalitik reaksiyonların seyrinde anahtar bir rol oynadığı bilinmektedir ve aşağıda belirtildiği şekilde etkiler yapabilir. a) pH, reaksiyona dahil olan enzimlerin aktivitesini ve enantiyoseçiciliğini etkiler. b) Koenzim rejenerasyonunu etkiler ve bu da substratların biyoindirgenmesini etkiler. c) Reaksiyona dahil olan substratların, ürünlerin ve enzimlerin iyonik durumunu değiştirir. d) Enzimin aktif bölgesinin substrat ile bağlanmasını etkiler (Guo vd., 2010; Luo vd., 2011; Cui vd., 2018). pH'nın etkisinin araştırılması için, 20 mg kuru biyokatalizör, 1 mmol substrat, 100 rpm, oda sıcaklığında (RT) ve 24 saat reaksiyon koşulları altında değişik pH'larda (4.5-7.5) reaksiyonlar gerçekleştirilerek pH'nı seçiciliğe etkisi araştırıldı (Tablo 2). Açık bir şekilde tablo 2'de görüldüğü gibi pH hem seçicilik hem de dönüşüm üzerine etkili olduğu görülmektedir. pH değerinin 6'nın üzerine çıktığı durumlarda hem dönüşüm hem de seçicilik

düşmektedir. Bu durum yukarıda da belirtildiği gibi enzimin üç boyutlu yapısının değişmesi sonucu enzim aktif merkezinin substrat ile yeterince etkileşememesi sonucu seçicilik ve dönüşümün düşmesi ile açıklanabilir. pH 6 olduğu durumda en iyi dönüşüm (%88) ve en iyi seçicilik (%91) değerlerine ulaşıldığı için optimum pH 6 olarak belirlenmiştir. Sıcaklık, çoğu enzimin aktivitesi, seçiciliği, kararlılığı ve bir reaksiyonun dinamik denge durumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, biyoindirgenme reaksiyonları farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilerek ikinci parametre olarak sıcaklığın dönüşüm ve enantiyomerik aşırılık üzerine etkisi araştırıldı (Tablo 2). pH 6 olarak optimize edildikten sonra bu pH değerinde, 100 rpm ve 24 saat reaksiyon süresi şartları altında sıcaklığın substratın dönüşümü, ürünün ee'si ve verimi üzerine etkisini belirlemek için farklı sıcaklıklarda (RT-36°C) reaksiyonlar yapılmıştır. Sıcaklığın 30°C'nin üzerine çıktığında hem dönüşüm hem de seçicilik değerleri düşmektedir. Bu değerlerdeki düşüş yüksek sıcaklıklarda biyokatalizörün aktivitesinin azalması ile açıklanabilir. Dönüşüm ve enantiyomerik aşırılık bakımından en iyi değerle 30°C'de elde edildiği için 30°C optimum sıcaklık olarak belirlenmiş ve bundan sonraki reaksiyonlar bu sıcaklıkta yapılmıştır. pH değerinin 6 ve sıcaklığın 30°C olduğu ve karıştırma hızının 100 rpm olduğu koşullar altında üçüncü parametre olan inkübasyon süresinin seçicilik ve dönüşüm üzerine etkisini incelemek için farklı inkübasyon sürelerinde (24-72 saat) reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'den de görüldüğü gibi reaksiyon süresinin 36 saatten fazla olduğunda hem seçiciliğin hem de dönüşümün düştüğü görülmektedir. Bu değerlerdeki düşme süre arttıkça enzimin aktif bölgesinin şeklinin değişebileceği hem de enzim aktivitesinin azalması ile açıklanabilir. Inkübasyon süresi için en iyi dönüşüm (%99) ve en iyi enantiyomerik aşırılık (%98) 36 saatte elde edilmiştir ve bundan dolayı optimum inkübasyon süresi olarak 36 saat belirlenmiştir. Genel olarak, çalkalama hızı, biyoindirgenme sürecinde substratların ve ürünlerin partikül transfer oranını etkileyebilir ve daha sonra dönüşüm ve verimi etkiler. Bu nedenle, çalkalama hızının biyoindirgenme üzerindeki etkilerini araştırmak oldukça önemlidir. Bundan dolayı, karıştırma hızı enzimin yapısını değiştirdiği için son parametre olarak optimizasyonu yapılmıştır. pH'nın 6, sıcaklığın 30°C ve inkübasyon süresinin 36 saat olduğu reaksiyon şartları altında farklı karıştırma hızları altında (100-250 rpm) reaksiyonlar yapılarak dönüşüm ve enantiyomerik aşırılık üzerine etkisi değerlendirilmiştir (Tablo 2). Karıştırma hızının

150 rpm'den fazla olduğu durumlarda seçicilik ve dönüşüm oranı azalmaktadır. Bu azalma karıştırma hızı yüksek olduğunda biyokatalizörün yapısının değişmesi sonucu aktivitesinin düşmesi ile açıklanabilir. Reaksiyonun tamamen dönüştüğü ve ürünün enantiyomerik aşırılığının %99'dan büyük olduğu çalkalama hızı 150 rpm'dir. Bundan dolayı optimum çalkalama hızı 150 rpm olarak belirlenmiştir. Sistematik olarak yapılan reaksiyon optimizasyon işlemi sonucunda en iyi biyoindirgenme reaksiyon koşulları (sıcaklık 30°C, 150 rpm, pH 6, inkübasyon süresi 36 saat) belirlenmiştir. Tam hücre biyokatalizörlerinde, biyokatalizör miktarı yalnızca reaksiyon hızını, dönüşümü, seçiciliği doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda kütle transferi sınırlamasını da başlatabilir. Bu nedenle, uygun miktarda biyokatalizör kullanarak biyokatalitik reaksiyonların gerçekleştirilmesi son derece önemlidir (Pu vd., 2011). Bu amaçla, 10 ila 55 mg arasında değişen miktarlarda biyokatalizörler kullanılarak optimize edilmiş koşullar altında çeşitli deneyler gerçekleştirildi (Tablo 3). Biyokatalizör miktarı 20 mg'a kadar kullanıldığında dönüşüm ve ee'nin arttığı, ancak miktar 20 mg'dan fazla olduğunda hem dönüşüm hem de ee'nin azaldığı görülmüştür. Örneğin biyokatalizör miktarı 25 mg ve 30 mg olarak kullanıldığında ee'nin sırasıyla % 79 ve % 65'e düştüğü görülmüştür. Bu durum, daha önce literatürde belirtildiği gibi, reaksiyon ortamındaki biyokatalizörün artması ile NADPH miktarının değişmesi sonucu biyokatalizörün seçiciliğinin değişmesi ile açıklanabilir (Zhimin vd., 2018). Bundan dolayı bu biyokatalitik asimetric indirgenme için uygun biyokatalizör miktarı 20 mg olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın son amacı, enantiyosaf kiral alkolün yeşil yöntemle gram ölçeğinde sentezlenmesi endüstriyel uygulamalar için son derece önemli olduğundan, belirlenen optimum biyoindirgenme koşullarını kullanarak (S)-2'nin gram ölçeğinde sentezini gerçekleştirmektir. Substrat konsantrasyonunun, ürünün ee'si ve substrat'ın dönüşümü üzerinde bir etkisi olduğu bilinmektedir. Literatürde, daha yüksek substrat konsantrasyonunun, hücre toksisitesine ve ürün/substrat inhibisyonuna neden olarak biyotransformasyonu azaltabileceği rapor edilmiştir (Xie vd., 2009; Singh vd., 2012). Bu nedenle, maksimum ee ve dönüşüm elde etmek için optimum substrat konsantrasyonunu belirlemek çok önemlidir. Substrat konsantrasyonu, reaksiyonun dönüşümünü ve seçiciliğini etkilemiştir çünkü hücreler, substrata karşı farklı afiniteye sahip farklı türde redüktazlar içerir.

Ayrıca, büyük miktarlarda substrat kullanılması hücre toksisitesine ve substrat ürün inhibisyonuna neden olabilir (Roy vd., 2003). Bu nedenle, optimum substrat konsantrasyonunun belirlenmesi çok önemlidir. Optimize edilmiş koşullar altında substrat konsantrasyonunun 10-80 mmol aralığında değiştirilmesiyle bir dizi deney gerçekleştirildi. Ürünün en iyi ee'si (>% 99) ve tam dönüşüm (>%99), 67 mmol (10.06 g)/1L substrat 1 konsantrasyonu ile elde edildi (Şekil 1). Optimize edilmiş koşullar altında substrat 1 (67 mmol), >% 99 ee ve % 95 verimle (S)-2 (63.65 mmol, 9.69 g)'ye dönüştürüldü. Dönüşüm ve ee, 67 mmol'den daha yüksek konsantrasyonda keton kullanılması ile azaldı. Dönüşüm ve ee'deki bu azalma substratın toksisitesinin bir sonucu olarak enzimin aktivitesindeki azalma ile açıklanabilir.

Sonuç olarak, *Lactobacillus paracasei* BD28'in mükemmel dönüşüm ve enantioseçicilik ile 1'in asimetric biyoindirgenmesi için çok önemli bir biyokatalizör olduğu gösterilmiştir. Difenilhidramin hidroklorür ve loratadin dahil olmak üzere antihistaminlerin sentezi için önemli bir öncü olarak kullanılabilen (S)-2, *Lactobacillus paracasei* BD28 kullanılarak gram ölçeğinde, mükemmel verimde ve enantiyomerik olarak saf formda sentezlendi. Bu çalışma, daha yüksek substrat toleransı (10.06 g /1L) ve verim (% 95) gibi avantajlar sağlamıştır. Bu sonuçlar, mevcut yöntemin gram ölçeğinde (S)-2'nin yeşil sentezi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu biyokatalitik indirgenme, çevre dostu reaksiyon koşulları nedeniyle optik olarak saf (S)-2'nin sentezi için büyük önem taşımaktadır. *Lactobacillus paracasei* BD28 kullanılarak 1'in katalitik asimetric indirgenmesi, kimyasal işlemlere kıyasla ucuz, çevreye zarar vermeyen ve kolayca ölçeklendirilebilen bir metottur. Böylece, ilaç öncüsü olarak kullanılacak enantiyo saf (S)-2'nin elde edilmesi için yeni bir biyokatalizör literatüre kazandırılmıştır.

## Teşekkür

Biyokatalizörleri temininden dolayı Dr. Enes Dertli'ye (Yıldız Teknik Üniversitesi) ve HPLC analizlerinden dolayı Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarına teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Brondani, P.B., Guilmoto, N.M., Dudek, H.M., Fraaije, M.W. and Andrade, L.H. (2012). Chemoenzymatic approaches to obtain chiral-centered selenium compounds. *Tetrahedron*, 68, 10431-10436.  
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2012.09.087>

- Contesini, F.J., Lopes, D.B., Macedo, G.A., da Graça Nascimento, M. and de Oliveira Carvalho, P. (2010). *Aspergillus* sp. lipase: potential biocatalyst for industrial use. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 67, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2010.07.021>
- Cui, Y.H., Wei, P., Peng, F., Zong, M.H. and Lou, W. Y. (2018). Efficient biocatalytic stereoselective reduction of methyl acetoacetate catalyzed by whole cells of engineered *E. coli*. *RSC Advances*, 8, 9970-9978. <https://doi.org/10.1039/C8RA00883C>.
- Dertli, E., Mercan, E., Arıcı, M., Yılmaz, M.T. and Sağdıç, O. (2016). Characterisation of lactic acid bacteria from Turkish sourdough and determination of their exopolysaccharide (EPS) production characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.030>.
- Drayer, D.E. (1986). Pharmacodynamic and pharmacokinetic differences between drug enantiomers in humans: an overview. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 40, 125-133. <https://doi.org/10.1038/clpt.1986.150>
- Gamenara, D. and de María, P.D. (2009). *Candida* spp. redox machineries: An ample biocatalytic platform for practical applications and academic insights. *Biotechnology Advances*, 27, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.01.005>
- Gotor-Fernández, V., Brieva, R. and Gotor, V. (2006). Lipases: Useful biocatalysts for the preparation of pharmaceuticals. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 40, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2006.02.010>
- Guo, J.L., Mu, X.Q. and Xu, Y. (2010). Integration of newly isolated biocatalyst and resin-based in situ product removal technique for the asymmetric synthesis of (*R*)-methyl mandelate. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33, 797-804. <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0401-2>
- Hillier, M.C., Desrosiers, J.N., Marcoux, J.F. and Grabowski, E.J. (2004). Stereoselective carbon-carbon bond formation via the Mitsunobu displacement of chiral secondary benzylic alcohols. *Organic Letters*, 6, 573-576. <https://doi.org/10.1021/ol036380l>
- Hillier, M. C., Marcoux, J. F., Zhao, D., Grabowski, E. J., McKeown, A. E. and Tillyer, R. D. (2005). Stereoselective formation of carbon-carbon bonds via S<sub>N</sub>2-displacement: synthesis of substituted cycloalkyl [b] indoles. *The Journal of Organic Chemistry*, 70, 8385-8394. <https://doi.org/10.1021/jo051146p>
- Honda, K., Inoue, M., Ono, T., Okano, K., Dekishima, Y. and Kawabata, H. (2017). Improvement of operational stability of *Ogataea minuta* carbonyl reductase for chiral alcohol production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 123, 673-678. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.01.016>
- Ishige, T., Honda, K. and Shimizu, S. (2005). Whole organism biocatalysis. *Current Opinion in Chemical Biology*, 9, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2005.02.001>
- Kafarski, P. and Lejczak, B. (2004). Application of bacteria and fungi as biocatalysts for the preparation of optically active hydroxyphosphonates. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 29, 99-104. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2003.12.013>
- Llona-Minguez, S., Ghassemian, A. and Helleday, T. (2015). Lysophosphatidic acid receptor (LPAR) modulators: the current pharmacological toolbox. *Progress in Lipid Research*, 58, 51-75. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2015.01.004>
- Lou, W.Y., Wang, W., Li, R.F. and Zong, M.H. (2009). Efficient enantioselective reduction of 4'-methoxyacetophenone with immobilized *Rhodotorula* sp. AS2. 2241 cells in a hydrophilic ionic liquid-containing co-solvent system. *Journal of Biotechnology*, 143, 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2009.07.004>
- Luo, F., Lu, D. and Gong, Y. (2011). Enantioselective bioreduction of 2-fluoro-2-alken-1-ols mediated by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 70, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2011.02.011>
- MacLellan, P. and Clayden, J. (2011). Enantioselective synthesis of tertiary thiols by intramolecular arylation of lithiated thiocarbamates. *Chemical Communications*, 47, 3395-3397. <https://doi.org/10.1039/C0CC04912C>
- Matsuda, T., Yamanaka, R., and Nakamura, K. (2009). Recent progress in biocatalysis for asymmetric oxidation and reduction. *Tetrahedron: Asymmetry*, 20, 513-557. <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2008.12.035>
- Murzin, D.Y., Mäki-Arvela, P., Toukoniitty, E. and Salmi, T. (2005). Asymmetric heterogeneous catalysis: science and engineering. *Catalysis Reviews*, 47, 175-256. <https://doi.org/10.1081/CR-200057461>
- Ni, Y. and Xu, J.H. (2012). Biocatalytic ketone reduction: a green and efficient access to enantiopure alcohols. *Biotechnology Advances*, 30, 1279-1288. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.10.007>

- Patel, R.N. (2002). Microbial/enzymatic synthesis of chiral intermediates for pharmaceuticals. *Enzyme and Microbial Technology*, 31, 804-826. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(02\)00186-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(02)00186-2)
- Pereira, R.D.S. (1998). The use of baker's yeast in the generation of asymmetric centers to produce chiral drugs and other compounds. *Critical reviews in biotechnology*, 18, 25-64. <https://doi.org/10.1080/0738-859891224211>
- Pu, W., Huizhen, S., Liming, S., Junyao, H. and Yaping, L.Ü. (2011). Asymmetric bioreduction of 3, 5-bis (trifluoromethyl) acetophenone to its corresponding alcohol by *Candida tropicalis*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19, 1028-1032. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(11\)60087-6](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(11)60087-6)
- Roy, A., Bhattacharyya, M.S., Kumar, L.R., Chawla, H.P.S. and Banerjee, U.C. (2003). Microbial reduction of 1-acetonaphthone: a highly efficient process for multigram synthesis of S (-)-1-(1'-naphthyl) ethanol. *Enzyme and Microbial Technology*, 33, 576-580. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00178-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00178-9)
- Singh, A., Chisti, Y. and Banerjee, U.C. (2012). Stereoselective biocatalytic hydride transfer to substituted acetophenones by the yeast *Metschnikowia koreensis*. *Process Biochemistry*, 47, 2398-2404. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.09.022>
- Świzdor, A., Janeczko, T. and Dmochowska-Gładysz, J. (2010). *Didymosphaeria igniaria*: a new microorganism useful for the enantioselective reduction of aryl-aliphatic ketones. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 37, 1121-1130. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0759-9>
- Şahin, E. (2017). *Debaryomyces hansenii* as a new biocatalyst in the asymmetric reduction of substituted acetophenones. *Biocatalysis and Biotransformation*, 35, 363-371. <https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1348500>
- Wang, B., Zhu, B., Gong, J., Weng, J., Xia, F. and Liu, W. (2020). Resolution of racemic 1-(4-methoxyphenyl) ethanol using immobilized lipase with high substrate tolerance. *Biochemical Engineering Journal*, 158, 107559. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107559>
- Wang, W., Zong, M.H. and Lou, W.Y. (2009). Use of an ionic liquid to improve asymmetric reduction of 4'-methoxyacetophenone catalyzed by immobilized *Rhodotorula* sp. AS2. 2241 cells. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 56, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2008.05.010>
- Wei, P., Liang, J., Cheng, J., Zong, M. H. and Lou, W.Y. (2016). Markedly improving asymmetric oxidation of 1-(4-methoxyphenyl) ethanol with *Acetobacter* sp. CCTCC M209061 cells by adding deep eutectic solvent in a two-phase system. *Microbial Cell Factories*, 15, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0407-1>
- Xie, Y., Xu, J.H., Lu, W.Y. and Lin, G.Q. (2009). Adzuki bean: a new resource of biocatalyst for asymmetric reduction of aromatic ketones with high stereoselectivity and substrate tolerance. *Bioresource Technology*, 100, 2463-2468. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.054>
- Xu, P., Cheng, J., Lou, W.Y. and Zong, M.H. (2015). Using deep eutectic solvents to improve the resolution of racemic 1-(4-methoxyphenyl) ethanol through *Acetobacter* sp. CCTCC M209061 cell-mediated asymmetric oxidation. *RSC Advances*, 5, 6357-6364. <https://doi.org/10.1039/C4RA12905A>
- Zhimin, O., Ma, L., Niu, Y. and Cui, J. (2018). Preparation of (R)-(-)-mandelic acid by two-step biotransformation of ethyl benzoylformate. *Biocatalysis and Biotransformation*, 36, 409-416. <https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1420063>
- Zong, C., Zhang, X., Yang, F., Zhou, Y., Chen, N., Yang, Z. and Tang, Y. (2019). Biotransformation of a crizotinib intermediate using a mutant alcohol dehydrogenase of *Lactobacillus kefir* coupled with glucose dehydrogenase. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 49, 578-583. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1591987>



## Fatigue analysis of the vehicle brake disc

### *Araç fren diskinin yorulma analizi*

Filiz KARABUDAK<sup>\*1,a</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 05.11.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 21.07.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.08.2021

#### Abstract

In this study, the fatigue analysis of the vehicle brake disc was simulated using the finite element program, and life calculations were made in accordance with the analysis. The main purpose is to simulate experimental tests, which take a long time to result, in the computer environment and to obtain results in a short time and at a very low cost. With the help of the ANSYS computer program, which operates with the finite element logic, the disk brake system was created in three dimensions, and the boundary conditions closest to reality were determined and analyzed using the finite element method. In the disc brake system selected, the data obtained by conducting stress, fatigue life, and safety coefficient analyses in line with the forces formed on the wheel and the vehicle during braking were examined. According to the analysis results, our brake disc is in different life ranges in accordance with the material used and the load applied, and when the force is increased, the life decreases and vice versa.

**Keywords:** Disc brake, Fatigue, Finite element method

#### Öz

*Bu çalışmada taşıt fren diskinin yorulma analizi sonlu elemanlar programı ile simüle edilerek analizler doğrultusunda ömür hesapları yapılmıştır. Asıl amaç sonuçlanması uzun süren deneysel testleri bilgisayar ortamında simüle edip kısa bir sürede ve çok az bir maliyetle sonuca gitmektir. Sonlu elemanlar mantığıyla çalışan ANSYS bilgisayar programı yardımıyla diskli fren sisteminin üç boyutta oluşturulması ve gerçeğe en yakın sınır şartlarının belirlenerek sonlu eleman yöntemiyle analiz yapılmıştır. Seçilen disk fren sisteminde frenleme anında tekerlek ve araç üzerinde oluşan kuvvetler doğrultusunda gerilme, yorulma ömrü, emniyet katsayısı analizleri yapılarak elde edilen veriler irdelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre fren diskimiz kullanılan malzeme ve uygulanan yük doğrultusunda farklı ömür aralıklarında olup kuvveti arttırdığımızda ömür düşmekte tam tersi durumda ise ömür artmaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** Disk freni, Yorulma, Sonlu elemanlar metodu

\*a Filiz KARABUDAK; filizkarabudak@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0002-7365-0333

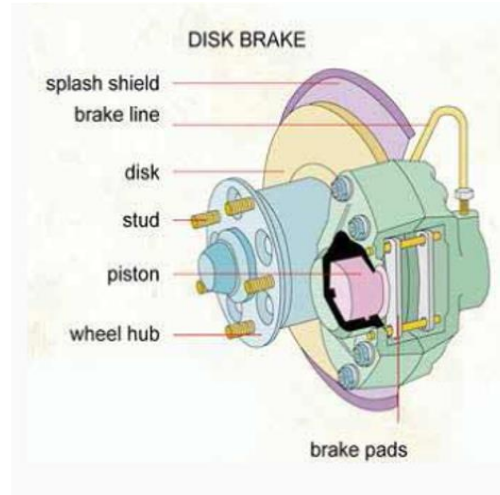
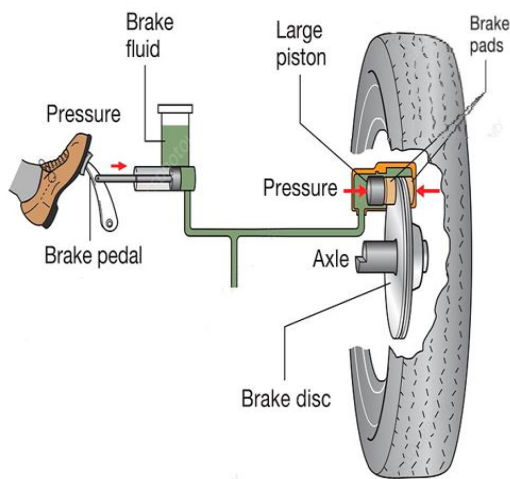
**1. Introduction**

Braking performance is one of the effective parameters, the importance of which is indisputable in terms of vehicle safety. The main factors affecting this performance are listed as follows: the design of the brake system, vehicle weight, braking efficiency of the front-rear wheels, the efficiency of the brake mechanical and hydraulic components, the environmental conditions that may affect the brake system, tires, load on the vehicle, brake settings, road condition, the friction/adhesion coefficient between the wheel and the road (Bayrakçeken and Düzgün, 2005; Güney and Mutlu, 2015).

A part that breaks suddenly in the brake system, which directly affects human life, can cause serious

consequences. In automotive vehicles in which machined and cast brake discs are used, such as passenger cars, trucks, and motorcycles, heavy brake loads, difficult operating conditions, and the ongoing environmental conditions may affect the operability and performance of the device and cause fatigue failures (Norman et al., 2016).

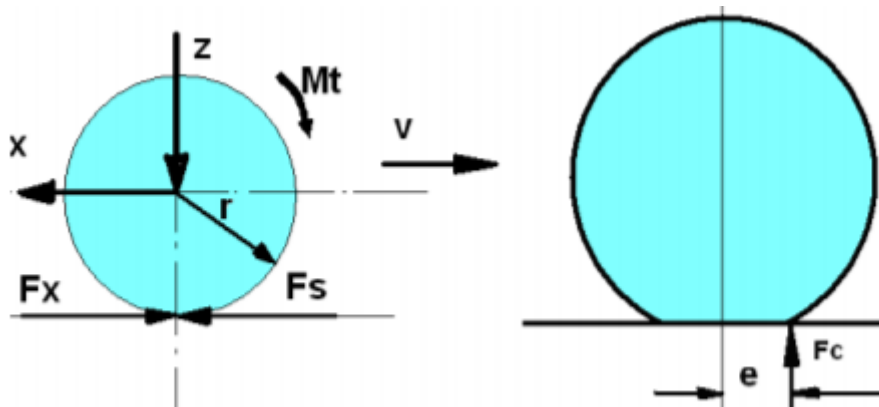
Such a failure, which can also occur as a result of a poor design, significantly affects the fatigue damage with the inhomogeneous material structure, traveling with overload, and exceeding the life of the part part (Balaji et al., 2019). The disc brake system that we focus on in this study is an important factor in the fatigue fracture. Figure 1 presents a schematic view of the disc brake system (Fildiş et al., 2001)



**Figure 1.** Schematic representation of the disk brake system

The forces affecting the wheel of the vehicle during braking in a moving vehicle are shown in Figure 2. Here, 'Z is the load per wheel from the vehicle weight, X is the reaction force of the vehicle on the wheel, Fx is the longitudinal force on the wheel, Fs is the brake friction in the wheel, r is the radius of

the wheel, Mt is the wheel's moment, V is the time derivative of acceleration, Fc is the load of the wheel and the reaction force of the road, and e is the distance. The distance from the axis of the impact point of the wheel load is shortened by Crouse (1973).



**Figure 2.** Forces acting on the wheel during braking (Staudt, 2000)

The factors affecting the vehicle when the brake is applied to the vehicle while the vehicle is in motion are the friction force formed between the brake lining and the disc/drum in the brake mechanism, the friction between the road and the wheel, the force formed by the slope of the road, and the speed of the vehicle. Increasing the braking distance means an increase in vehicle speed. Friction force occurs between the brake lining and the disc in the wheel brake mechanism. It varies depending on the power of the brake system used in automobiles. The coefficient of friction between the wheel and the ground also affects braking. Since the wheels will not stop on slippery ground, the brakes will not hold much, or the wheels will slide on the ground. As a result, the braking distance of the automobile will be longer. The slope of the road changes depending on whether vehicles are going downhill or uphill. Since the force formed due to the weight of the vehicle will cause the vehicle to accelerate while going downhill, it will cause the braking distance to increase by creating a force against braking. If the vehicle goes up a ramp or a slope, the force generated by the weight of the vehicle tries to stop the vehicle this time (Pektaş, 2006).

This study was conducted to simulate the experimental tests of the fatigue analysis of disc brakes, which take a long time to result and are costly, in the computer environment and achieve results in a short time and at a low cost by conducting stress and fatigue analysis with the finite element method.

## 2. Material and method

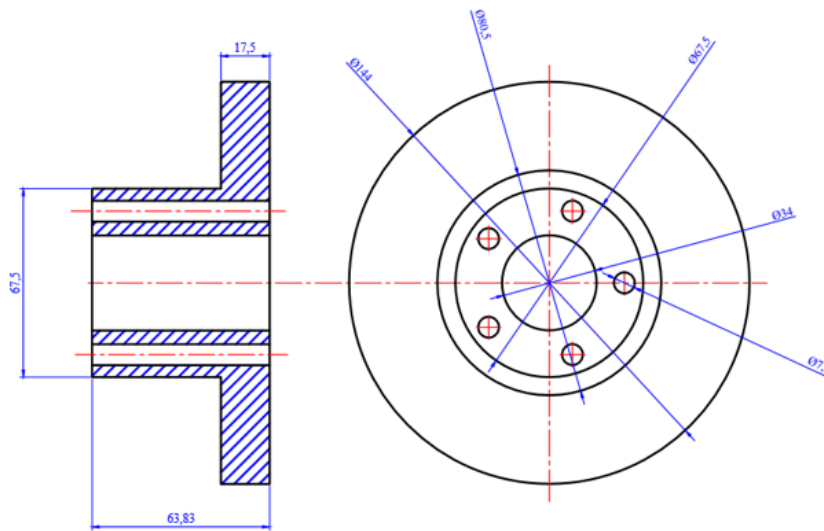
This study focused on the disc brake system. Disc brakes provide friction with the brake pads mounted on the calipers attached to the suspension elements compressing the discs like a clamp or vise. Inside the calipers, the pistons provide pressure to the brake linings with the force they take from the center cylinder and slow down the vehicle by rubbing against the brake disc in the brake linings. Since disc brakes swing water more easily than drum brakes, they perform better under wet conditions. The channels on the disc brakes drain the water, cool more easily and are more resistant to high temperatures. However, this does not mean that they are not affected by water. If the brakes are applied when entering a puddle quickly, it is observed that the brakes do not work for the first few seconds (Köylü and Tural, 2016). There are air ducts in some discs to increase performance. By pressing the brake pedal, the center pump

delivers the brake fluid to the pistons through pipes and hoses. Therefore, the brake pads on both sides press simultaneously against the disc with equal force (Bannantine et al., 1990). The force acting on the brake pedal is a measure of the amount of pressing the brake lining and thus the amount of braking. With the release of the brake, the brake pedal spring and center pump piston return to their initial position. At the same time, the pressure in the brake, pipes and hoses and wheel cylinders decreases, and the pressure forces on the brake pads disappear by being pulled back by the friction forces on the friction surfaces (Stephens et al., 2001)

Modeling the interior design of the components in the disc brake system is very important. Although the model is complex, it must be simple and easy to understand in terms of engineering. Depending on the model design, structural factors and simulation analysis can be performed, and parallel to this, static, dynamic, and other effects can be analyzed (Hancq et al., 2000). Modeling was performed in the dimensions of the brake disc, the manufacturing picture of which is given in Figure 3.

One of the convenience provided by the Ansys Workbench program is that it provides the properties of the materials frequently used in the industry (Poison.Young module, etc.). If these materials are to be used, the desired material can be selected from the window to be opened in the import button. If the material properties of the part we will analyze are not available in the Ansys Workbench database, then we need to enter it ourselves. For this reason we need to introduce the material properties in the New Material tab from the Details section. In this study, the mechanical properties of gray cast iron material used in many places such as engine castings were redefined by taking into account the fatigue graph (S-N).

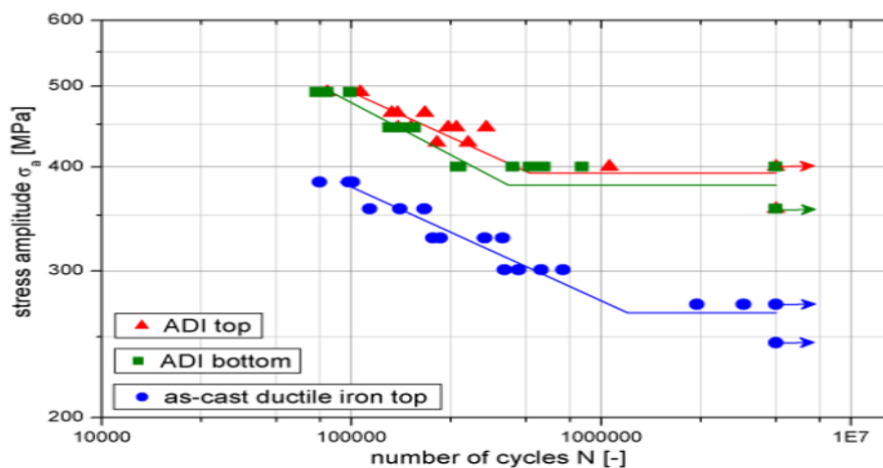
From the study of Young's Modulus and Poisson ratio (Tartaglia, 2012) and for S-N diagram values Wohlfahrt et al. (2010) 's study was benefited. Dynamic fatigue analysis is performed in Ansys software by applying the load in the desired range with the defined fatigue graph values. Average load values define the maximum and minimum values of the forces acting on the wheel during braking. These forces occur between the brake lining and the disc in the wheel brake mechanism.



**Figure 3.** Technical drawing of the brake disc model

Gray cast iron, which is used in many places such as engine castings, vehicle clutch linings, and engine cylinder blocks, is also used as a brake disc material. In this study, pearlitic (G4000) gray cast

iron material with the following mechanical properties, yield strength 552 MPa, modulus of elasticity 120 GPa, and Poisson’s ratio 0.3, was used (Tartaglia, 2012).



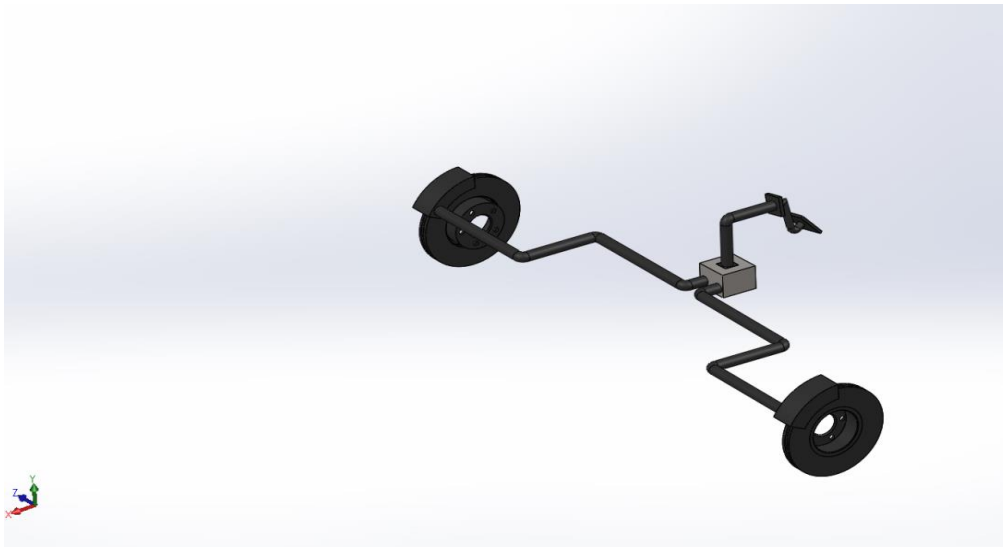
**Figure 4.** Gray cast iron S-N diagram (Wohlfahrt et al., 2010)

Figure 4 shows the experimental S-N fatigue diagram of the untreated cast iron material in the curve shown in blue in the examination performed by Wohlfahrt (2010). In our study, comparisons will be made by considering this curve.

### 2.1. Modeling approach

The model represents a simplified simulation that is the closest to reality in accordance with the aim. The disc brake system consists of a fixed caliper and brake pads placed on this caliper, brake hydraulic cylinder and pistons with their shoes. The basic parts of the disc brake mechanism consist of a brake disc, caliper, brake hydraulic cylinder, and piston. The disc brake system, the working principle of which is explained in detail in the

section above, is based on the Pascal principle. The mechanical force generated in the brake pedal is converted into hydraulic pressure at the brake main center, and this hydraulic pressure is converted back into mechanical force in the caliper. The motion energy of the vehicle is converted into heat energy by the pads rubbing against the disc. The disc brake system is divided into two classes as ventilated and non-ventilated disc brake systems. This study focused on the non-ventilated disc brake system. Modeling the parts and the interior design of the disc brake is important. The model created should be simple, easy, and understandable from an engineering point of view. While maintaining complex integrity, a fit to the model should also be considered. Figure 5 presents the assembly picture of the 3D model of the vehicle brake system.



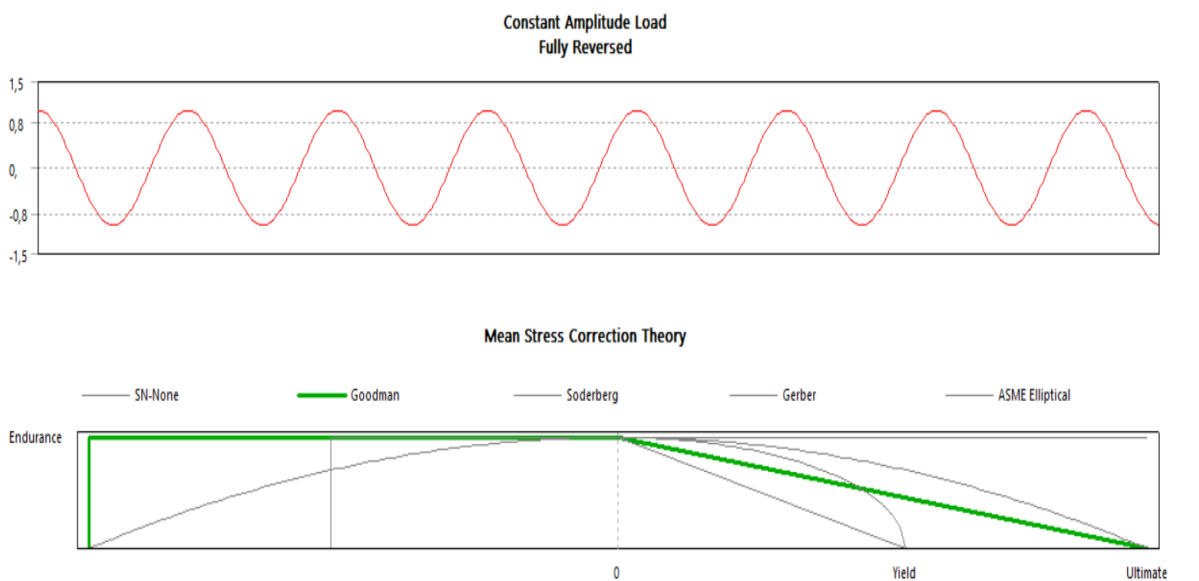
**Figure 5.** Three-dimensional assembly picture of the disk-brake system

After the disc brake system, the 3-dimensional model of which was completed in Solidwork software, was saved as a step file extension, it was transferred to Ansys Workbench finite element software. The material assignment was made in line with the mechanical properties of gray cast iron, and the S-N curve of Wohlfahrt (2010) was introduced to the program. Basic static structures such as equivalent von Mises stress during braking, total deformation and fatigue life will be analyzed in the brake disc with the defined mechanical properties.

### 2.2. Fatigue analysis-disk brake

As shown in Figure 6, the pearlitic (G4000) gray cast iron material was assigned to the disc brake and brake system elements, divided into finite elements in optimum dimensions.

In static analysis, to perform von Mises stress and fatigue damage analysis, after assigning the load, the solution was started by assigning life, damage, and safety factor parameters in the Fatigue tool tab for fatigue life calculation. Since gray cast iron is a brittle material, the Goodman curve was taken into account when performing fatigue analysis (Figure 6).



**Figure 6.** Goodman Curve

In the Goodman-Soderberg approach, the strength values and average stress values obtained from the static strength limit on the horizontal axis are

determined. On the vertical axis, the stress amplitude and the strength limit value obtained from completely variable stress are determined.

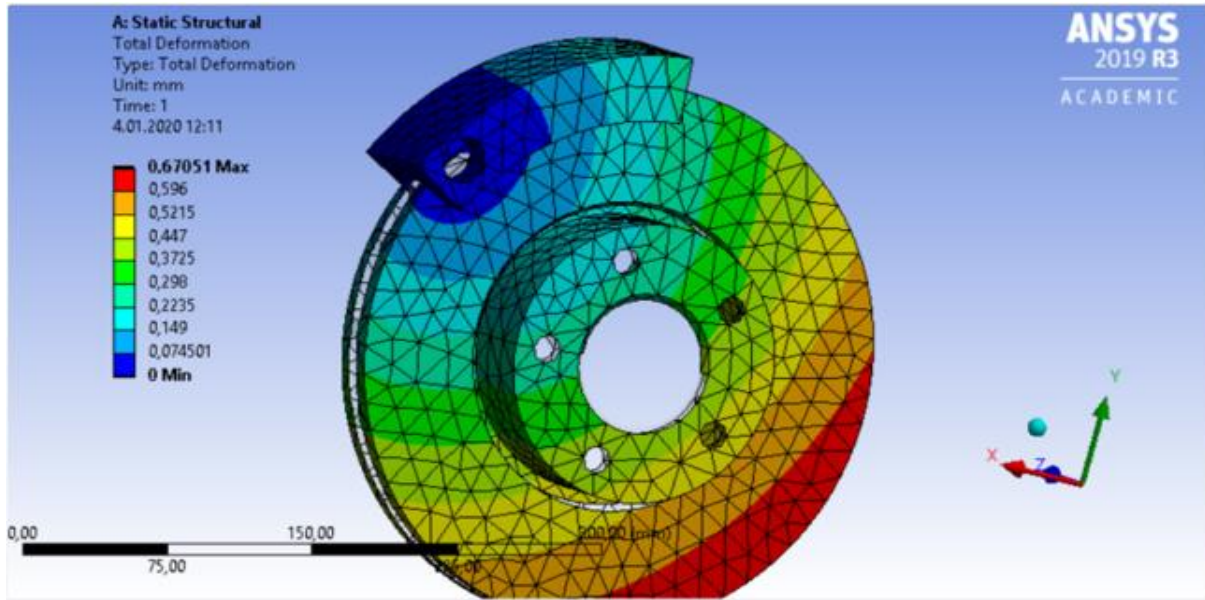


### 3. Results and discussion

#### 3.1. Total deformation and von-Mises stress analysis

The brake caliper, which is compressed with the fixed support process, applies a 33.1 kN payload

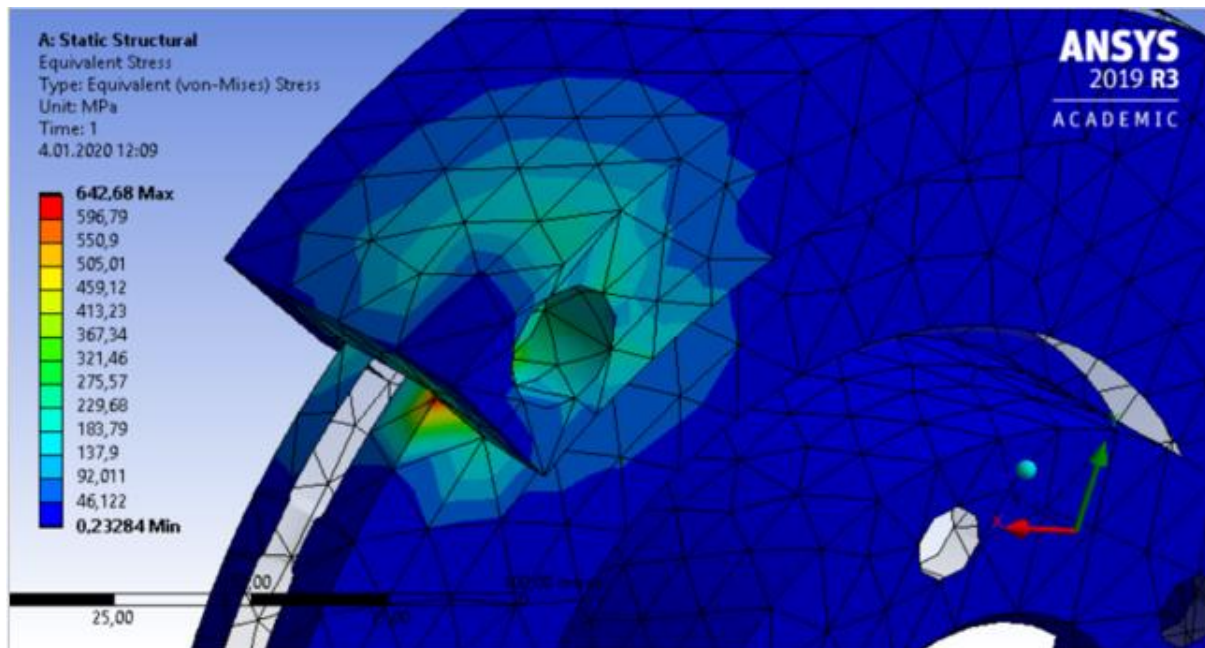
(constant load) in the Z negative axis direction within the boundary conditions on the gray cast iron disc, whose mechanical properties and fatigue curve are defined. As seen in Figure 7, the maximum total deformation of 0.67051 mm in the disc brake element occurred at the contact points, shown in red.



**Figure 7.** Total deformation in the disc brake

Under the load applied, the maximum equivalent von Mises stress value of 642.68 MPa shown in Figure 8 occurs in the area shown in red on the contact surface of the brake pad with a disk brake. The intensity of the stresses at different points affects the load-carrying capacity and strain

resistance of the materials. As seen in the figure, stress concentrations occur around the critical cross-section point. The material carries the maximum load it can carry at the points with the maximum stress concentration.



**Figure 8.** Equivalent von Mises stress in the disc brake



3.2. Fatigue life, damage, safety factor and fatigue sensitivity

Upon examining the analysis results (Figure 9), it goes to infinite life in  $1 \cdot 10^6$  cycles. In the direction

of the applied stress, fracture occurs by suffering from fatigue damage at a minimum value of 735.96. As the stress decreases, the number of cycles increases and reaches infinite life.

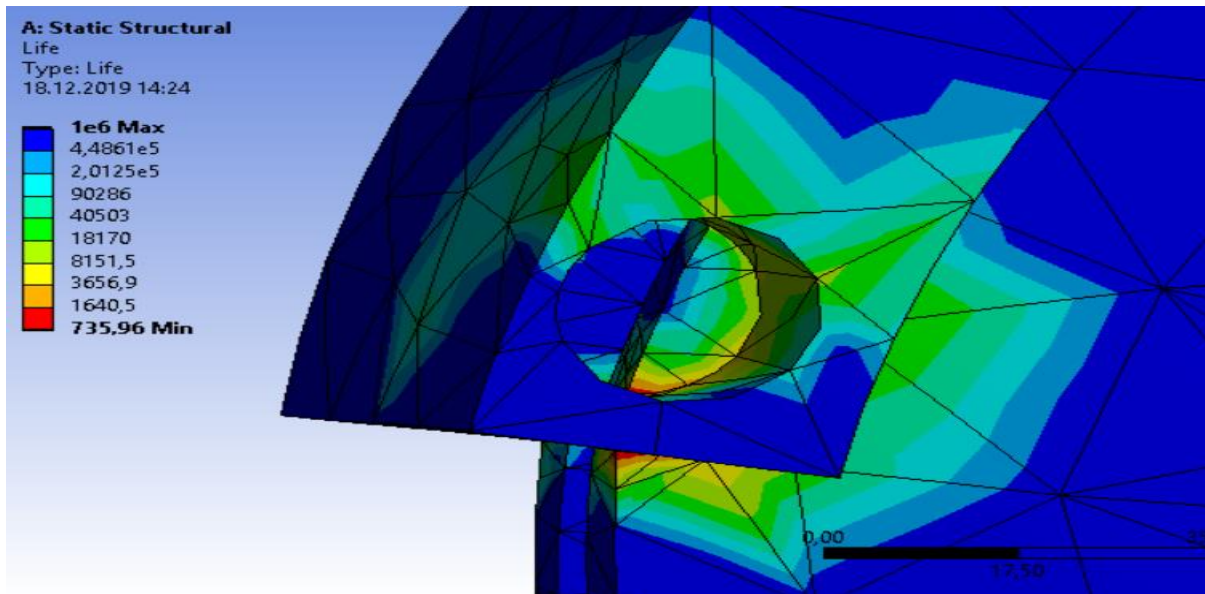


Figure 9. Fatigue life in the disc brake element

Fatigue damage is evaluated together with infinite life. It was determined that the disc brake element reached infinite life at  $1 \cdot 10^6$  cycles and under a stress of 300 MPa (Figure 12). Fatigue damage

occurs at all values above this stress value. As shown in Figure 8, the maximum stress value of 642.68 MPa causes the maximum fatigue damage of  $1.3588e6$  (Figure 10).

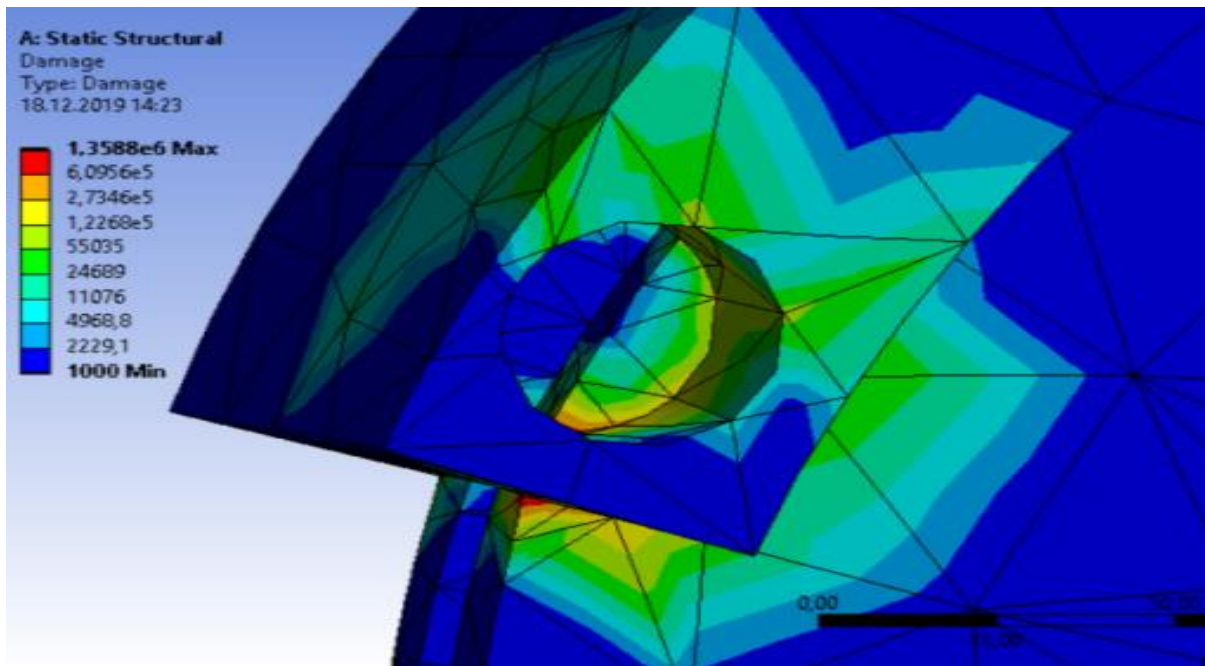


Figure 10. Fatigue damage in the disc brake element

It is observed in Figure 11 that under the current stress condition, according to the Goodman criteria, the safety coefficient is maximum 15 and

minimum 0.4644. In regions where the safety coefficient is higher than 1, there is no fracture, it is safe to the Goodman criterion, and it is observed

to be at the stress value below the stress value at which it reaches infinite life.

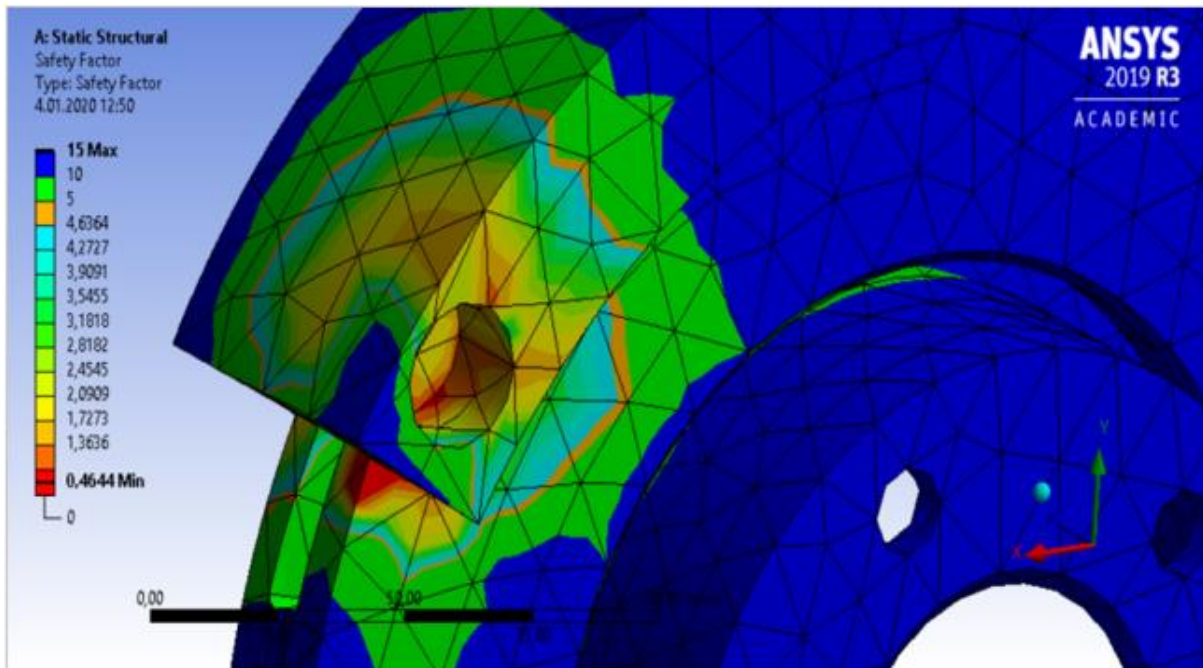


Figure 11. Safety coefficient in the disc brake element

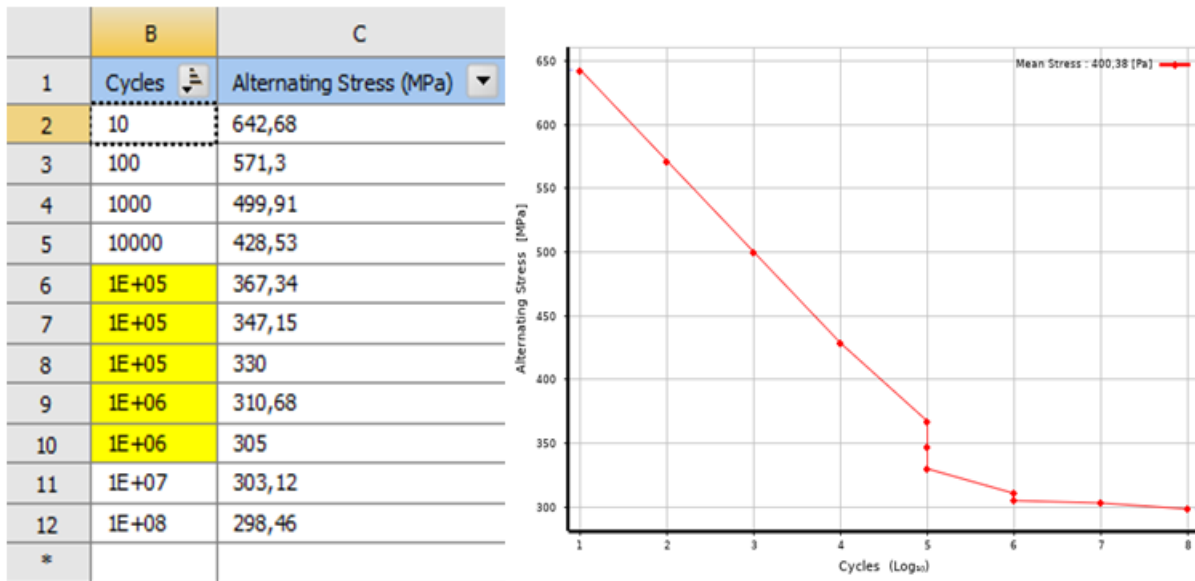


Figure 12. Disk material S-N plot

Figure 12 presents the fatigue (S-N) diagram of the disc brake element. Wohlfahrt et al. (2010) obtained theoretical results parallel to their experimental study values. When the plot was examined, it was observed that the gray cast iron brake disc reached infinite life at a stress value of 300 MPa and in  $1 \times 10^6$  cycles. In similar literature studies of Şık et al. (2015), experimental fatigue strength tests of wheels in vehicles were made and simulation of the wheel was created in virtual environment based on the experimental fatigue

graph with ANSYS engineering software and theoretical fatigue strength analysis was performed. When looking at the minimum number of cycles in the fatigue graph in the study, it was concluded that 1 million cycles were reached and infinite life was achieved. According to the data obtained from the analysis and test results, as the stress value applied on the material increases, the cycle number of the material decreases, and fatigue damage occurs at all stress values above its infinite life. The gray cast iron material with a yield stress

of 552 MPa was damaged at all values above 300 MPa yield.

#### 4. Conclusion

\*\*Under the current stress condition, according to the Goodman criteria, the safety coefficient was determined to be maximum 15 and minimum 0.4644. If the safety coefficient is not lower than 1, a fracture does not occur.

\*\*Stress concentrations occur at critical points on the material. The material carries the maximum load it can carry at the points with the maximum stress concentration. It was determined that in regions where the safety coefficient was lower than 1, critical points were broken by being exposed to fatigue damage.

\*\*The force applied can be decreased, or the dimensions of the material can be changed to increase the safety coefficient of the material that is safe to the Goodman curve.

\*\*With the analysis results obtained, it was observed that the G4000 gray cast iron brake disc reached infinite life in  $1 \cdot 10^6$  cycles under a stress of 300 MPa.

\*\*Experimentally obtained fatigue values of gray cast iron were determined by Wohlfahrt et al. (2010) and the fatigue values we obtained theoretically in our study coincide. The value obtained experimentally according to the S-N graph and the theoretically obtained value in the S-N graph in our study were compared Wohlfahrt et al. (2010) obtained theoretical results parallel to their experimental study values.

\*\*Long-lasting experimental tests were simulated in the computer environment, and results were obtained in a short time and at a very low cost.

#### References

- Balaji, R., Nadarajan, M., Selokar, A., Kumar, S. and Sivakumar, S. (2019). Modelling and analysis of disk brake under tribological behaviour of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic matrix composites/kevlar® 119 composite/C/SiC-carbon matrix composite/Cr-Ni-Mo-V steel. *Materials Today: Proceedings*, 18, 3415-3427. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.269>
- Bannantine, J., Comer, J. and Handrock, J. (1990). *Fundamentals of metal fatigue analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Bayrakçeken, H. and Düzgün, M. (2005). Vehicles brake efficiency and braking distance analysis. *Journal of Polytechnic*. 8(2), 153-160. <https://doi.org/10.5578/fmbd.8524>
- Crouse, H., 1973. *Automotive chassis volume II*. Ankara: MEB.
- Fildiş, M., Türkmen, H., Karasu, T., Yiğit, İ. ve Berispek, M. (2001). *Motorculuk bölümü şasi iş ve işlem yapıları* (4). İstanbul: MEB.
- Güney, B. and Mutlu, İ. (2015). Investigation of vehicle brake testing standards applied in the EU and USA. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 15(015902). 7-16, <https://doi.org/10.5578/fmbd.8524>
- Hancq, D., Walters, A. and Beuth, J. (2000). Development of an Object-Oriented Fatigue Tool. *Engineering with Computers*, 16, 131-144. <https://doi.org/10.1007/s003660070016>
- Köylü, H. and Tural, E. (2016). Developing of a software for determining advanced brake failures in brakes test bench. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(4), 267-279. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.90692>
- Norman, V., Skoglund, P., Leidermark, D. and Moverare, J. (2016). The effect of superimposed high-cycle fatigue on thermo-mechanical fatigue in cast iron. *International Journal of Fatigue*, 88, 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2016.03.020>
- Pektaş, S. (2006). *Simulation of on-highway test (chucker) for the heavy vehicle brakes by using FEA method*. Master Thesis, Dokuz Eylül University Institute of Science and Technology, İzmir.
- Staudt W. (2000). *Motor vehicle technique*, Ankara: MEB.
- Stephens, R., Fatemi, A., Stephens, R. and Fuchs, H. (2001). *Metal fatigue in engineering*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Şık, A., Önder, M. and Korkmaz, M. (2015). Determination of fatigue strength of vehicle wheels by structural analysis. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(3), 565-574.
- Tartaglia, J. (2012). Comparison of monotonic and cyclic properties of ductile irons in the afs/doe strain-life fatigue database for cast iron. *International Journal of Metalcasting*, 6, 7-22. <https://doi.org/10.1007/BF03355524>
- Wohlfahrt, M., Oberwinkler, C., Tunzini, S., Rauscher, A., Caballero, R. and Eichlseder, W. (2010). The role of sampling position on fatigue of

austempered ductile iron. *Procedia Engineering*,  
2, 1337-1341.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.03.145>

Yavuzaslan, N. (2006). *Brake system at automobile and analyse. Master Thesis*, Yıldız Technical Institute of Science and Technology, İstanbul.

## Tabanca namlu malzemesi 32CrMoV12-10 alaşımına uygulanan gaz nitrasyon ve su verme işlemlerinin darbe dayanımına etkilerinin incelenmesi

*Investigation of the impact strength of gas nitration and quenching processes applied to gun barrel material 32CrMoV12-10 alloy*

**Mahmutcan KARSLI<sup>\*1,2,a</sup>, Uğur KEMİKLİOĞLU<sup>3,b</sup>, Samet YAVUZ<sup>1,4,c</sup>**

<sup>1</sup>Girsan Makina ve Hafif Silah Sanayi Ticaret A.Ş., 28100, Giresun

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

<sup>3</sup>Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34775, İstanbul

<sup>4</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 06.11.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 14.01.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 14.08.2021

### Öz

Savunma sanayi, ülkeler için vazgeçilmez bir alan olmakla birlikte önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu kapsamda sanayinin çoğu alanlarında olduğu gibi savunma sanayisinde de iyileştirme çalışmaları son yıllarda hız kazanmıştır. Bu çalışmada ülkemiz savunma sanayisi teknolojisinin geliştirilmesine ve savunma sanayisi alanında bilgi birikimi oluşturulmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Namlu, hafif silahlarda tabancanın kullanım ömrüne doğrudan etki eden silah ana parçalarının başında gelmektedir. Bu yönüyle tabanca namlusuna uygulanacak ısıl işlem tabancanın direk olarak ömrüne etki etmektedir. Bu çalışmada hafif silah endüstrisinde namlu imalatında yaygın olarak kullanılan dövülmüş haldeki 32CrMoV12-10 (1.7765) malzemeden oluşturulan numunelere, hali hazırda namlulara uygulanan geleneksel su verme işlemi ve son yıllarda uygulama alanı genişleyen gaz nitrasyon yöntemi olmak üzere 2 tip ısıl işlem uygulaması yapılmış ve bu uygulamaların numunelere etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde gaz nitrülenmiş numunelerin yüzey sertliklerinin, su verme işlemi uygulanan numunelerden yaklaşık 1.5 kat daha fazla olduğu buna karşılık içyapının korunduğu tespit edilmiştir. Numunelere uygulanan düşük hızlı darbe deney sonuçları incelendiğinde gaz nitrülenmiş numunelerin, su verme sertleştirilmesi uygulanan numunelere göre daha yüksek darbe direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gaz nitrülleme, Isıl işlem, Malzeme bilimi, Su verme, Tabanca namlusu

### Abstract

Defense industry has been an indispensable area for countries, and its importance has been increasing day by day. Within this scope, as in most fields of industry, improvement works in the defense industry have gained speed in recent years. In this study, it was aimed to contribute to the development of the defense industry technology of our country and to create knowledge in the field of defense industry. Barrel is one of the primary parts that directly affect the lifetime of the gun in light weapons. In this respect, the heat treatment to be applied to the gun barrel directly affects the lifetime of the gun. In this study, 2 types of heat treatment namely the traditional quenching process applied to the barrels and the gas nitration method whose application area has expanded in recent years, were applied to the samples created from 32CrMoV12-10 (1.7765) material, which is widely used as barrel material, and effects of these applications on samples were experimentally studied. When the results of the experimental studies were examined, it was determined that the surface hardness of the gas-nitrided samples was approximately 1.5 times higher than the samples that were quenched, whereas the internal structure was preserved. When the low velocity impact test results applied to the samples were examined, it was determined that the gas nitrided samples had higher impact resistance compared to the samples that applied quenching hardening.

**Keywords:** Gas nitriding, Heat treatment, Materials science, Quench hardening, Gun barrel

\*a Mahmutcan KARSLI; mahmut.cann@hotmail.com, Tel: (0506) 458 47 75, orcid.org/0000-0002-8729-7497

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5597-1256

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-6912-279X



## 1. Giriş

Malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan imalat yöntemleri, yüzey kaplama yöntemleri ve uygulanan ısıl işlem yöntemlerinin çok önemli rol aldığı bildirilmektedir (Saklakoğlu vd., 2016). Bu nedenle, malzeme seçiminde uygulanan imalat yöntemi ve uygulanacak ısıl işlem metotları istenilen özellikleri taşıması açısından önem arz etmekte olup, uygun proses ve parametreler dikkatlice belirlenmelidir. Seçilen yöntemlerin ve parametrelerin malzeme yüzeylerinin sertleştirme işlemlerini de belirlediği bildirilmektedir (Toktaş vd., 2017). Malzemelerin sertlik özelliklerinin incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları sinterleme yöntemi ile elde edilen malzemelerin sertliğinin incelenmesi üzerine iken; bazıları da aşınma sertliğinin incelenmesi olduğu belirtilmektedir (Karakulak, 2017; Yılmaz, 2019).

Silahların tarihsel gelişim sürecinde teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirildiği ve bu sayede silahtan beklenen yüksek mukavemet, düşük ağırlık, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi özellikleri giderek daha da iyileştirildiği gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmalarda silah parçalarının yüksek gerilmeli yüklere maruz kaldıkları için parçaların imalatlarında kullanılacak malzemelerin yüksek mukavemet değerlerine sahip olması gerektiği, bu özellik sayesinde de kullanım süresince şekilsel değişimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmasının sağlanması bunun sonucunda ise kullanım ömrünün artırılması hedeflenmektedir. Bu nedenle yüksek boyutsal kararlılıkta uzun ömür elde edilmesi için silah parçalarında seçilecek olan malzemelerin yüksek mukavemete ve yüksek darbe direncine sahip olmaları gerektiği belirtilmektedir (Karlı, 2016; Yavuz, 2018; Göksu, 2015).

Son yıllarda yurtiçi ve yurtdışı silah alım şartnamelerinde silah atım ömürlerinin belirlenen dünya standartlarının üzerine çıkması, başta namlu olmak üzere tabanca parçaları üzerinde geliştirme çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle de kolluk kuvvetleri silah alımlarını yaparken atım ömürlerinin minimum 50.000 atım seviyelerinde olmasını talep etmektedirler. Bu atım ömrünü sağlayabilmek için tabanca parçalarında malzeme, ısıl işlem ve kaplama gibi parçaların ömrüne doğrudan etki eden parametrelerin optimum seviyede seçilmesi gerektiği bildirilmektedir (Rutci, 2019). Tabanca namluları hakkında yapılan bir çalışmada, 1.2340 sıcak iş takım çeliği malzemesinden üretilen namluyu, AISI 4140 malzemesinden üretilen namlu ile

kıyaslamış ve namlu numunelerine çeşitli deneysel çalışmalar yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 1.2340 sıcak iş takım çeliğinden üretilen namlunun AISI 4140 malzemesinden üretilen namluya göre daha uzun ömürlü olduğu tespit edilmiştir. 1.2340 malzemesinden üretilen namluların ömür değerlerinin yaklaşık %66 arttığını, ayrıca aşınma dayanımının ve dolayısıyla dağılım performansının iyileştiğini belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada namlu deneysel çalışmalarının yanında üretilen numune namluları tabanca olarak da denenmesi amacıyla çeşitli atış testleri uygulanmıştır. Yapılan atış testlerinin sonucuna göre, AISI 4140 malzemesinden yapılan polimer gövdeli tabancaların namlu ömürleri 30.000 atım olarak belirlenmiş olup, 1.2340 sıcak iş takım çeliğinden üretilen namlunun ömür değeri 50.000 atım olarak belirlenmiştir (Rutci, 2019).

36CrB4 ve 42CrMo4 çeliklerde ısıl işlemin mekanik özelliklere etkilerinin incelendiği farklı bir çalışmada, bu iki malzemeyi farklı sıcaklıklarda menevişleme (temperleme) işlemine tabi tutarak, optimum ısıl işlem sıcaklığı belirlemiş olup malzemelerden hazırlanan numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyler yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, menevişleme sıcaklığının değiştirilmesi ile 36CrB4 malzemesinin 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceği tespit edilmiş olup 42CrMo4 malzemesinin yerine 36CrB4 malzemesinin kullanılması halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağı belirtilmiştir (Dokuzlar, 2018).

Yapılan farklı bir çalışmada ise X40CrMoV51 sıcak iş çeliğine önce su verme ve temperleme, ardından iyon nitrülleme işlemlerini uygulamıştır. Çalışmada bu numunelerin sertlik değerleri ve X-ışını Difraksiyon analizleri incelenmiştir. İyon nitrülennmiş çeliğin yüzey sertliğinin, yalnızca su verilmiş ve temperlenmiş çeliğinkinden yaklaşık iki kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Sertliğin önemli olduğu iş parçalarında iyon nitrülleme işleminin yapılması ömür artışı için önemli olduğu belirtilmiştir (Baycık, 2002).

Diğer bir çalışmada ise, DIN 1.3343, DIN 1.3243 ve DIN 1.3247 yüksek hız çeliklerini, sertleştirme ve temperleme işlemlerinin ardından nitrasyona tabi tutarak, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımını incelenmiştir. Numunelere yapılan deneylerin ardından aynı kompozisyona sahip malzemelerin deneyleri incelendiğinde, uygulanan farklı aşınma test



sıcaklıklarında nitrasyonlu numunelerin nitrasyonsuz numunelere göre daha az aşındığı tespit edilmiştir. Ayrıca malzemelerin sertliğindeki artışın, aşınma dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Bostan, 2015).

Güven ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 4140 malzemeye 450 °C’ de 2 farklı sürede (18 ve 19.5 saat) iyon nitrürleme (Plazma nitrasyon) yüzey sertleştirme işlemi uygulayıp farklı yüklerde yorulma dayanımlarını incelemişlerdir. Ayrıca numunelerin sertlik değerleri ölçülmüş olup herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış AISI 4140 çeliğinin ortalama sertliği 221 HV olarak tespit edilmiştir. Yüzey sertleştirilmesi yapılan numunelerin sertlik değerleri de ölçülmüş, 18 saat iyon nitrürleme işlemi yapılan numunenin yüzey sertliği ortalama 522 HV, 19.5 saat iyon nitrürleme işlemi yapılan numunenin yüzey sertliği ise ortalama 557 HV olarak ölçüldüğü bildirilmiştir. Sertlik ölçüm sonuçlarına göre, iyon nitrürleme işlem süresinin artması, yüzey sertliğini yaklaşık % 6 oranında arttırmıştır. Dönen eğmeli yorulma deney sonuçları incelendiğinde ise 19.5 saat iyon nitrürleme işlemi uygulanmış numunelerle 18 saat iyon nitrürleme uygulanmış numunelerin yorulma dayanımlarında fazla bir fark olmadığı ancak, hiçbir işlem görmeyen numunelere göre, yorulma dayanımlarında belirgin bir artış olduğu saptanmıştır (Güven vd., 2014).

Isıl işlem yöntemiyle sertleştirmeye yönelik olarak yapılan işlemlerde korozyon direnci sağlayan nikel alaşımlı sünek dökme demirlerin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelendiği bir çalışmada, 900 °C ve 1000°C de aynı sürelerde ısıl işlem uygulanan numunelere su

verme ve havada soğutma işlemleri uygulanıp, soğuma hızının etkileri incelenmiştir. Elde edilen numunelerin mikro yapıları incelendiğinde farklı soğutma hızlarının mikro yapılar üzerinde etkili olduğu ve farklı mikro yapıların meydana geldiğini rapor edilmiştir (Yeşiltepe ve Şeşen, 2017).

Literatürdeki tüm bu çalışmalar incelendiğinde, optimum mekanik özelliklerin elde edilmesi amacıyla, her malzemeye uygulanacak olan ısıl işlem yönteminin farklı olduğu ve yapılacak en uygun yöntem ve parametrelerin belirlenmesinin de malzemeler için önem arz ettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, literatür araştırmaları sonucunda çelik malzemelerin kimyasal özellikler değiştirilmeksizin, ısıl işlem uygulanarak malzemelerin mekanik özellikleri iyileştirilebileceği de görülmektedir.

Bu çalışmada tabanca ana parçalarından biri olan namluyu temsilen dövülmüş haldeki 32CrMoV12-10 malzemeden numuneler hazırlanmış, hazırlanan bu numunelere hali hazırda tabanca namlularına uygulanan geleneksel su verme sertleştirmesi ve buna karşılık son yıllarda uygulama alanı genişleyen gaz nitrürleme işlemi uygulanmıştır. Sertleştirme işlemi uygulanan numunelerin mikro yapısının incelenmesi, sertlik deneyi ve darbe deneyi uygulanarak, bu deneysel çalışmalara göre sonuçların değerlendirilmesi ve bu sayede ülkemiz savunma sanayi bilgi birikimine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Şekil 1’ de hafif silahlar grubuna dahil olan örnek bir tabanca namlusunun tasarımı ve fotoğrafı verilmiştir.



**Şekil 1.** Tabanca namlusu; a) Namlu tasarımı (GİR-SAN, 2020), b) Namlu örneği (GİR-SAN, 2020)

Namlu parçası belirli bir atım sayısının ardından yiv-setlerinde meydana gelen aşınma ve bu aşınmaya bağlı olarak ortaya çıkan olumsuz dağılım (grupman) etkisi sebebiyle tabancanın ömrünü belirleyen en önemli parçaların başında gelmektedir. Yurtiçi ve yurtdışı silah alım şartnamelerinde silah ömrünü belirleyen en önemli kriterlerden birisi dağılım testidir. Tabancaların şartnamelerde belirlenen atım sayılarına ulaşmalarının ardından yapılan dağılım testleri ile

atım öncesinde yapılan dağılım testlerindeki performansına eş bir değer performans beklenmektedir. Bu performans tabanca namlusunun tabancanın ömrünü belirleyen en önemli kriterlerden biridir. Bunun yanında tabancanın tasarımına bağlı olarak namlunun kapak (sürgü) parçasından gelen darbeyi karşılaması da beklenmektedir. Her atımda namlu haznesinde patlayan merminin basıncı yardımı ile kapak geri gelme hareketine başlayarak namluyu

geri itmekte ve her atımda namluya darbe uygulamaktadır. Namlu, kapağın her atımdaki darbesini karşılamakla birlikte sistemin hareketine de ayak uydurmaktadır. Görüleceği üzere tabancanın çalışma fonksiyonunda kritik etkileri olan namlunun ömür geliştirme çalışmalarının yapılması savunma sanayi açısından büyük önem arz etmektedir (Karlı, 2016; Gürel vd., 2020)

Yapılan bu çalışmada dövme yöntemi ile elde edilen 32CrMoV12-10 (1.7765) hammaddeden namluyu temsil etmek üzere, talaşlı imalat yöntemi ile oluşturulmuş plaka şeklindeki numuneler kullanılmış olup numunelere su verme sertleştirme (kitle sertliği) ve gaz nitasyon ısıl işlem yöntemleri olmak üzere iki farklı sertleştirme uygulanmıştır. Numunelere uygulanan sertleştirme işlemlerinin numuneler üzerinde oluşturduğu mekanik etkilerin incelenmesi amacıyla mikro

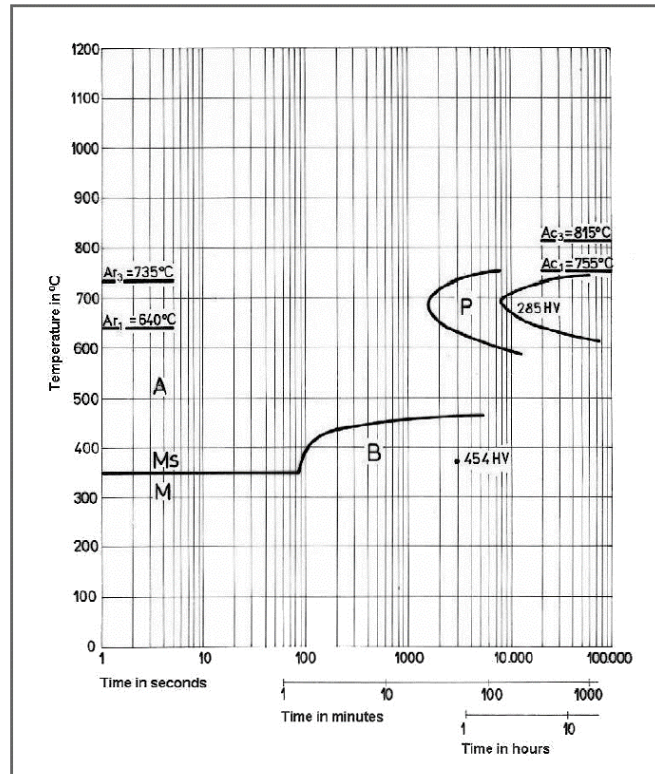
sertlik ölçümleri ve serbest düşme darbe deneyleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve method

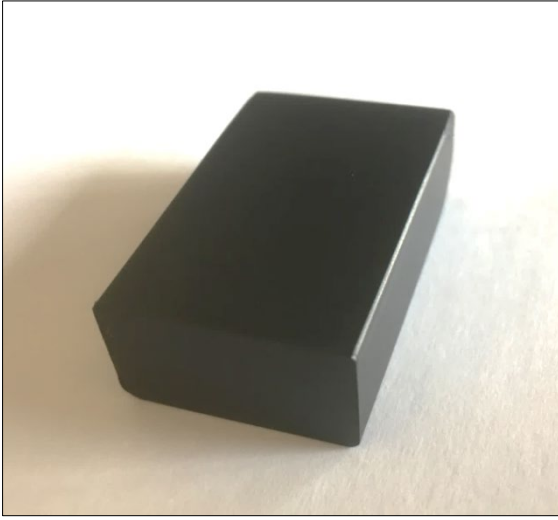
Silah namlusu üretiminde yaygın olarak kullanılan, soğuk dövme yöntemi ile 32CrMoV12-10 malzemesinden elde edilen hammaddeden, talaşlı imalat yöntemi kullanılarak plaka şeklinde numuneler oluşturulmuş, elde edilen numunelere su verme sertleştirme (sertleştirme + meneviş) ve gaz nitasyon (kontrollü gaz nitasyon + oksidasyon) ısıl işlem yöntemleri olmak üzere iki tip sertleştirme uygulanmıştır. Sonrasında bu sertleştirme işlemlerinin numuneler üzerinde oluşturduğu etkilerin deneysel karşılaştırılması yapılmıştır. Numunelerde kullanılan 32CrMoV12-10 namlu malzemesinin kimyasal analizi Tablo 1’de, TTT diyagramı Şekil 2’de, deney numunesi örneği de Şekil 3’te verilmiştir.

**Tablo 1.** 32CrMoV12-10 malzemenin kimyasal analizi (% Ağırlıkça) (SİJ, 2020)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Others
0.32	max. 0.35	max. 0.60	3.00	1.00	-	0.30	-	-



**Şekil 2.** 32CrMoV12-10 TTT diyagramı (SİJ, 2020)



**Şekil 3.** Nitrasyon ve oksidasyon işlemleri uygulanmış numune

Isıl işlem yöntemleri, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla yüksek teknoloji gerektiren donanım ve kontrol teknikleri ile katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanmaktadır. Uygulanacak ısıl işlem, hem malzemenin mikro yapısını iyileştirmeli, hem de malzemeye, o malzemede olması arzulanan mekanik özellikleri kazandırmalıdır. Bunlarla birlikte, uygulanan ısıl işlem ve yüzey işlemleri, malzemenin veya makine elemanından beklenen performansa uygun bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Örneğin, silahlar yüksek şiddetli ve tekrarlı darbe yükleri altında çalıştılarından dolayı kullanılan silahın uzun ömürlü olması ve kullanıcıya uzun süre hizmet verebilmesi için tabanca parçalarının darbe dayanımlarının yüksek olması istenmektedir (Karşlı, 2016). Makine parçaları fonksiyonları gereği değişken yüklere maruz kalırlar ve belirli bir yük tekrarından sonra yorulma sonucu kırılarak hasara uğrarlar. Yüzey sertleştirme işlemleri makine parçalarının yorulma dayanımlarını yükselterek kullanım ömürlerini uzatabilir (Güven vd., 2014).

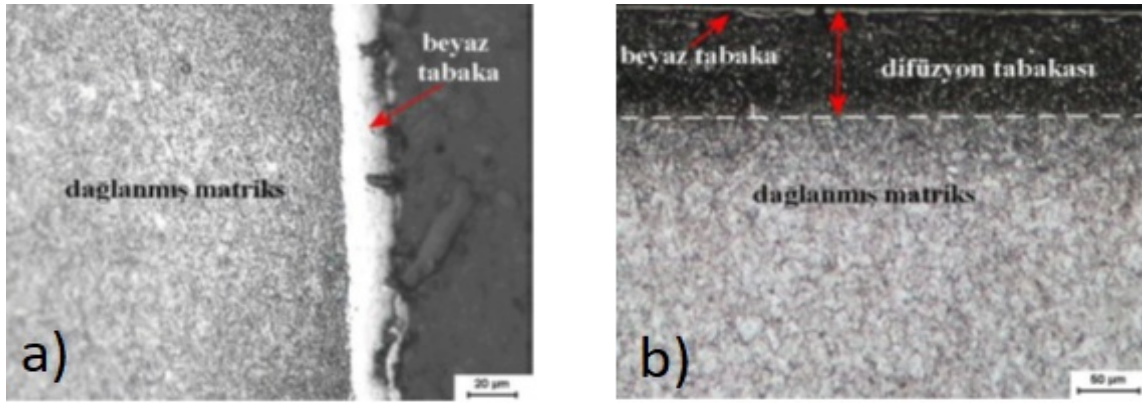
Isıl işlem yöntemlerinden biri olan su verme işlemi en basit şekliyle, malzemenin sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılması ve ani olarak

soğutulmasıyla sertleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Yapılan bu işlem, malzemenin belirli sıcaklığa kadar ısıtılması ve burada uniform bir iç yapının elde edilmesi için belirli süre bekletilmesi son aşamada oda sıcaklığına ani olarak soğutulması olarak üç bölümde gerçekleştirilir. Hızlı soğuma neticesinde karbon atomları difüzyon ile katı çözüldüden ayrılmak için yeterli vakit bulamadıklarından çözüldü içine hapsedilerek HMK yapıya dönüşemez ve yeni bir yapı olan martenzitik yapı elde edilmiş olur. Martenzitik yapının oluşumu esnasında meydana gelen hacimsel büyüme çok yüksek ölçüde gerilmeler oluşturur ve matris yapısını aşırı derecede çarpılmasını sağlar. Kafes yapısındaki bu çarpılma dislokasyon hareketlerini engelleyerek veya zorlayarak su verme işlemiyle yüksek sertlik ve mukavemet elde edilmesini sağlar (Çakır, 2008; Savaşkan, 2007). Bu çalışmada numunelere uygulanan su verme işleminin parametre ve adımları Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.** Numunelere uygulanan su verme sertleştirme parametreleri

Su verme sertleştirme	
850 °C	50 dk
Menevişleme	
550 °C	180 dk
Tuz sıcaklığı: 180 °C	

Nitrasyon, düşük sıcaklık yüzey sertleştirme işlemlerinden birisi olup çelik parça yüzeyine azot atomlarının ara yer atomu olarak gönderilmesi ile yüzeyde sert bir tabakanın (beyaz tabaka) oluşturulması esasına dayanır. Azot sağlayıcı ortam olarak tuz banyosu ve gaz atmosferi kullanılabilir. Nitrasyon işleminde sert tabakanın (beyaz tabaka) oluşması için yüksek hızda soğutma hızı gerekmez (Polat, 2011; Karcan, 2005). Şekil 4'te gaz nitrasyon işlemi uygulanmış AISI4140 ve DIN 1.2344 malzemelerin beyaz tabaka oluşumunu gösteren optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.** a) AISI4140 malzemede oluşan beyaz tabakanın görünümü, b) DIN 1.2344 malzemede oluşan beyaz tabakanın görünümü (Polat, 2011)

Nitrasyon işleminde proses gaz ortamında nitrasyon sıcaklığında azotun malzemenin yüzeyinden merkeze doğru nüfuz etmesi şeklinde gerçekleşir. Azot, demir ve alaşım elementleri ile reaksiyona girerek nitrür oluşturur ve bu sayede sert bir yapı elde edilir. Yüzeyle merkeze doğru ilerleyen azot difüzyonunun sağlanması ile yüzey sertliğinde orijinal sertlikten çok daha yüksek sertlik değerlerine ulaşabilmektedir. Teknik olarak nitrasyon işlemi  $\alpha$ -Fe fazında, 590 °C sıcaklığında maksimum %0.115 azot çözünürlüğü sağlayacak şekilde uygulanmaktadır (Polat, 2011). Su verme sertleştirmesine kıyasla daha düşük sıcaklıkta uygulanması ve yüksek soğuma hızı gerektirmemesi nedeni ile parçalarda çarpılma minimum seviyededir. Nitrasyon, yüksek yüzey sertliği, artan aşınma direnci, yorulma ömründe artış ve yüksek korozyon direnci avantajları sayesinde son yıllarda özellikle savunma sanayisinde tercih edilen sertleştirme metodlarının başında gelmektedir. Numunelere kontrollü ortamda gaz nitrasyon işlemi uygulanmış olup parametre ve adımları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3.** Numunelere uygulanan nitrasyon işleminin parametreleri ve adımları

Gaz nitrasyon ısıl işlemi ve oksidasyon	
1	200 °C’de Ön Isıtma
2	580 °C’ye Kademeli Isıtma
3	580 °C’de 180 dk tutularak Nitrasyon
4	580 °C’den Kademeli Olarak Soğutma
5	Oksidasyon

Bu çalışma kapsamında yapılan gaz nitrasyon işlemi kontrollü ortamda yapılmış olup, konuyla ilgili daha önce yapılan 32CrMoV çeliğinin aşınma

direncini arttırmak için yeni bir ısıl işlem yöntemi geliştirilmesi çalışması kapsamında, yüzey sertleştirme işlemleri boyunca, malzemenin oksitlenmemesinin kontrol edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmiştir. Oksijenin çelik içinde yayılımı ile malzemenin kırılabilirliği artmakta ve darbelere karşı dayanımının azaldığı bu nedenle uygulanacak ısıl işlem proseslerinde kontrollü atmosferde yapılmasının bu olumsuz etkileri önleyeceği bildirilmiştir (Özcan, 2012).

Nitrasyon sonrası parçalara uygulanan oksidasyon işlemi parçaya siyah bir görünüm kazandırmasının yanında parçaya yapılacak boya veya diğer kaplama işlemlerinin daha iyi tutunmasını ve daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Hatta oksidasyon işlemi ile sağlanan renk tonu istenilen kıvamda ise herhangi bir kaplama işlemi yapmadan parça oksidasyonlu olarak da kullanılabilir, bu da günümüz rekabet koşullarında düşük maliyet elde edilmesini açısından avantaj sağlamaktadır (ALPER, 2020).

### 3. Bulgular

Bu çalışma kapsamında, su verme (kitle sertlik) sertleştirilmesi ve gaz nitrüleme (Nitrasyon) uygulanan numunelerin sertlik ölçümleri yapılmış, numunelere düşük hızda darbe deneyleri uygulanarak numunelere etki eden kuvvet değerleri saptanmış ve absorbe edilen enerji değerleri yorumlanarak numunelerin darbe dayanımları karşılaştırılmıştır. Saptanan kuvvet değerleri, geliştirilen namlu malzemesinin sınır değerlerinin belirlenmesini sağlamıştır.

Yapılan yüzey iyileştirme işlemleri sonrasında sertlik ölçüm sonuçları Tablo 4 ve 5 ile Şekil 5’te sırası ile verilmiştir. Su verme sertleştirilmesi uygulanan numunelere AFFRI 206 EX model



sertlik ölçüm cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Nitrürlenmiş numunelerin sertlik ölçümleri ise numunelerden kesilen parçaların bakalite alınarak laboratuvar ortamında hazırlanarak Microvickers cihazında mikroskop incelenmesiyle üç farklı noktadan alınan verilerin ortalaması belirlenerek yapılmıştır.

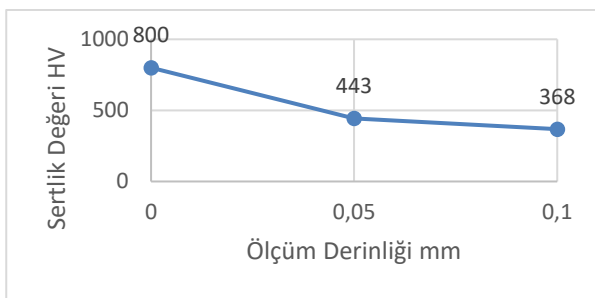
**Tablo 4.** Su verme sertleştirilmesi yapılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçları

Numune	Sertlik	Skala
1	490±2	HV
2	495±2	HV
3	495±2	HV

Su verme sertleştirilmesi uygulanan numunelerin sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde numunelerin ortalama 493 HV (Yaklaşık 49 HRC) kitle sertliğine sahip oldukları tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Gaz nitrürlenmiş numunenin mikrosertlik ölçüm sonuçları

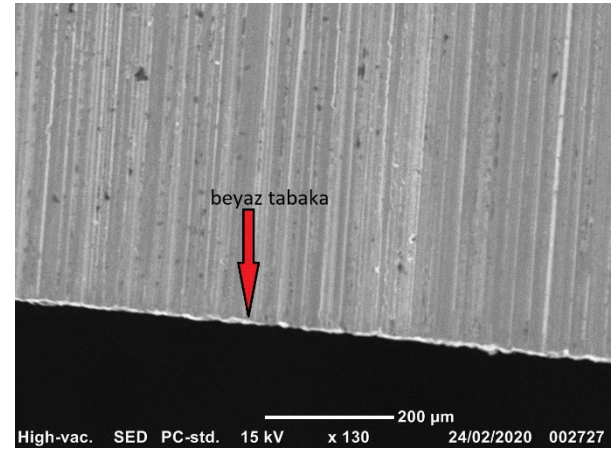
Beyaz tabaka: 5 µm		
Derinlik (mm)	Sertlik	Skala
Yüzey	800±2	HV
0.05	443±2	HV
0.1	368±2	HV
6.4	330±2	HV



**Şekil 5.** Gaz nitrürlenmiş numunenin mikrosertlik ölçümlerinin grafiği

Gaz nitrüleme ve sonrasında oksidasyon işlemleri uygulanan numunelere yapılan mikrosertlik deneyi sonucu 5 µm derinliğinde beyaz tabaka tespit edilmiştir. Mikrosertlik ölçüm sonucuna bakıldığında numunelerin çekirdek sertlikleri 330 HV olduğu dış yüzeylerinin ise (yaklaşık 2.5 kat daha sert) 800 HV olduğu tespit edilmiştir. Yüzey sertleştirme yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken

en kritik detaylardan birisinin yüzeyi sertleştirirken, yüzeyden iç tarafa doğru ilerledikçe malzemenin asıl özelliklerinden mümkün olduğunca az ödün vermek olduğunu belirtmiştir. Malzeme yüzeyinin sert, yüzeyden içeriye gidildikçe sünekliliğin yüksek olması gerektiğini vurgulamıştır. AISI4140 ve DIN1.2344 malzemelerin gaz nitrasyon ile yüzey sertleştirilmesi konusunda yapılan çalışmada sertliklerinin karşılaştırıldığı, her iki numunenin de yüzeylerinin orijinal halinden daha yüksek sertlikte oldukları, yüzeyden içeri doğru ilerledikçe sertliğin düştüğü fakat 1.2344 malzemede difüzyon tabakası boyunca sert nitrür fazların fazla olması sebebiyle sertlik değerlerinin fazla olduğu bildirilmiştir (Özcan, 2012; Polat 2011). Bu nedenle uygulanan metotlarda, malzemenin yüzeyini sertleştirirken tokluğunu korumak en önemli hedeflerden biridir. Bunun için metot mümkün olduğunca düşük sıcaklıklarda uygulanmalı ve yüzeyden uzaklaştıkça mikro yapının değişimi minimuma indirilmelidir. Şekil 6'da namı malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan 32CrMoV12-10 malzemesine gaz nitrasyon işlemi uygulanması sonucu elde edilen beyaz tabakanın SEM görüntüsü verilmiştir.

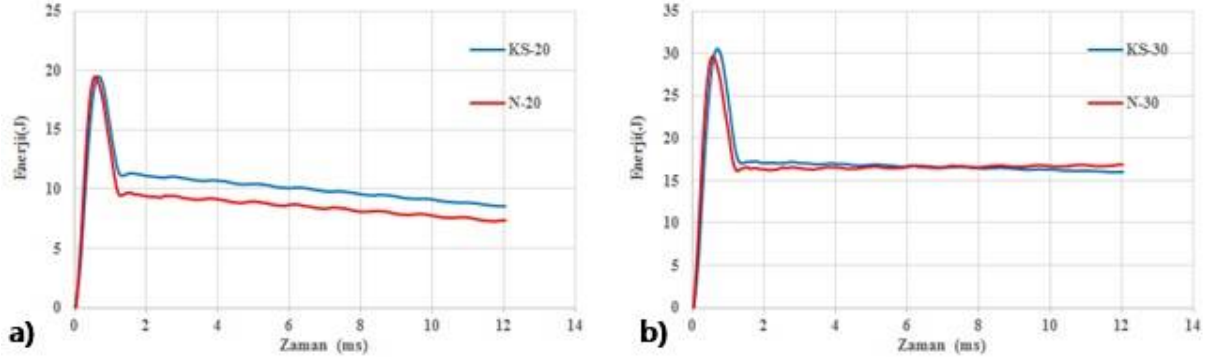


**Şekil 6.** 32CrMoV12-10 namı malzemesinin gaz nitrasyon işlemi sonrası oluşan beyaz tabakanın SEM görüntüsü

Gaz nitrüleme işlemi yapılan numunelerin yüzey sertliklerinin, su verme işlemi uygulanan numunelerden yaklaşık 1.5 kat daha fazla olduğu buna karşılık gaz nitrürlenmiş numunelerin çekirdeklerinde su verme uygulanmış numunelere göre daha sünek bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Bu sebeple nitrürlenmiş numunenin yüzeyinin daha sert oluşu aşınma dayanımını arttıracak, dolayısıyla tabanca namlusunun atım ömründe de artış sağlanacaktır.

Yüzey sertleştirme işlemi yapılan numunelere ağırlık düşürme tekniği ile çalışan CEAST Fractovis Plus markalı darbe cihazı ile 20 ve 30 Joule enerjiye sahip düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmıştır. Yapılan darbe deneyinde her bir numune için üç tekrar yapılarak elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Deneylere başlanmadan önceki ön çalışmalar kapsamında 20 ve 30 Joule enerji seviyelerinde darbe deneylerinin

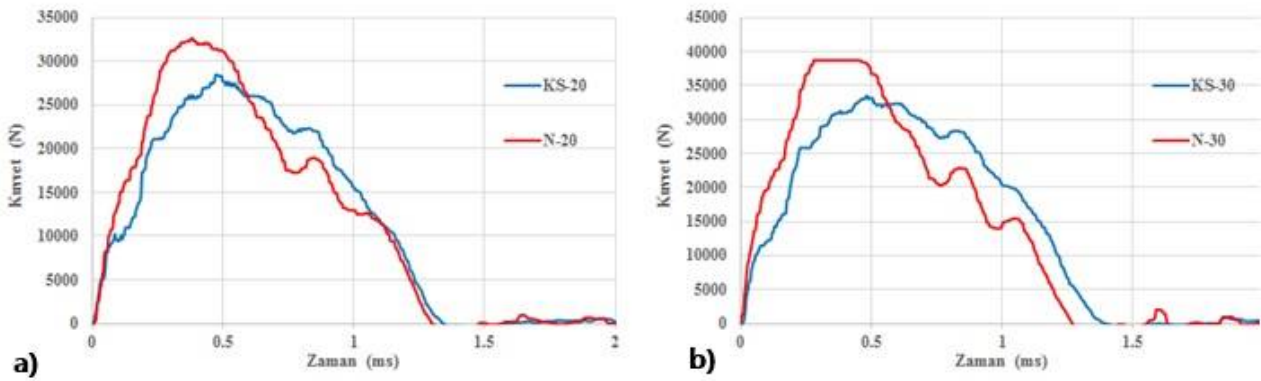
uygulanma nedenleri, namlu malzemelerinin bu değer aralıklarındaki enerji seviyelerine maruz kalmalarından dolayıdır. Bu sebeple, namlu malzemelerinin darbe enerjilerine karşı 20 ila 30 Joule aralığında gösterdikleri karakteristik özellik bu çalışma bakımından oldukça önemlidir. Darbe deneylerinden elde edilen enerji – zaman ve kuvvet – zaman diyagramları sırasıyla Şekil 7 ve 8’ de gösterilmektedir.



Şekil 7. Düşük hızlı darbe sonrası elde edilen Enerji – Zaman diyagramları: a) 20 Joule, b) 30 Joule

Şekil 7’ te gösterilen enerji – zaman diyagramlarından da görüldüğü üzere; 20 Joule enerji uygulanan numunelerde, gaz nitasyon yöntemi (N) ile sertleştirilen numunelerin absorbe ettiği enerji 9 Joule iken, su verme işlemi (Kitle sertliği - KS) ile sertleştirilen numunelerin absorbe ettiği enerji değerinin 11,5 Joule olduğu görülmektedir. Diyagramlardan da anlaşılacağı üzere; 20 Joule enerji seviyesinde gaz nitasyon yöntemi ile sertleştirilen numunelerin elastik enerji değerinin arttığı, buna bağlı olarak absorbe edilen enerji değerinin azaldığı görülmektedir.

Numunelere 30 Joule enerji seviyesinde darbe uygulandığında su verme ve gaz nitasyon yöntemleriyle sertleştirilen numunelerde enerji absorbasyon seviyelerinin birbirine yakın değerlerde ve yaklaşık 17 joule olduğu görülmektedir. 20 ve 30 Joule enerji seviyelerindeki darbe deneyi sonuçlarından her iki numune için elde edilen değerler incelendiğinde gaz nitrülenmiş numunenin artan enerji seviyesi ile daha yüksek enerji absorbe etme kabiliyeti gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 8. Düşük hızlı darbe sonrası elde edilen Kuvvet – Zaman diyagramları: a) 20 Joule, b) 30 Joule

Şekil 8’ de verilen diyagramlar incelendiğinde, darbe testi uygulanan numunelerin kuvvet – zaman eğrileri parabolik bir eğriyi oluşturmaktadır. Burada, numunelere uygulanan 20 Joule değerindeki darbe enerjisi (Şekil 7a) ile 30 Joule

değerindeki darbe enerjisi (Şekil 7.b) diyagramları karşılaştırıldığında, artan enerji değerine bağlı olarak numunelere etkileyen kuvvetin de arttığı görülmektedir. Her iki enerji değerinde de gaz nitasyon ile sertleştirilen numunelere etkileyen



kuvvetin daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla gaz nitrürlenmiş numunenin kitle sertliği numunesine göre daha yüksek darbe direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada, tabancalarda namlu malzemesi olarak kullanılan dövülmüş 32CrMoV12-10 çelik malzemeye uygulanan su verme ve gaz nitrasyon işlemlerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, gerçekleştirilen ısı işlemlerden elde edilen bulgular yapılan deneysel çalışmalar yardımıyla irdelenmiştir.

Mikrosertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde gaz nitrülleme işlemi yapılan numunelerin yüzey sertliklerinin, su verme işlemi uygulanan numunelerden yaklaşık 1.5 kat daha fazla olduğu buna karşılık numunelere yapılan kesitten sertlik ölçümü sonuçlarında nitrürlenmiş numunelerin çekirdeklerinde yüzeye göre yaklaşık 2.5 kat daha yumuşak bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Sertlik profilleri incelendiğinde, nitrürlenmiş numunelerde difüzyon tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Nitrürlenmiş numunenin yüzeyinde oluşan yüksek sertlikteki beyaz tabaka, malzemenin aşınma performansına olumlu etki yapacak dolayısıyla tabanca namlusunun atım ömrünü arttıracaktır. Ayrıca yüksek yüzey sertliğine karşılık, çekirdekte sünek yapının korunması sayesinde tabanca namlusunun daha tok yapıda olduğu ve çekirdekte mikroyapı değişiminin su verilmiş numuneye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Nitrürlenmiş numunelerde yüksek yüzey sertliğinin elde edilmesinin yanı sıra malzemenin tokluğunun da korunuyor olması, su verme sertleştirme yöntemine kıyasla avantaj sağlarken, aynı zamanda namlu istenilen kalitede atım sayısını da artırmış olacaktır. Bu durum tabanca namlu parçasının ömrünü arttıracak önemli parametrelerden biridir.

Numunelere uygulanan düşük hızlı darbe deney sonuçları incelendiğinde gaz nitrasyon yöntemi ile sertleştirilen numunelerin elastik enerji değerinin geleneksel su verme (kitle sertliğine sahip) ile sertleştirilen numunelere kıyasla daha fazla olduğu, uygulanan düşük kuvvette absorbe edilen enerji değerinin daha az olduğu fakat uygulanan kuvvet arttıkça absorbe edilen enerji değerinin arttığı tespit edilmiştir. Ek olarak darbe deneyi neticesinde elde edilen kuvvet-zaman eğrilerinden elde edilen sonuçlardan gaz nitrürlenmiş numunelerin geleneksel kitle sertliği uygulanan numunelere kıyasla düşük ve yüksek olarak belirlenen deney yükleri karşısın da etkiyen kuvvetin daha yüksek

olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde gaz nitrürlenmiş numunelerin daha yüksek yüzey sertliğine ve buna karşın daha yüksek darbe direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.

#### Kaynaklar

- ALPER- Alper Isıl İşlem Tic. A.Ş. (2020, 07 Şubat), Erişim adresi <https://www.alper.com.tr/>.
- Bostan, B. (2015). *Yüksek hız takım çeliklerinin yüksek sıcaklık aşınma dayanımına nitrasyon işleminin etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, M. (2008). *Su verme ısıl işleminde çelik-ortam arasındaki ısı transferinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dokuzlar, Ö. (2018). *36CrB4 ve 42CrMo4 çeliklerde ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- GİRSAN, Girsan Makine ve Hafif Silah Sanayi Tic. A.Ş. (2020, 03 Şubat), Erişim adresi <http://girsan.com.tr/>.
- Göksu, E. (2015). *Türk kültüründe silah (2)*. Tokat: Otügen Yayıncılık.
- Gürel, S., Yavuz, S., Karşlı, M. ve Altan, Ş.B. (2020). Hafif silahlarda kullanılan farklı kesit profiline sahip yerine getiren yayların yorulma davranışlarının incelenmesi. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 9-25.
- Güven, Ş. Y., Delikanlı, K. ve Öncel, E. (2014). AISI 4140 çeliğine uygulanan iyon nitrasyon yüzey sertleştirme işleminin yorulma dayanımına etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 4(2), 29-39.
- Karakulak, E. (2017). Toz metalurjik Cu-Ti malzemelerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 245-250. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.302651>.
- Karcan, F. (2005). *Sıcak iş sübap kalıplarının ömürlerinin etüdü*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karşlı, M. (2016). *Hafif silahlar için polimer kompozit malzeme seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özcan, H. (2012). *32CrMoV çeliğinin aşınma direncini arttırmak için yeni bir ısıl işlem metodunun*

- geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Polat, Ş., Atapek, H. Ş. ve Topaç, H. (2011). Gaz nitrasyon ile yüzeyi sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 çeliklerinde mikro yapısal karakterizasyon. *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 498-502, Elazığ.
- Rutci, A. T. (2019). *Hafif silahlarda kullanılan namlu malzemesinin geliştirilmesi ve işleme parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Saklakoğlu, N., Gençalp İrizalp, S., İldaş, G. ve Demirok, S. (2016). Microstructure and wear properties of Fe-based hardfacing alloy / Fe-esaslı sert kaplama alaşımının mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(3), 517-523.
- Savaşkan, T. (2007). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (4)*. Trabzon: Celepler Matbaacılık.
- SİJ Group, The SIJ – Slovenian Steel Group. (2020, 17 Şubat), Erişim adresi <https://www.sij.si/en/sij-brands/sinox/>.
- Toktaş, G., Toktaş, A. and Duran, M. (2018). Investigating the wear behaviour of induction hardened 100Cr6 steel. *Sakarya University Journal of Science*, 22(5), 1174-1180. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.304203>.
- Yavuz, S. (2018), *Silah gövde malzemesi AA7075-T6 alaşımının anodik oksidasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yeşiltepe, S. ve Şeşen, M. K. (2017). Korozyona dayanıklı Ni alaşımlı sünek dökme demirlerde ısıtılma işlemin küresel grafit, mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 479-482.
- Yılmaz, E. Ç. (2019). Farklı ortam sıcaklıklarının kompozit restoratif malzemelerin mekanik ve tribolojik davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 256-263. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.459904>.

## Kamu kurumları için sıfır atık kapsamında atık kâğıt envanter çalışması: Artvin Çoruh Üniversitesi örneği

*Waste paper inventory study within the scope of zero waste for public institutions: an example of Artvin Çoruh University*

Kazım Onur DEMİRARSLAN<sup>\*1,a</sup>, Serden BAŞAK<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Artvin

• Geliş tarihi / Received: 09.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 23.08.2021

### Öz

Kâğıt günümüzden yaklaşık 2000 yıl önce Çin Uygarlığı tarafından bulunmuş ve dünyaya yayılmıştır. Günümüzde ise kâğıdın yerine elektronik ortamlar kullanılmaya başlansa da dergi, gazete, önemli belge ve evraklar, kitaplar için kâğıt kullanımı sürmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli paket ve ambalajlar için kâğıt kullanımı oldukça fazladır. Kâğıdın hammaddesini ise önemli miktarda ağaçlar oluşturmaktadır. Ayrıca üretim için oldukça fazla enerjiye ve suya gereksinim vardır. Bu nedenle günümüzde kâğıt hammaddesi olarak kullanılmış kâğıtlara yönelme artış göstermektedir. Sonuç olarak atık kâğıtların toplanması, taşınımı, geri dönüşümü başlı başına atık yönetim konusunu oluşturmuştur. Yapılan bu çalışmada ise kamu kurumlarından biri olan üniversitelerde kâğıt atık miktarları incelenmiştir. Çalışma alanı olarak Artvin Çoruh Üniversitesine bağlı Seyitler ve Şehir Yerleşkelerinden toplanan atık kâğıtlar bir sene boyunca incelenmiştir. Çalışma sonucunda bir yılda toplam 2179 kg kâğıt atık toplandığı belirlenmiştir. Kişi başına düşen aylık ortalama 0.045 kg, yıllık ortalama ise 0.49 kg olarak bulunmuştur. Kâğıtların geçici depolama alanında toplanarak belirli aralıklarda hurda kâğıt toplayıcılarına verildiği tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sıfır atığı hedefleyen kamu kurumlarında yapılacak atık kâğıt envanter çalışmaları için öncü bir çalışma olması hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık kâğıt, Envanter çalışması, Kamu kurumu, Sıfır atık

### Abstract

The paper was discovered and spread to the world by the Chinese Civilization about 2000 years ago. Although electronic media is used instead of paper, the use of paper continues to be used for magazines, journals, essential documents, records, and books. Besides, the use of paper for various packages is quite high. The raw material of the paper consists mainly of wood. Hence, the use of waste paper as the raw material in the manufacture of paper is growing nowadays. As a consequence, the storage, transportation, and recycling of waste paper have become an issue of waste management. The amount of paper waste in universities, one of the public institutions, was investigated in this study. Waste papers collected from the Seyitler and City Campuses of Artvin Coruh University was tracked for one year. It was calculated from the study that a total of 2,179 kg of paper waste was obtained in one year. It was found that the monthly average per person was 0.045 kg and the annual average was 0.49 kg. It was observed that the papers were collected in a temporary storage area and given to scrap paper collectors at certain periods. This study is aimed to be a pioneering study of waste paper inventory studies to be carried out in public institutions aiming at zero waste.

**Keywords:** Waste paper, Inventory study, Public institute, Zero waste

\*a Kazım Onur DEMİRARSLAN; onurdemirarslan@artvin.edu.tr, Tel: (0466) 215 10 00, orcid.org/0000-0002-1023-7584

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5403-1609

## 1. Giriş

Geçmiş ile gelecek arasında güçlü bir ilişki kuran kâğıt insanoğlunun geçmişten gelen anı, olay, destan gibi bilgi ve birikimlerini geleceğe aktarımını sağlayan bir belgedir (Güven vd., 2012). Kâğıt endüstrisinin geçmişi 2000 yıl öncesine dayanmakta olup günümüzde bu endüstri dünya çapında 5000 adet fabrikada yılda 400 milyon ton kâğıt üreten bir sektör haline gelmiştir. Kâğıt yapım tekniklerine bakıldığında ise geçmişte uygulanan prensiplerle aynı olduğu görülmektedir (Toprak vd., 2019). Kâğıt endüstrisi enerji ve doğal kaynakları tüketen endüstrilerden bir tanesidir. Üretiminde lifler ve kimyasal maddeler dışında büyük miktarda su, buhar ve elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bunun yanında çevre üzerine de önemli etkileri olan bir sektördür. Özellikle üretim esnasında önemli miktarda kirletici çevreye verilmektedir (Cabalova vd., 2011; Gabrieli de Souza vd., 2017; Akay, 2019;). Günümüzde kâğıt hamurunun yaklaşık olarak %90'ı ağaçtan elde edilmektedir. Kâğıt üretimi için dünyada her yıl 4 milyar ağaç kesilmekte ve bu oran kesilen ağaçların %35'ini oluşturmaktadır. Sözü edilen rakamlar dünyanın toplam ekonomisinin %1.2'sini temsil etmektedir (Bhattacharjee ve Islam, 2014; Ezeudu, 2019). Günümüzde kâğıdın geri dönüşümü atık yönetiminde uygulanan en köklü uygulamalardan bir tanesidir. Kâğıt geri dönüşümünden elde edilen kâğıt hamuru, özellikle kâğıt üretiminin önemli bir parçasıdır (Pivnenko vd., 2015). Kâğıdın geri dönüşümü yeni bir teknoloji olmayıp 1826'dan beri aynı prensipler uygulanmakta olup ancak 1960'lı yıllara kadar bu konu üzerinde herhangi bir teknoloji geliştirilmemiştir (Cabalova, 2011). Kâğıt ve kartonların yapımında kullanılmış kâğıtların kullanımı ile çevrenin korunması ve enerji tasarrufu konularında önemli adımlar atılmaktadır (Lasheva vd., 2016). Atık kâğıtların türlerine bakıldığında büyük endüstri ve ticaret merkezlerinden gelen atık kâğıtlar, ofislerden kaynaklanan atık kâğıtlar ve evlerden kaynaklanan atık kâğıtlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu atık kâğıtların kalitesini ise renkli kâğıtlar, post-it gibi yapışkanlı kâğıtlar, pul, çıkartma, bant içeren yapışkanlar, yiyecek-içecek ambalajı için kullanılan kâğıtlar bozabilmektedir (URL-1, 2020). Bir ton kâğıdın geri dönüşümü ile %70 hammadde, %60 kömür, %43 enerji ve %70 su tasarrufu sağlanmaktadır. Bunun yanında kişilere ek gelir ve istihdam olanağı da sağlamaktadır. Bazı kaynaklara göre bir ton geri dönüştürülmüş kâğıttan yaklaşık olarak 17 ağaç, 2.5 varil petrol, 4100 kWh elektrik, 4 m<sup>3</sup> depolama alanı ve 31780 lt su tasarrufu sağlandığı belirtilmektedir (URL-2,

2011). Bir başka kaynağa göre ise 36 ton CO<sub>2</sub>'nin atmosfere salınmasının önlenmesi gibi 276 kg kirletici gazların atmosfere karışması da önlenmiş olmaktadır. Bunun yanında 1750 lt kadar akaryakıt tasarrufu sağlandığı belirtilmektedir. Ayrıca da 85 m<sup>2</sup> lik ormanlık alan kurtarılmaktadır (Sultan ve Gulnur, 2017). Ülkemizin üzerinde titizlikle durduğu ve kamu kurumlarının öncelik etmesi beklenen sıfır atık projesine göre 02.04.2015 Resmi Gazete tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış olan "Atık Yönetimi Yönetmeliği"nde kâğıt atıkları da önemli bir yer tutmaktadır (URL-3, 2015). Avrupa'da atıkların geri dönüşüm oranı %72 olmasına rağmen Türkiye'de bu rakam son 10 yılda %50'den fazla olamamıştır. Türkiye'de kâğıdın geri dönüşüm kapasitesi ve imkânları artsa da geri dönüşüm oranları aynı başarıyı yakalayamamıştır. Ülkemizin yaptığı kâğıt ithalatı önceki yıllarda 50-60 bin ton/yıl iken 2014 yılında 183 bin ton/yıl, 2015 yılında 250 bin ton/yıl ve 2016 yılında 500 bin ton/yıl olmuştur. Kâğıt tüketimi ise yıllık 6-7 milyon ton civarında olduğundan maliyetler de hesaba katılırsa sürdürülebilir bir durum ne yazık ki görülmemektedir. Bu nedenle tek seçenek Avrupa'da olduğu gibi mevcut geri dönüşümü en az %70 oranına yükseltmektir (Maden ve Arslankaya, 2017).

Atık kâğıtların envanterinin yapılması ayrıca önem taşımaktadır. Özellikle okul, üniversite gibi kamu kuruluşları sanayi tesislerinden sonra gelen ikinci en önemli kâğıt atık kaynağı olarak kabul edilmektedir (Dalkılıç, 2012). Bu noktalarda meydana gelen atık kâğıt miktarlarının belirlenmesi sonucunda yönetiminin daha verimli bir şekilde planlaması yapılabilir. Yapılan bu çalışmada Artvin Çoruh Üniversitesi'ne (AÇÜ) bağlı Seyitler ve Şehir Yerleşkelerindeki birimlerde oluşan atık kâğıtların miktarları belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

Kamu binalarında meydana gelen atık kâğıt miktarlarının belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada AÇÜ Seyitler ve Şehir Yerleşkeleri çalışma alanı olarak seçilmiştir. AÇÜ'nün bulunduğu Artvin 7367 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir. İlde sanayi sektörü oldukça düşük seviyededir. İl merkezinin girişinde, Çoruh Nehri'nin kenarında, 70 dönüm arazi üzerine kurulan Şehir Yerleşkesinde Eğitim Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi ve Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu bulunmakta; ayrıca bir adet kongre ve kültür merkezi ile personelin ikamet ettiği 4 bloklu 40 haneli lojmanlar ve iki adet misafirhane

yer almaktadır. Artvin il merkezine yaklaşık olarak 12 km uzaklıkta bulunan Seyitler Yerleşkesi ise 187 dönüm arazi üzerine kurulmuştur. Seyitler Yerleşkesinde Rektörlük, Rektörlüğe bağlı bazı birimler ile Orman Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Meslek Yüksek Okulu, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Sosyal Tesisler ile Sosyal Bilimler Enstitüsü ve Fen Bilimleri Enstitüsü yer almaktadır (Şekil 1) (Demirarslan, 2016;

Demirarslan ve Başak, 2017). AÇÜ Şehir ve Seyitler Yerleşkelerinde toplamda 63 adet atık kâğıt toplama kutusu bulunmaktadır. Bu kutuların birimlere göre sayıları ve buldukları noktalar Tablo 1’de verilmektedir. Çalışma kapsamında bir sene boyunca ayda iki kez söz konusu kutulardan tartım yapılmıştır. Toplama kutularının ve atık kâğıt toplama noktasının örnek fotoğrafları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı



Şekil 2. Atık kâğıt toplama kutuları ve atık kâğıt toplama noktası

**Tablo 1.** Atık kâğıt toplama kutularının yerleri ve sayıları

Atık kâğıt toplama kutu yerleri	Kısaltması	Adet
<b>Şehir yerleşkesi</b>		
Sağlık Bilimleri Fakültesi	SBF	4
Eğitim Fakültesi	EF	3
Fen Edebiyat Fakültesi	FEF	3
Sağlık Hizmetleri MYO	SHMYO	3
<b>Seyitler yerleşkesi</b>		
Mühendislik Fakültesi	MF	4
Öğrenci İşleri	Öİ	3
Bilgi İşlem Daire Bşk.	BİDB	2
Fen Bilimleri Enstitüsü	FBE	1
BAP Koordinatörlüğü	BAP	1
Orman Fakültesi	OF	17
Yazı İşleri	Yİ	1
Personel Daire Bşk.	PDB	1
Strateji Geliştirme Daire Bşk.	SGDB	3
İdari ve Mali İşler Daire Bşk.	İMİDB	3
Basın ve Halkla İlişkiler	BHİ	1
Rektörlük	RKTLK	5
Artvin MYO	AMYO	8

### 3. Bulgular

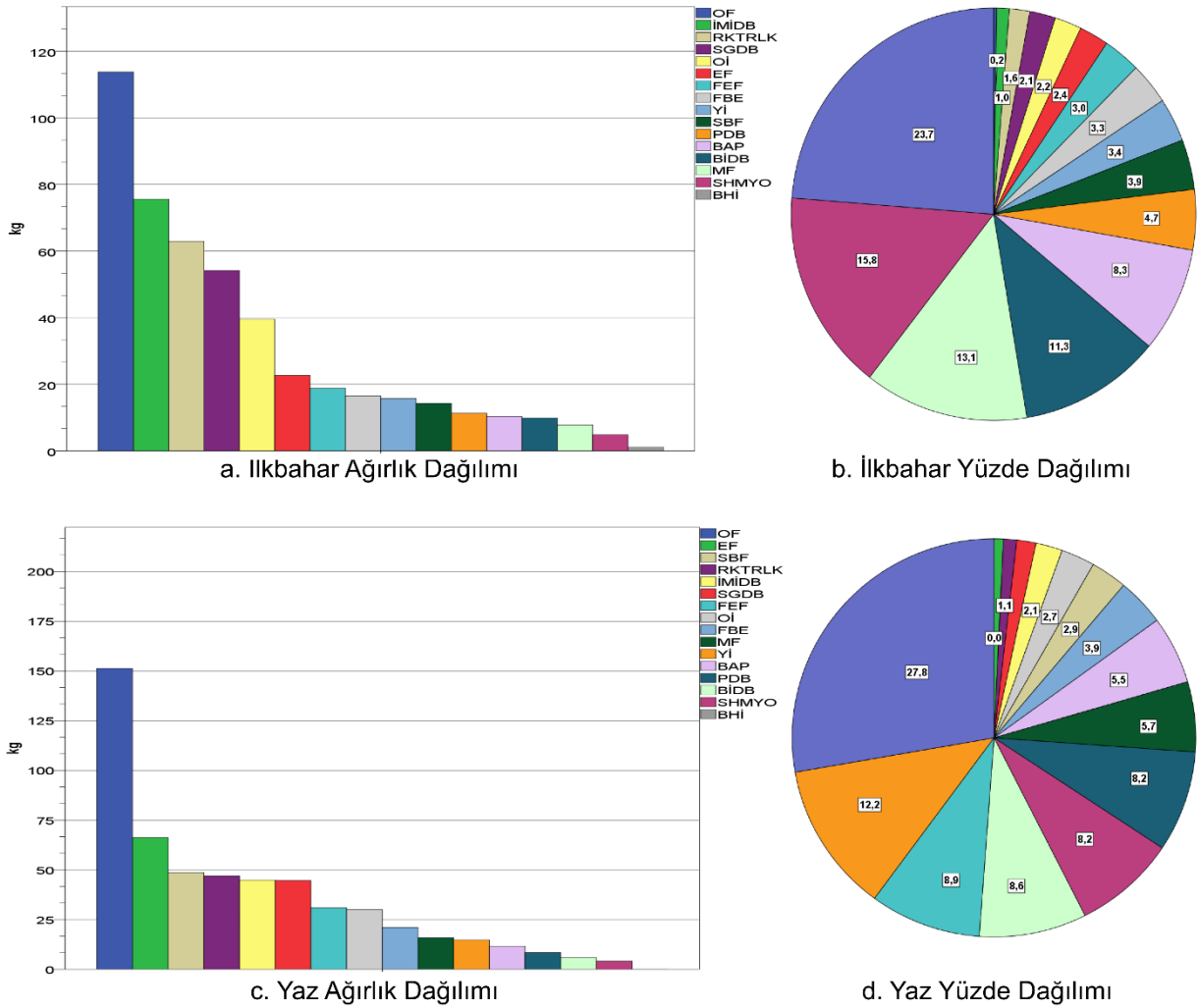
Birimlere göre elde edilen ilkbahar-yaz mevsimlerinin atık kâğıt verileri Şekil 3'te verilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde ilkbahar ve yaz aylarında en yüksek atık kâğıt oranının Orman Fakültesi'nde olduğu görülmektedir. İlkbahar aylarında en yüksek ikinci oranın İdari Mali İşler Daire Başkanlığında, yaz aylarında ise ikinci en yüksek değer Şehir Yerleşkesindeki Eğitim Fakültesinde olduğu anlaşılmıştır. Diğer taraftan en az atık kâğıdın toplandığı yer ise Basın ve Halkla İlişkiler birimidir.

Şekil 4'te ise sonbahar ve kış aylarında birimlere göre toplanan atık kâğıtların miktarları ve yüzdeleri verilmektedir. Buna göre sonbahar ve kış aylarında da en fazla miktar Orman Fakültesine aittir. İkinci en yüksek miktar ise sonbahar aylarında

Rektörlüğünde bulunduğu idari kısımda, kış aylarında ise Fen Edebiyat Fakültesinde toplandığı tespit edilmiştir.

Tablo 2'de birimlere göre toplanan kâğıtların minimum, maksimum, ortalama değerleri ile bunlara bağlı standart sapmaları verilmektedir. Tablo 2'deki standart sapmalar incelendiğinde SBF, EF, FEF, SHMYO, BİDB, BHİ birimlerinde aylara göre toplanılan kâğıt miktarlarının oldukça değişkenlik gösterdiği anlaşılabilmektedir. Diğer birimlerde ise standart sapma ortalamadan küçük olduğu görülmekte bu durumda aylık toplanan kâğıt miktarları arasında yakınlık olduğu söylenebilmektedir. Birimlerde çalışanlar ve öğrencilerin toplam sayısı 4420 kişidir. Aylara göre kişi başı atık kâğıt miktarları ise Şekil 5'te verilmektedir.





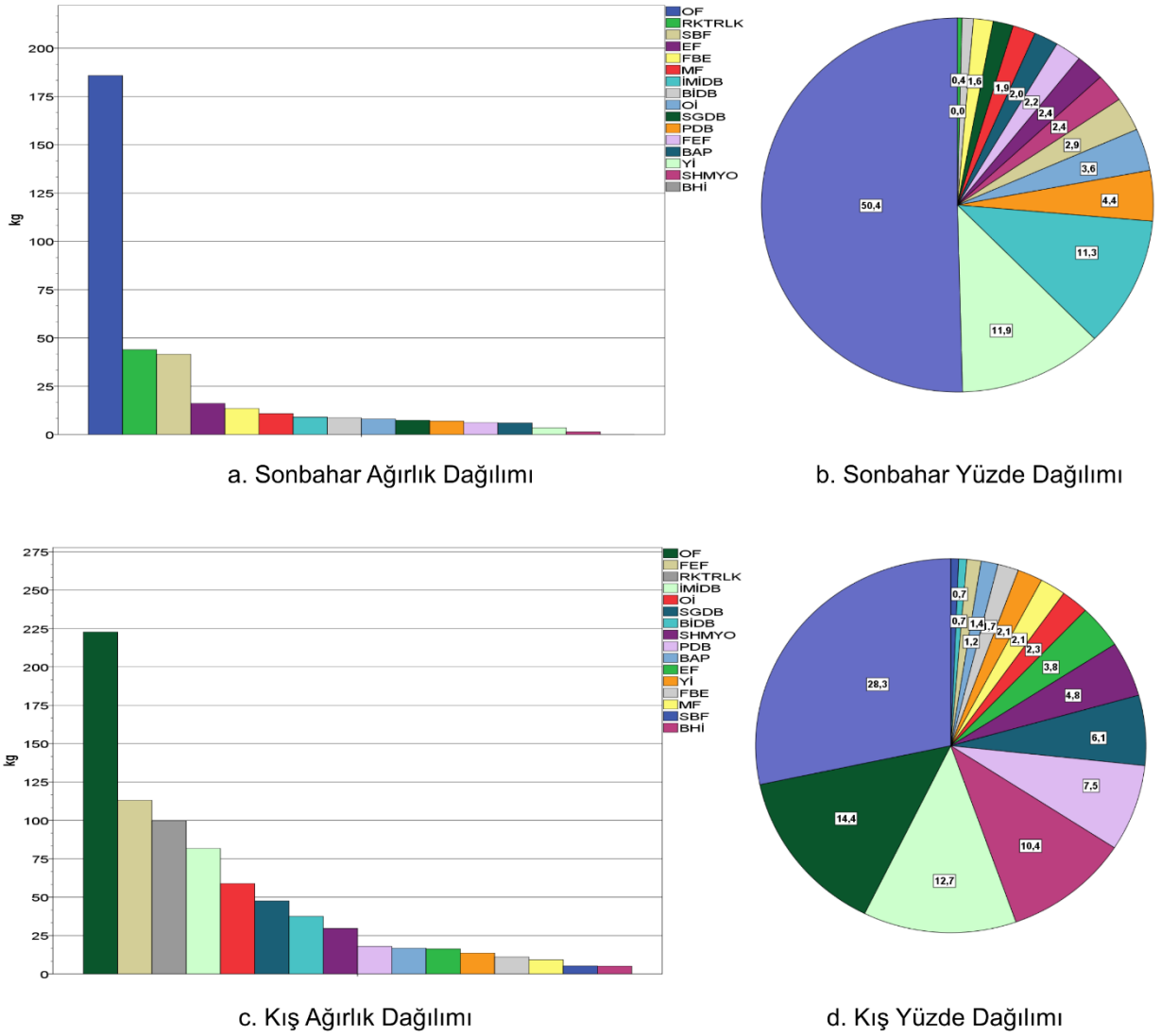
Şekil 3. İlkbahar-yaz mevsimi birimlere göre toplanan kâğıt miktarı

Şekil 5'teki grafik incelendiğinde kişi başına en fazla kâğıt atığın toplandığı ayın Ocak ayı olduğu görülebilmektedir. Bunun dışında Şubat, Haziran ve Aralık ayı ikinci sırada gelmektedir. Diğer aylarda ise miktarın azaldığı anlaşılmıştır. Kişi başına düşen aylık ortalama 0.045 kg, yıllık ortalama ise 0.49 kg olarak bulunmuştur.

Birimlerde bulunan atık kâğıt toplama kutularında biriktirilen kâğıtlar düzenli olarak alınarak Seyitler Yerleşkesinde bulunan toplama noktasına (Şekil 2) ulaştırılmakta ve hava şartlarından etkilenmeden saklanmaktadır. Burada toplanan kâğıtlar ise belirli

aralıklarla üniversite gözetiminde kâğıt toplayıcıları tarafından alınmaktadır.

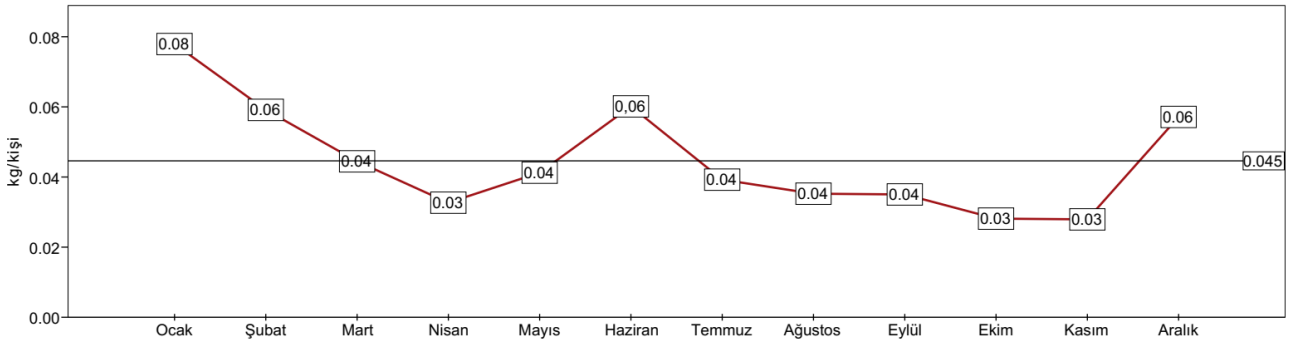
Şubat 2020 tarihinde bir web sitesinden alınan hurda kâğıt fiyatları incelendiğinde özellikle karışık kâğıt atıkların kilosu 0.30 TL olduğu belirlenmiştir (URL-4, 2020). Hâlihazırda üniversite kâğıtları satmamasına rağmen teorik olarak 1 yılda toplanan toplam atık kâğıt miktarı 2179 kg olduğundan buna göre elde edilebilecek atık kâğıtların hurda dönüşüm fiyatı yaklaşık 654 TL hesaplanmıştır. Çevresel kazanımlara bakıldığında Tablo 3'teki veriler elde edilmektedir (URL-5, 2020).



Şekil 4. Sonbahar-kış mevsimi birimlere göre toplanan kâğıt miktarı

Tablo 2. Birimlere göre toplanan atık kâğıtların istatistiksel değerlendirilmesi

Birimler	Min. (kg)	Maks.(kg)	Ort.(kg)	Std.sapma
SBF	0	26.13	8.43	9.72
EF	1.69	48.09	9.32	12.16
FEF	0.13	46.68	13.00	14.60
SHMYO	0	16.68	3.06	4.80
MF	0	7.58	3.36	2.67
Öİ	1.49	26.79	10.49	7.98
BİDB	0.95	20.49	4.75	5.54
FBE	0	13.32	4.76	4.19
BAP	0	7.52	3.43	2.42
OF	24.73	126.68	51.81	26.36
Yİ	0	9.87	3.65	2.99
PDB	0	7.56	3.42	2.63
SGDB	0	27.36	11.82	9.16
İMİDB	0	46.20	16.23	13.86
BHI	0	2.37	0.48	0.81
RKTRLK	2.78	38.62	19.50	10.37
<b>TOPLAM</b>	<b>31.77</b>	<b>471.94</b>	<b>167.51</b>	



**Şekil 5.** Aylara göre kişi başına toplanan atık kâğıt miktarı

Tablo 3'te görüldüğü üzere bir yılda toplanan kâğıt atıklar sonucu ciddi oranda çevresel ve enerji tasarrufu elde edilmiştir. Özellikle enerji ve su kullanımında önemli tasarrufların sağlandığı görülebilmektedir. Ağaç kullanım tasarrufu incelendiğinde toplamda 57.5 adet ağacın kesilmekten kurtarıldığı görülmektedir (URL-5,

2020). Toplam enerji tasarrufu ise yıllık 73 adet evsel buzdolabının çalışmasına eşittir. Sera gazı emisyonları ise yılda 4 aracın yaydığı emisyon kadardır. Su kullanım tasarrufu da yıllık 37 adet sifonun kullanımına denk gelmektedir (URL-5, 2020).

**Tablo 3.** Toplanan kâğıt atıklar sonucu oluşan tasarruf detayları

Tasarruf kalemi	Tasarruf miktarı (br/yıl)
Ağaç Kullanımı	8.7 Ton
Enerji Kullanımı	17877 kwh
Sera Gazları emisyonu	19.5 ton eq CO <sub>2</sub>
Su Kullanımı	194.570 m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> emisyonu	2350 O <sub>3</sub> eq/m <sup>3</sup>
PM emisyonu	767 PM2.5eq/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> emisyonu	8.93 kg
UOB emisyonu	0.18 kg
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	20.77 kg
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	9.88 kg
Ormansızlaşma	3642 m <sup>2</sup>
Cıva Emisyonu	87.2 mg
Dioksin Emisyonu	7680 mg

#### 4. Tartışma ve sonuç

Yapılan bu çalışmada AÇÜ Seyitler ve Şehir yerleşkelerinde toplamda 63 adet atık kâğıt toplama kutusunda toplanan atık kâğıtlar bir sene boyunca ayda iki kere tartılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en az kâğıdın Basın ve Halkla İlişkiler Biriminden kaynaklandığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi ise çalışan sayısının az olmasından çok birimin işlemlerini sanal ortamda yürütmesinden kaynaklanmaktadır. Şehir Yerleşkesindeki öğrenci sayısı Seyitler Yerleşkesine göre daha çoktur. Bu bilgi dikkate alındığında dönem sonlarında Şehir Yerleşkesindeki birimlerde atık kâğıtlarda ciddi bir artış olduğu belirlenmiştir. Nedeni incelendiğinde ise öğrencilerin final ve bütünleme sonrasında yıllık ders notlarını atık kâğıt toplama kutularına atmaları olarak tespit edilmiştir.

İdari birimlerin fazla olduğu Seyitler Yerleşkesinde ise mali yılın kapanması ve sürekli evrakların süresinin dolması sonucunda atık kâğıt miktarlarında ciddi artışlar görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda atık kâğıtların toplanması ile önemli miktarda ekonomik ve çevresel kazançların olduğu belirlenmiştir. Ancak bu miktarlar yeterli olmayıp artırılabilir niteliktedir. Atık kâğıtların geri kazanımı konusunda çalışan ve öğrencilerin daha çok bilinçlendirilmeleri, tek yüzü yazılmış kâğıtların arkalarını taslak çıktı almak veya ders çalışmak için kullanmaları, her iki yüzü yazılmış kâğıtların yapışkanlardan ve zimba tellerinden arındırılarak atık kâğıt toplama kutularına atılmaları geri dönüşümü kolaylaştıracak ve maliyeti düşürecek adımlardan olacaktır. İyi yönetilecek bir bilinçlendirme kampanyası sonrasında, bu çalışma sırasında toplanan kâğıttan

çok daha fazlasının toplanması, ayrıca bunların satılarak hem katı atık bertaraf tesislerine daha az yük binmesini hem de kuruma ek bir gelir sağlanabilmesi öngörülmektedir. Bunun yanında başta kamu kurumlarının Elektronik Belge Yönetim Sistemine (EBYS) geçişlerinin tamamlanması ve kurumlar arası entegrasyonun sağlanması hem zaman tasarrufu sağlayacak hem de atık kâğıt oluşumunu engelleyecek unsurların başında gelmektedir. Yapılan bu çalışmada Basın ve Halkla İlişkiler Bölümünün en az atık kâğıt üreten birim olması dijitalleşmenin önemini göstermektedir. Ayrıca öğrencilere ders notu olarak fotokopi dağıtmak yerine dünyaca kabul görmüş ve hangi cihazdan görüntülenirse görüntülensin format değişikliğine yol açmayan Taşınabilir Belge Biçimi (Portable Document Format, pdf) şeklinde dosyaların paylaşılması, öğrenciler üzerindeki maddi yükü ve dönem sonlarında oluşan atık kâğıt miktarlarını da azaltacaktır. Çoğu kamu kurumu doğalgaza geçmiş olduğundan atık kağıtların yakılması da bir çözüm değildir. Yakılan kağıtlar daha çok hava kirliliğine ve hem bacaların tıkanması hem de ekonomik değeri olan bir ürünün yitirilmesine sebep olmaktadır. Önemli evraklar kağıt atığına gönderilmeden önce kağıt imha makinesi ile imha edilerek atılabilir.

“Sıfır Atık”; israfın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasını kapsayan atık yönetim felsefesi olarak tanımlanan bir hedeftir (URL-3, 2015). Tüm önlemlere ve dijitalleşmeye rağmen açığa çıkması muhtemel kağıt atıklarının toplanarak yeniden kağıt haline getirilmesinin (Özbakır Umut vd., 2015) yanı sıra, mobilya tasarımı (Şahin, 2018) veya inşaat ve konstrüksiyon malzemesi (Binici vd., 2013; Aydın İpekçi vd., 2017) olarak kullanılması gibi farklı yollarla değerlendirilmesi de mümkündür. Bu sayede farklı sektörlerde kullanılacak atık kâğıtlar, hem çevreyi kirletmeyecek hem de kullanılan sektörün çevreye karşı daha duyarlı olması sağlanacaktır. Özellikle kamu kurumlarının diğer kurumlara ve tüzel kişilere örnek olması için atık kâğıttan başlayarak diğer geri dönüştürülebilir ürünlerin toplanması hem ülke ekonomisine hem de çevre koşullarına olumlu katkıda bulunacaktır. İlgili kuruluşlar ve üniversiteler tarafından atıkların farklı sektörlerde yeniden kullanılması için Ar-Ge çalışmaları da yürütülebilir.

## Kaynaklar

- Akay, Ö. (2019). Kâğıt ve kâğıt ürünleri üretimi ve gayri safi yurt içi hasılanın elektrik enerjisi tüketimine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 1006-1012. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.565505>
- Aydın İpekçi, C., Coşkun, N. ve Tıkansak Karadayı T. (2017). İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi, *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(2), 43-50.
- Bhattacharjee, D. and Islam, K. (2014). Development of a paper recycling process. *Proceedings of the 15th Annual Paper Meet*, (pp. 1-6). Dhaka, Bangladesh.
- Binici, H., Küçükönder, A., Sevinç, A.H., Eken, M. ve Tüfenk, N. (2013). Atık kâğıt ve mukavvaların yalıtım malzemesi ve radyasyon tutucu materyal olarak üretiminde kullanılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 21-29.
- Cabalova, I., Kačík, F., Geffert, A. and Kačíková, D. (2011). The effects of paper recycling and its environmental impact. the effects of paper recycling and its environmental impact, Chapters, in: Elzbieta Broniewicz (ed.), *Environmental Management in Practice*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/23110>
- Dalkılıç, Y. (2012). *Atık kağıt geri dönüşümünde karşılaşılan sorunlar (Bahçelievler Belediyesi örneği)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Demirarslan, K.O. (2016). Kentsel gelişmenin hava kalitesi üzerine etkileri ve Doğu Karadeniz Bölgesi. *Karadeniz Araştırmaları Dergisi*, 52, 27-55. <http://dx.doi.org/10.12787/KARAM1120>
- Demirarslan K.O. and Başak S. (2017). Traffic-related CO<sub>2</sub> dispersion and its effects: cases of Artvin Coruh University City Campus and Seyitler Campus. Arapgirlioglu, H., Atik A., Elliott R. L., Turgeon E. (Eds.), *Researches on Science and Art in 21 st Century Turkey*, (s. 814-822), Gece Publishing, 814-822.
- Ezeudu, O.B., Agunwamba, J.C., Ezeasor, I.C. and Madu, C.N. (2019). Sustainable production and consumption of paper and paper products in Nigeria: A review. *Resources*, 8(53), 1-23. <https://doi.org/10.3390/resources8010053>
- Gabrieli de Souza, A., Kano, F.S., Bonvent, J.J. and Rosa, D.D.S. (2017). Cellulose nanostructures obtained from waste paper industry: a comparison of acid and mechanical isolation methods. *Materials Research*, 20(2), 209-214.

<https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0863>

<https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555577>

- Güven N., Kaplanoğlu L. ve Yangöz H. (2012). Kağıt yüzeyine uygulanan sanat eserlerinde kağıdın önemi. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 5(9), 46-59.
- Lasheva, V., Todorova, D., Kotlarova, S. and Kamburov, M. (2016). Deinking of waste offset printed paper by the use of enzymes. scientific proceedings. International Scientific Conference High Technologies. Business. Society 2016, Year XXIV, Volume I, P.P. 40-42
- Maden, S. and Arslankaya, E. (2017). Regional waste paper recycling inventory study in Turkey and distribution of recycling quality classes. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 1(3), 34-38.
- Özbakır Umut M., Topuz Y. ve Nurtanis Velioglu M. (2015). Çöpten geri dönüşüme giden yolda sürdürülebilir tüketiciler, *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 263-288. <https://doi.org/10.18026/cbusos.68623>
- Pivnenko, K., Eriksson, E. and Astrup, T.F. (2015). Waste paper for recycling: overview and identification of potentially critical substances. *Waste Management*, 45, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.028>
- Sultan B and Gulnur M.E. (2017). Contribution to national economy of waste paper recycling (example of Turkey's hotels). *International Journal of Environmental Sciences & Natural*, 2(1), 555-577.
- Şahin S. (2018). Mobilya tasarımında ekolojik malzeme açısından kağıt kullanımı, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 3(1), 53-61. <https://doi.org/10.26835/my.367862>
- Toprak, D., Yılmaz, G., Yılmaz., T., Gülpınar, K., Çakmak, Y., Yücel, A. ve Uçar, D. (2019). Kağıt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtılabilirliği, biyogaz üretimi ve çoklu reaktör sistemleri ile süreç optimizasyonu. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (3), 29-37.
- URL-1, The European Commission's Science and Knowledge Service, The JRC in Seville (Spain), (2020, 21 Ocak) <https://ec.europa.eu/jrc/en/about/jrc-site/seville?id=4139>.
- URL-2, Ministry of Environment and Forests Notification, 12th May 2011 on e-waste (Management and Handling) Rules, 2011, (2020, 21 Ocak), [moef.nic.in/downloads/rules-and-regulations/1035e\\_eng.pdf](http://moef.nic.in/downloads/rules-and-regulations/1035e_eng.pdf).
- URL-3, Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29314, (2020, 13 Şubat) <https://cygm.csb.gov.tr/yonetmelikler-i-440>.
- URL-4, <http://www.agdhurda.com/hurda-fiyat-listesi>. (2020, 13 Şubat).
- URL-5, <https://c.environmentalpaper.org/>. (2020, 13 Şubat).

## Synthesis and characterization of boron nitride nanotubes (BNNTs) with a new method and precursor materials

*Yeni bir yöntem ve öncü maddeler ile bor nitrür nanotüplerin (BNNT'lerin) sentezi ve karakterizasyonu*

**Tuba TARHAN<sup>\*1,a</sup>**

<sup>1</sup>Mardin Artuklu University, Vocational High School of Health Services, 47100, Mardin

• Geliş tarihi / Received: 26.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 23.08.2021

### Abstract

Boron nitride nanotubes (BNNTs) have many application areas thanks to their superior properties such as thermal and electrical insulation, resistance to oxidation, high hydrophobicity, and high hydrogen storage capacity, as well as biocompatible properties. Therefore, new synthesis methods are being searched for BNNT with increasing interest in recent years. In this study, high purity and yield BNNTs were synthesized using precursor materials and methods that were not previously tried in the literature. A chemical vapor storage (CVD) furnace was used for the synthesis, and various parameters were changed to achieve optimum conditions. The structure of the obtained BNNTs was characterized by Fourier conversion infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, and a UV-visible spectrophotometer. In addition, surface morphologies were illuminated using transmission electron microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM). However, it has been observed that BNNTs obtained as a result of HR-TEM (high-resolution transmission electron microscope) analysis have a single-walled structure that is difficult to synthesize. This increases the importance and quality of synthesized BNNTs.

**Keywords:** BNNTs, Characterization, Synthesis

### Öz

*Bor nitrür nanotüpler (BNNT'ler) ısı ve elektriksel yalıtkanlıkları, oksidasyona karşı dayanıklılıkları, yüksek hidrofobiteleri ve yüksek hidrojen depolama kapasiteleri gibi üstün özelliklerinin yanı sıra biyouyumlu özellikleri sayesinde birçok uygulama alanına sahiptir. Dolayısıyla BNNT için son yıllarda gittikçe artan bir ilgiyle yeni sentez yöntemleri araştırılmaktadır. Bu çalışmada, literatürde daha önce denenmemiş öncü maddeler ve yöntemle yüksek saflıkta ve verimde BNNT'ler sentezledi. Sentez için bir kimyasal buhar depolama (CVD) fırını kullanıldı ve çeşitli parametreler değiştirilerek optimum koşullar elde edildi. Elde edilen BNNT'lerin yapısı fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Raman spektroskopisi ve bir UV-visible spektrofotometresi kullanılarak karakterize edildi. Ayrıca yüzey morfolojileri geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak aydınlatıldı. Bunla birlikte HR-TEM (yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu) analiz sonuçlarına göre elde edilen BNNT'lerin, sentezlenmesi zor olan tek duvarlı (single-walled) bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Buda sentezlenen BNNT'lerin önemini ve kalitesini arttırmaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** BNNT'ler, Karakterizasyon, Sentez

\*a Tuba TARHAN; tubatarhan@artuklu.edu.tr; Tel: +90 482 213 4002-7285; orcid.org/0000-0003-2656-4464



## 1. Introduction

Structurally, BNNTs are an analog of Carbon nanotubes (CNTs) (Iijima, 1991). BNNTs containing boron and nitrogen atoms evenly distributed in hexagonal rings have attracted great attention due to their excellent mechanical properties, high thermal conductivity, antioxidation stability, excellent biocompatibility, and effective light-emitting properties (Chang et al., 2005; Lauret et al., 2005; Berber et al., 2000; Gao et al., 2011). These properties have made BNNTs great materials. In addition, due to their biocompatible properties, they have a wide range of applications in medicine and biomedical applications. A few of the application areas of BNNTs are; they can chemically bind to carbohydrates, DNA molecules, and proteins (Zhi et al., 2007; Chen et al., 2009; Gao et al., 2012). By adding to various polymers used in tissue engineering studies, increases the physical strength of the tissue scaffold and supports its proliferation by facilitating cell attachment to the scaffold (Salveti et al., 2015). It can be modified to oligonucleotides in gene silencing studies (Şen et al., 2017). It can be used as a drug carrier (Ciofani et al., 2009, 2010), and as photoelectric and neutron radiation shield materials in semiconductor devices and thermal conductive composites under high temperatures (Fu et al., 2017; Chang et al., 2006; Bai et al., 2007; Cao et al., 2009).

Ferreira et al. reported a facile and effective synthesis based on chemical vapor deposition (CVD) process with new conditions to produce boron nitride nanotubes in higher amount. They used boron powder, ammonium nitrate, and hematite as catalysts in tubular furnace, and also they without used extreme conditions for synthesis BNNTs (Ferreira et al., 2011). Nithya et al. successfully synthesized BNNT by a simple annealing process. They used amorphous boron powder (B) as a boron source to react with various metal oxide mixtures ( $V_2O_5/Fe_2O_3$  and  $V_2O_5/Ni_2O_3$ ) in their study (Nithya et al., 2014). Wu et al. high purity and large quantities of BNNTs have been successfully synthesized under ammonia gas flow at 1200 °C.

They used boric acid, ethylenediamine, and Iron (III) nitrate nonahydrate as the raw materials. They synthesized via a wet chemistry method and used as catalytic pyrolysis of organic-inorganic hybrid precursor. They were observed that the diameter of BNNTs was distributed in a range of 60–200 nm while its length was about tens of microns (Wu et al., 2017). Wang et al. via a novel two-step method,

including citrate-nitrate combustion reaction and catalytic chemical vapor deposition high-quality boron nitride nanotubes successfully synthesized. The obtaining nanotubes the diameter ranges between 20 and 80 nm, while the length is about dozens of micrometers (Wang et al., 2018). Kumar et al. synthesized 1D and 2D nanostructures and applied them for bioimaging of breast cancer cells (MCF-7). They grew nanotubes on a tungsten substrate by using copper as a catalyst with a simple and easy method. They carried out using solid precursor, boric oxide, and urea for boron and nitrogen, in a high-temperature furnace under argon atmosphere. The obtaining product was characterized by FESEM, TEM, FTIR (Kumar et al., 2018). Tang et al. with a mixture of  $B_2O_3$  and Mg, a novel precursor, successfully synthesized bulk amounts of pure BN nanotubes at 1300 °C. After the reaction, Mg was evaporated from the final product (Tang et al., 2002). Pakdel et al. BNNT films, via a catalytic chemical vapor deposition (CVD) method on silicon/silicon dioxide (Si/SiO<sub>2</sub>) substrates in a horizontal electric furnace synthesized. Furthermore, the effects of growth temperature and catalyst concentration on the morphology of the films were investigated in the study. The BNNT films were grown at 1200 and 1300 °C average outer diameters were measured as ~30 and ~60 nm, respectively. On the other hand, the BNNT films were grown at 1400 °C average diameters of thick tubes ~100 nm, and thin ones as ~10 nm were measured (Pakdel et al., 2012). Lee et al. for the first time, at 1200 °C, using MgO, Ni, or Fe as the catalysts, and an  $Al_2O_3$  diffusion barrier as an underlayer, through a catalytic chemical vapor deposition (CVD) method synthesized BNNTs. Obtained BNNTs were clean, vertically aligned, and have high crystallinity (Lee et al., 2010).

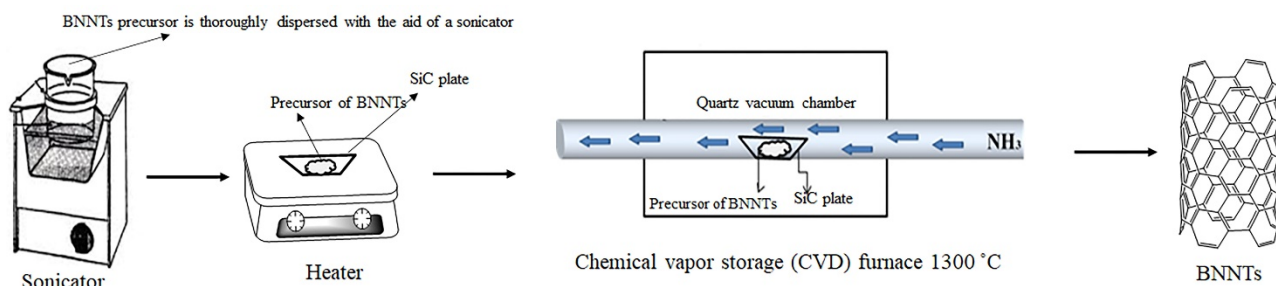
Turkey is a country rich in groundwater resources, which ranks first in the world in terms of boron reserves, the US, China, Russia, Kazakhstan, and South America come after Turkey (Eti Maden for life, 2021). The most important known uses of boron compounds are; It is used in automotive, detergent and agriculture industry, chemical industry, glass, fuel cells, space and aircraft, and ceramic materials (Eti Maden for life, 2021). It is of great importance to developing new, economical, and high value-added boron usage areas for boron minerals, which have an important place for our country. Synthesizing BNNTs, which are obtained from boron minerals and which importance and usage areas it has been mentioned above, as pure, in large quantities, and

economically as possible have special importance in this sense.

In this study, the synthesis method performed with precursor materials used in BNNT synthesis has not been tried in the literature before. As far as we know,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles as a catalyst for these precursor materials were first used in this study. Moreover, the temperature parameters and time applied in the study were first optimized for this study. Synthesized BNNTs with these starting materials are highly pure by this method and there is no need to apply a long washing procedure with concentrated strong acids (Generally, washing processes in the synthesis of BNNTs are carried out with 4M HCl and 1M  $\text{HNO}_3$ , a procedure that takes hours). After reaction obtaining product was dispersed in hot water (85 °C) and followed by filtrated. This situation increases the importance of the study. Because it is believed that washing with concentrated acid for a long time deformed the morphology of BNNTs and reduced the quality of the product. A chemical vapor storage (CVD) furnace was used for the synthesis and carried out in high purity and yield by determining the optimum conditions required. BNNTs obtained after synthesis were characterized by FTIR, Raman, UV-visible spectrophotometer. In addition, it was observed the BNNTs which surface morphologies were illuminated by using TEM and SEM have a single-walled structure.

## 2. Material and method

First, 300 mg of Boron trioxide ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), 300 mg of urea ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ ), and as a catalyst 30 mg of iron (III) oxide nanoparticles ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) were until well dispersed with the aid of a sonicator in 3 mL of 13.38M ammonia solution ( $\text{NH}_3$ ) in a beaker. The obtaining mixture was well spread on the silicon carbide (SiC) plate (The size of the SiC plate is 2 x 3 cm) with the aid of a spatula and heated on a heater at 120 °C until the solvent evaporated. Afterward, it was heated in a chemical vapor storage (CVD) furnace on the plate until to 1300 °C for about 120 minutes (10 °C / min) in an atmosphere of  $\text{NH}_3$  gas.  $\text{NH}_3$  gas flow rate was kept constant at 100-200 sccm during the reaction. Then, heating was continued at 1300 °C for 180 minutes and the furnace was turned off and the temperature was allowed to drop to 550 °C (this process took about 120 minutes). The reaction was terminated at 550 °C and the SiC plate was removed from the furnace and allowed to cool at room temperature. After reaction obtaining product was dispersed in hot water (85 °C) and followed by filtrated. Thus, if unreacted boron trioxide and urea remain, they are dissolved in water and separated from the obtained product. The reaction formation steps were schematized in Figure 1.



**Figure 1.** Scheme of the method

### 2.1. Chemicals

Boron trioxide ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), urea ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ ), and iron (III) oxide nanoparticles ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) were obtained from Sigma Aldrich. Ammonium Hydroxide ( $\text{NH}_3$ ) was purchased from BDH Chemicals.

### 2.2. Instruments

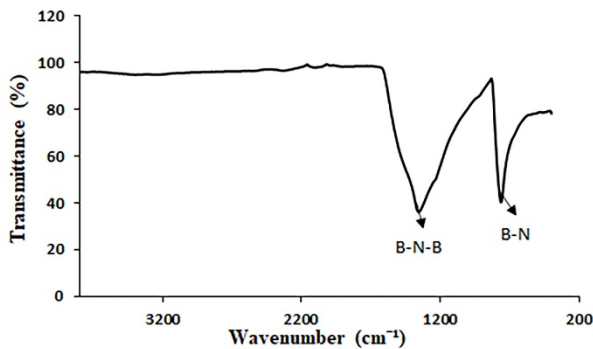
A chemical vapor storage (CVD) furnace (Protherm PTF 14/50/450) was used for the synthesis. Synthesized BNNTs were characterized using FTIR (FTIR, Thermo NICOLET IS50 spectrometer; Thermo Fisher Scientific Inc.,

Waltham, MA, USA), Raman (Renishaw inVia reflex; Renishaw plc, Gloucestershire, UK), and UV / Vis (PerkinElmer Lamda 25; PerkinElmer, Inc., Waltham, MA, USA) spectrophotometers. And also, SEM (Carl Zeiss EVO 40; Carl Zeiss Microscopy GmbH, Oberkochen, Germany) and TEM (FEI TALOS F200S 200 kV; Thermo Fisher Scientific Inc.) microscopes were used to illuminate surface morphology. All characterization procedures were performed under laboratory conditions. Also, no action was taken on the samples before analysis.

### 3. Result and discussion

#### 3.1. Characterization studies

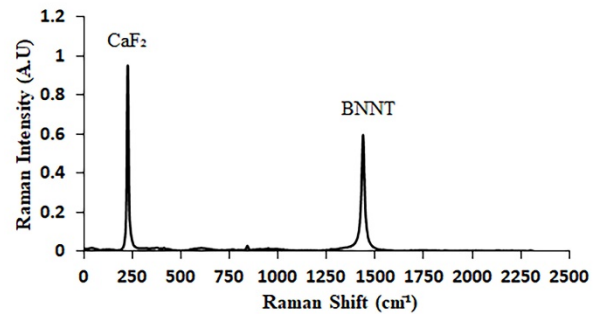
Synthesized BNNTs were first characterized by FTIR. As shown in Figure 2, the characteristic B-N-B and B-N vibration bands were observed at  $1348\text{ cm}^{-1}$  at  $764\text{ cm}^{-1}$ , respectively (Kalay et al., 2013). The broad absorption band at  $1348\text{ cm}^{-1}$  is attributed to the  $E_{1u}$  (B-N stretching vibration mode perpendicular to the c-axis) modes of h-BN; while the absorption band of the weaker peak at  $764\text{ cm}^{-1}$  could be associated with the  $A_{2u}$  (B-N-B bending vibration mode parallel to the c-axis) (Xu et al., 2007; Wu et al., 2017). Furthermore, the FTIR result showed that BNNTs were successfully synthesized. It was not observed absorption band related to the raw materials, which suggests that the as-prepared BNNTs are relatively pure.



**Figure 2.** FTIR spectrum of the BNNTs

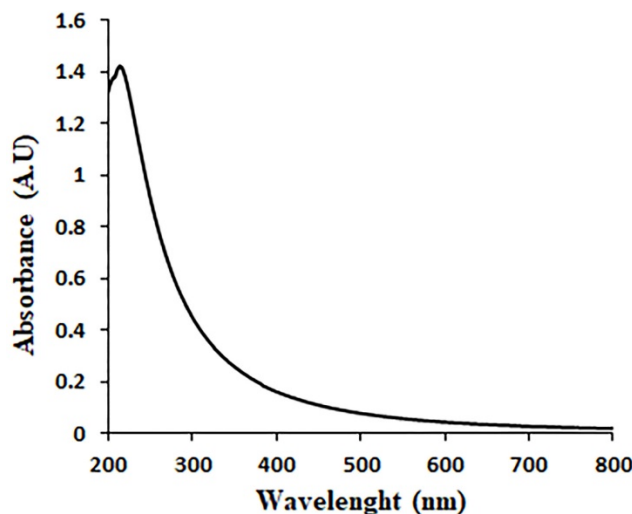
In Figure 3 was given the Raman spectrum for BNNTs. While preparing the BNNTs for Raman measurement, firstly, it was thoroughly dispersed in deionized water. In Raman measurements, liquid samples were analyzed by dropping onto a  $\text{CaF}_2$

slide. Previously, the  $\text{CaF}_2$  slide washed with ethanol and dried.  $2.5\ \mu\text{L}$  of the BNNTs were dropped on the slide and left to dry in a closed environment. The measurement of the completely dried sample was taken using a diode laser at  $830\text{ nm}$  that arranged to  $10\text{ sec}$  exposure time and a  $50\times$  objective (numerical aperture, 0.75) with a laser power of  $50\text{ mW}$ . According to the spectrum in Figure 3, characteristic peaks regarding  $\text{CaF}_2$  and BNNTs were observed at  $322$  and  $1365\text{ cm}^{-1}$ , respectively (Arenal et al., 2006). A sharp Raman peak at  $\sim 1365\text{ cm}^{-1}$  corresponds to the in-plane vibrational Raman active  $E_{2g}$  mode of h-BN (Nithya et al., 2014). In this mode, the B and N atoms were moving against each other within a plane. Lee et al. have also reported a similar observation for BNNTs (Lee et al., 2008). This result shows that the purified BNNTs were crystalline and free from impurities.



**Figure 3.** Raman spectrum of the BNNTs

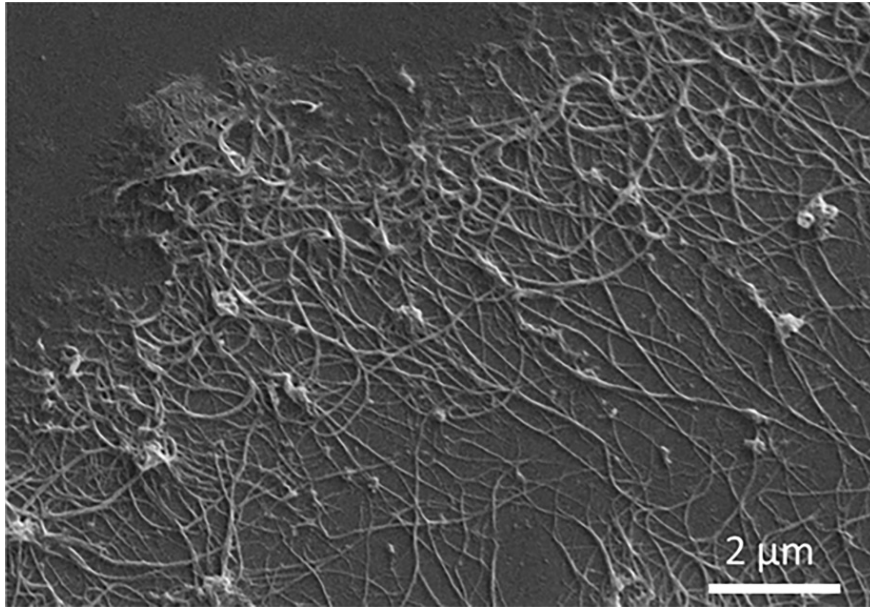
Besides, the UV-vis. spectrophotometer was used to prove the presence BNNTs. Accordingly, a strong absorbance value at  $214\text{ nm}$  in Figure 4 shows the characteristic absorbance peak for BNNTs. In addition, the results are accordance with the literature (Roy et al., 2014).



**Figure 4.** UV-vis. spectrum of the BNNTs

SEM and TEM microscopes were used to view the BNNTs and their surface morphologies. In Figure 5, it can be seen from the SEM image that BNNTs were clearly formed. As can be seen from this

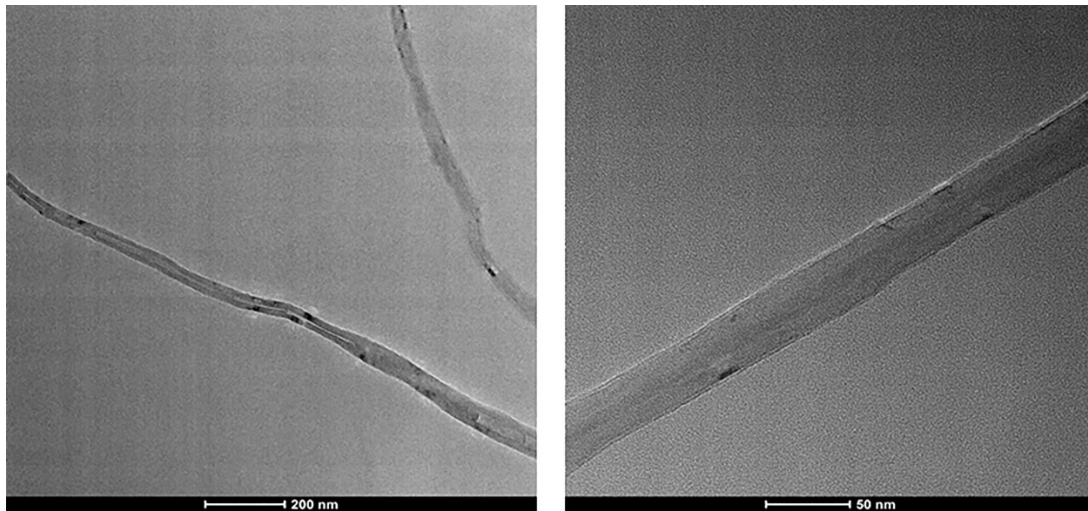
image, most of the precursor materials have turned into BNNTs. This indicates that the obtained BNNTs are of high purity. In addition, the results are in agreement with the FTIR spectrum.



**Figure 5.** SEM image of the BNNTs

In addition to the SEM image, HR-TEM images at 200 and 50 nm scales were shown in Figure 6 to show that the BNNTs exhibited a single-walled

structure. Moreover, it can be seen from these images that the surface of BNNTs was smooth, and their diameters were below 50 nm.



**Figure 6.** HR-TEM images of the BNNTs

Furthermore, Table 1 gives information on the average diameters of BNNTs obtained using different initial materials and catalysts. And also, the obtained results were compared with this study. The results showed that there is no similar synthesis method using the same initial materials and catalyst.

**Table 1.** Comparison of initial materials, catalyst, and the ranges of diameter BNNTs

Initial materials	Catalyst	The ranges of diameter BNNTs	Reference
Boron powder and ammonium nitrate	Hematite	About 100 nm	Ferreira et al., 2011
Amorphous boron powder	Metal oxide mixtures (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	The lengths of the tubes were found to be >1 μm. And also, The inner and outer diameters of the tubes were found to be 5.16 and 10.96 nm, respectively	Nithya et al., 2014
Boric acid and ethylenediamine	Iron (III) nitrate nonahydrate	60-200 nm	Wu et al., 2017
Boron powder, citric acid, polyethylene glycol (PEG; molecular weight: 1000)	Cobalt (II) nitrate hexahydrate	20-80 nm	Wang et al., 2018
Boric oxide and urea	Copper sulphate pentahydrate	8-45 nm	Kumar et al., 2018
Boron oxide and magnesium oxide	Magnesium vapor	About 70 nm	Tang et al., 2002
Boron powder	Magnesium oxide and iron oxide	At the growth temperature from 1200 to 1300 °C the average diameter from ~30 to ~60 nm was obtained. However, at 1400 °C average diameters as ~20 and ~100 nm were obtained.	Pakdel et al., 2012
Boron Powder	Ferric chloride hexahydrate	20-100 nm	Pan et al., 2014
Boric acid and melamine	Without catalyst	About 500 nm	Ansaloni et al., 2013
Amorphous boron powder	Iron (III) oxide and magnesium oxide	1-2 μm	Ahmad et al., 2015
Boron powder	Magnesium oxide and iron oxide	10-100 nm	Lee et al., 2008
Boron trioxide and urea	Iron (III) oxide nanoparticles	About 50 nm	This study

#### 4. Conclusion

As a result, BNNTs, which gathered interest with their unique properties and many application areas, were obtained with high yield and purity under optimum conditions by using a new method and

precursor materials. Moreover, the structures and morphologies of BNNTs obtained using different characterization techniques were well illuminated. In addition, high purity BNNTs can be used in biological applications in the future.



## References

- Ahmad, P., Khandaker, M. U., Amin, Y. M. and Khan, Z. R. (2015). Synthesis of boron nitride microtubes and formation of boron nitride nanosheets. *Materials and Manufacturing Processes*, 30, 184-188. <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.952041>.
- Ansaloni, L. M. S. and Sousa, E. M. B. (2013). Boron nitride nanostructured: synthesis, characterization and potential use in cosmetics. *Materials Sciences and Applications*, 4, 22-28. <https://doi.org/10.4236/msa.2013.41004>.
- Arenal, R., Ferrari, A. C., Reich, S., Wirtz, L., Mevellec, J. Y., Lefrant, S., Rubio, A. and Loiseau, A. (2006). Raman spectroscopy of single-wall boron nitride nanotubes. *Nano Letters*, 6(8), 1812-1816. <https://doi.org/10.1021/nl0602544>.
- Bai, X. D., Golberg, D., Bando, Y., Zhi, C., Tang, C., Mitome, M. and Kurashima, K. (2007). Deformation-driven electrical transport of individual boron nitride nanotubes. *Nano Letters*, 7(3), 632-637. <https://doi.org/10.1021/nl062540l>.
- Berber, S., Kwon, Y. K. and Tomanek, D. (2000). Unusually high thermal conductivity of carbon nanotubes. *Physical Review Letters*, 84(29), 4613-4616. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.4613>.
- Cao, F., Ren, W., Ji, Y. M. and Zhao, C. (2009). The structural and electronic properties of amine-functionalized boron nitride nanotubes via ammonia plasmas: a density functional theory study. *Nanotechnology*, 20(19), 145703. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/20/14/145703>.
- Chang, C. W. A., Fennimore, M., Afanasiev, A., Okawa, D., Ikuno, T., Garcia, H., Li, D., Majumdar, A. and Zettl, A. (2006). Isotope effect on the thermal conductivity of boron nitride nanotubes. *Physical Review Letters*, 97(8), 085901. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.97.085901>.
- Chang, C. W., Han, W. Q. and Zettl, A. (2005). Thermal conductivity of B-C-N and BN nanotubes. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 23(5), 1-3. <https://doi.org/10.1116/1.2008266>.
- Chen, X., Wu, P., Rousseas, M., Okawa, D., Gartner, Z., Zettl, A. and Bertozzi, C. R. (2009). Boron nitride nanotubes are noncytotoxic and can be functionalized for interaction with proteins and cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131(3), 890-891. <https://doi.org/10.1021/ja807334b>.
- Ciofani, G. (2010). Potential applications of boron nitride nanotubes as drug delivery systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 7(8), 889-893. <https://doi.org/10.1517/17425247.2010.499897>.
- Ciofani, G., Raffa, V., Menciasci, A. and Cuschieri, A. (2009). Boron nitride nanotubes: an innovative tool for nanomedicine. *Nano Today*, 4(1), 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2008.09.001>
- Eti Maden for life. (2021). Boron in the world.
- Ferreira, T. H., Silva, P. R. O. and Santos, R. G. (2011). A novel synthesis route to produce boron nitride nanotubes for bioapplications. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2, 426-434. <https://doi.org/10.4236/jbnb.2011.24052>.
- Fu, L., Wang, T., Yu, J., Dai, W., Sun, H., Liu, Z., Sun, R., Jiang, N., Yu, A. and Lin, C. T. (2017). An ultrathin high-performance heat spreader fabricated with hydroxylated boron nitride nanosheets. *2D Materials*, 4(2), 025047. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aa636e>.
- Gao, Z., Zhi, C., Bando, Y., Golberg, D. and Serizawa, T. (2011). Noncovalent functionalization of disentangled boron nitride nanotubes with favin mononucleotides for strong and stable visiblelight emission in aqueous solution. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(3), 627-632. <https://doi.org/10.1021/am1010699>.
- Gao, Z., Zhi, C., Bando, Y., Golberg, D., Komiyama, M. and Serizawa, T. (2012). Efficient disentanglement of boron nitride nanotubes using water-soluble polysaccharides for protein immobilization. *RSC Advances*, 2(15), 6200-6208. <https://doi.org/10.1039/C2RA20765F>.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354(6348), 56-58. <https://doi.org/10.1038/354056a0>.
- Kalay, S., Yilmaz, Z. and Çulha, M. (2013). Synthesis of boron nitride nanotubes from unprocessed colemanite. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 4, 843-851. <https://doi.org/10.3762/bjnano.4.95>.
- Kumar, V., Lahiri, D. and Lahiri, I. (2018). Synthesis of boron nitride nanotubes and boron nitride nanoflakes with potential application in bioimaging. *Materials Today: Proceedings*, 5(8), 16756-16762. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.037>.
- Lauret, J. S., Arenal, R., Ducastelle, F., Loiseau, A., Cau, M., Tretout, B. A., Rosencher, E. and Capes, L. G. (2005). Optical transitions in single-wall boron nitride nanotubes. *Physical Review Letters*, 94(3), 037405. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.037405>.
- Lee, C. H., Wang, J., Kayatsha, V. K., Huang, J. Y. and Yap, Y. K. (2008). Effective growth of boron



- nitride nanotubes by thermal chemical vapor deposition. *Nanotechnology*, 19, 455605. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/45/455605>.
- Lee, C. H., Xie, M., Kayastha, V., Wang, J. and Yap, Y. K. (2010). Patterned growth of boron nitride nanotubes by catalytic chemical vapor deposition. *Chemistry of Materials*, 22(5), 1782-1787. <https://doi.org/10.1021/cm903287u>.
- Nithya, J. S. M. and Pandurangan, A. (2014). Efficient mixed metal oxide routed synthesis of boron nitride nanotubes. *RSC Advances*, 4, 26697. <https://doi.org/10.1039/c4ra01204f>.
- Pakdel, A., Zhi, C., Bando, Y., Nakayama, T. and Golberg, D. (2012). A comprehensive analysis of the CVD growth of boron nitride nanotubes. *Nanotechnology*, 23, 215601. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/21/215601>.
- Pan, A. and Chen, Y. (2014). Large-scale fabrication of boron nitride nanotubes with high purity via solid-state reaction Method. *Nanoscale Research Letters*, 9, 555. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-555>.
- Roy, A. K., Park, B., Lee, K. S., Park, S. Y. and In, I. (2014). Boron nitride nanosheets decorated with silver nanoparticles through mussel-inspired chemistry of dopamine. *Nanotechnology*, 25(44), 445603. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/44/445603>.
- Salvetti, A., Rossi, L., Iacopetti, P., Li, X., Nitti, S., Pellegrino, T., Mattoli, V., Golberg, D. and Ciofani, G. (2015). In vivo biocompatibility of boron nitride nanotubes: effects on stem cell biology and tissue regeneration in planarians. *Nanomedicine (London)*, 10(12), 1911-1922. <https://doi.org/10.2217/nnm.15.46>.
- Şen, Ö., Çobandede, Z., Emanet, M., Bayrak, Ö.F. and Çulha, M. (2017). Boron nitride nanotubes for gene silencing. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1861(9), 2391-2397. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2017.05.026>.
- Tang, C., Bando, Y., Sato, T. and Kurashima, K. (2002). A novel precursor for synthesis of pure boron nitride nanotubes. *Chemical Communications*, 12, 1290-1291. <https://doi.org/10.1039/B202177C>.
- Wang, H., Wang, W., Wang, H., Zhang, F., Li, Y. and Fu, Z. (2018). Synthesis of boron nitride nanotubes by combining citrate nitrate combustion reaction and catalytic chemical vapor deposition. *Ceramics International*, 44(12), 13959-13966. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.245>.
- Wu, J., Chen, H., Zhao, L., He, X., Fang, W., Li, W. and Du, X. (2017). Synthesis of boron nitride nanotubes by catalytic pyrolysis of organo-inorganic hybrid precursor. *Ceramics International*, 43(6), 5145-5149. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.01.029>.
- Xu, S., Fan, Y., Luo, J., Zhang, L., Wang, W., Yao, B. and An, L. (2007). Phonon characteristics and photoluminescence of bamboo structured silicon-doped boron nitride multiwall nanotubes. *Applied Physics Letters*, 90, 013115. <https://doi.org/10.1063/1.2429904>.
- Zhi, C., Bando, Y., Wang, W., Tang, C., Kuwahara, H. and Golberg, D. (2007). DNA-mediated assembly of boron nitride nanotubes. *Chemistry: An Asian Journal*, 2(12), 1581-1585. <https://doi.org/10.1002/asia.2007002>.

## Türkiye’de farklı yörelerde bulunan kolemanit minerallerinin fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerinin tayini

*Determination of physical, chemical and thermal properties of colemanite minerals in different regions of Turkey*

**Dilek ŞENOL ARSLAN<sup>\*1,a</sup>**

*<sup>1</sup>Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, 38380, Kayseri*

• Geliş tarihi / Received: 02.05.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.08.2021

### Öz

Bu çalışmada, Türkiye bor rezervlerinin yaklaşık %76’sını oluşturan bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucu elde edilen uygulamalarda sıklıkla kullanılan, önemli bir bor minerali olan kolemanit kullanılmıştır. Bu kapsamda, ilk önce kolemanit minerali hakkında detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Türkiye’de toplam dört yörede bulunan kolemanit (Kestelek, Emet (Hisarcık, Espey), Bigadiç yöreleri) numunelerinin yapısal ve karakteristik özellikleri (X-Ray Difraksiyon), ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma, ICP ve Kütle Spektrometresi, MS), TG-DTA (Termogravimetrik ve Diferansiyel termal analiz), FT-IR (Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi) analizleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda saf kolemanit kristallerinin mineralojik, kimyasal ve termal özellikleri tespit edilip, numuneler arasındaki benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bigadiç, Bor, Espey, Hisarcık, Karakterizasyon, Kestelek, Kolemanit

### Abstract

*In this study, colemanite is an important boron mineral which constitutes about 76% of Turkey's boron reserves, is frequently used in applications obtained as a result of scientific and technological developments. In this context, a detailed literature survey was carried out colemanite minerals. Characteristic and structural features of the colemanite samples of four different regions (Kestelek, Emet (Hisarcık, Espey), Bigadiç regions) were determined by analyzes such as X-Ray Diffraction (XRD), Inductively Coupled Plasma, ICP and Mass Spectrometry, MS (ICP-MS), Thermogravimetric and Differential thermal analysis (TG-DTA), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) methods. In line with these findings, the mineralogical, chemical and thermal properties of pure colemanite crystals were determined and the similarities and differences between the samples were revealed.*

**Keywords:** Bigadiç, Boron, Espey, Hisarcık, Characterization, Kestelek, Colemanite

<sup>\*a</sup> Dilek ŞENOL ARSLAN; dilek.senol@agu.edu.tr, orcid.org/0000-0001-9639-2843

## 1. Giriş

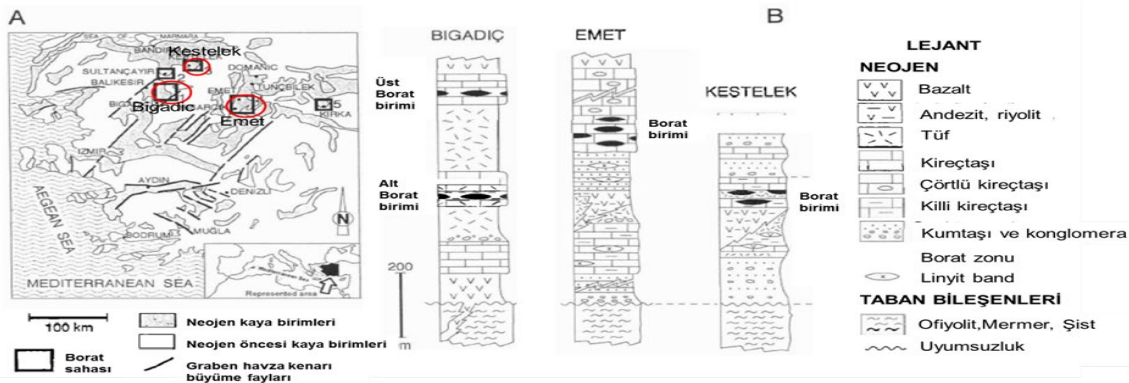
Doğada bulunan bor mineralleri yapılarındaki Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Na kökenli olan bor minerallerine “tinkal” (boraks), Ca kökenli olanlara “kolemanit” ve Na-Ca kökenli olanlara ise “üleksit” denilmektedir (Helvacı, 2003; Demirtaş, 2006). Genel olarak doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Ticari öneme sahip olan bor mineralleri %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (borik oksit) oranına göre belirlenir. Bu açıdan en önemli bor mineralleri; boraks (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O), kolemanit (Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O), üleksit (NaCaB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>.8H<sub>2</sub>O), kernit (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.4H<sub>2</sub>O), probertit (NaCaB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>.5H<sub>2</sub>O), szaybelit (MgBO<sub>2</sub>(OH)), pandermenit (Ca<sub>4</sub>B<sub>10</sub>O<sub>19</sub>.7H<sub>2</sub>O), borasit (Mg<sub>3</sub>B<sub>7</sub>O<sub>13</sub>Cl) ve hidroborasittir (CaMgBO<sub>11</sub>.6H<sub>2</sub>O) (Habashi, 1997; Woods, 1994; Kar vd., 2006; Erdoğan vd., 1998). Bor cevherleri (konsantre bor) fiziksel işlemlere tabi tutularak zenginleştirir, daha sonra rafine edilerek farklı bor kimyasallarına dönüştürülür. Genel olarak bu ürünlerin tamamı “Bor” olarak adlandırılmaktadır (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2016, Yigitbasioglu 2014).

Bor mineralleri içerisinde en yaygın olanı kolemanittir. Türkiye’de özellikle Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, Dünya’da ise Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D)’de bulunur. Kolemanit, monoklinik sistemde kristalleşen, sertliği 4-4.5, özgül ağırlığı 2.42, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği

%50.8 olan, suda yavaş asitte (HCl) hızlı çözünen bir bor mineralidir (Yigitbasioglu, 2014; Helvacı 2015). Kolemanit yataklarının birçoğunda, içinde boşluk bulunan ve kil mineralleri içerisinde gömülmüş yumru ve patates şeklindeki bantlar halinde bulunur. Yumru ve patates içerisindeki kolemanit genellikle beyaz, şeffaf camsı parlaklıkta ve renksizdir, bir kısmının içerisinde ise mavi renkli, uzun, ortorombik sölestin kristalleri yer alır. Nadir olarak kompakt ve sütunsal yapı gösterir. Kolemanitin içerisinde bulunan ve kalitesini düşüren gang mineralleri ise; arsenik, daha çok örpiment (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ve realgar (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) dir.

### 1.1. Türkiye’deki kolemanit minerallerinin jeolojisi

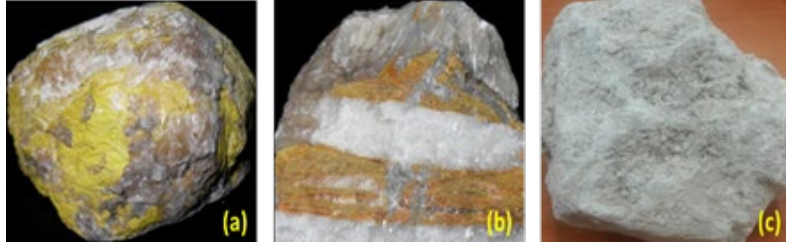
Türkiye’de bilinen kolemanit yatakları Batı Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Bu yataklar volkanik aktivite ile playa-göl tortulları içerisinde oluşmuştur (Helvacı, 2004a). Miyosen volkano sedimenter tortullar içerisinde yer alan bu borat yataklarının litolojisinin birbirinden farklılıklar göstermesine karşın, çoğunlukla kireçtaşı, çakıltaşı, kiltası, kumtaşı, tuf, tüfit, ve marn ile arakatmanlı olarak çökelmiştir (Helvacı, 2004b). Türkiye’deki kolemanit yatakları; Bigadiç, Emet ve Kestelek yörelerine ait kolemanit rezervlerinin konumu, borat birimleri ve Neojen stratigrafik kesitleri Şekil 1’de sunulmuştur. Bu bölgede yeralan Miyosen yaşlı borat yataklarının, genellikle yüksek silika içerikli olduğu ve yüksek miktarda B, As, F, Li, Sb, S ve Pb gibi volkanik ürünler içerdiği bilinmektedir (Erdem, 2010; Helvacı 2015).



Şekil 1.(a) Türkiye’deki kolemanit rezervlerinin konumu (b) Neojen stratigrafik kesitler- Bigadiç, Emet ve Kestelek yörelerine ait borat birimleri (Helvacı ve Orti 1998).

Şekil 1’de görüldüğü gibi, bor çökelimi için uygun olduğu düşünülen Neojen havzalarında oluşur. Borat yatakları iki kalın tuf tabakası tarafından iki birime (alt ve üst boratlar) ayrılmıştır. Kolemanit borat birimlerinde baskın minerallerdir. Bigadiç boratları kil, kireçtaşı ve tuf içerisine gömülmüşlerdir. Emet havzasında bulunan borat birimi miyosen tortulları içerisinde kil, tuf ve marn

ara katlıdır. Diğer taraftan Kestelek havzasında bulunan borat birimi ise miyosen tortulları içerisinde kil, marn, kireçtaşı, tüflü kireçtaşı ve tuf ara katlıdır (Helvacı, 1977; Helvacı ve Orti 1998; Dill vd., 2015). Kolemanit minerali ve beraberinde bulunan bazı gang minerallerinin görselleri Şekil 2’de sunulmuştur.



**Şekil 2.** (a) Kolemanit içine gömülmüş orpiment (b) kolemanit içine gömülmüş realgar (Helvacı, 2005) (c) kolemanit ile beraber bulunan kalsit ve kil mineralleri.

Genel olarak borat yataklarında farklı oranlarda kalsit, jips, dolomit, sölestin, anhidrit, realgar, orpiment mineralleri bulunmaktadır. Bu mineraller baskın olarak Emet yataklarında mevcuttur, ayrıca bu yörede Ca-As boratların varlığı da bilinmektedir (Helvacı, 2008).

### 1.2. Bor minerallerinin kullanım alanları

Günümüzde, neredeyse 250 farklı ürün üretiminde farklı oranlarda kullanılan bor minerali, geleceğin madeni olarak bilinmektedir (Bilgiç ve Dayık 2013).

Kullanım alanları ve üretim teknolojileri dikkate alındığında bor mineralleri genel olarak iki grupta incelenebilir:

- 1.Yaygın kullanım alanına sahip olan bor mineralleri ve ticari boratlar.
2. Kısıtlı miktarlarda üretilen ve özel tüketim alanları olan özellikli bor ürünleri.

Birçok bor minerali (kolemanit, üleksit, tinkal) zenginleştirilerek doğrudan ara madde olarak kullanılmasına rağmen, yaygın kullanım alanına sahip olan ticari boratlar ise kimyasal üretim teknolojileri ile üretilmektedir (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009; Woods, 1994). Bor bileşikler endüstride yaygın ve çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Son yıllardaki teknolojideki gelişmeler özellikli bor bileşiklerine duyulan talebin artmasını sağlamıştır. Ayrıca, özellikli bor bileşiklerinin, bor tüketiminde toplamda %25'lik paya sahip olduğu da bilinmektedir (Woods, 1994, Kalafatoğlu ve Örs 2003; Kılınç vd., 2001). Ham bor ürünlerinin (özellikle kolemanit ve tinkal) %90'ı borik asit, boraks dekahidrat ve pentahidrat gibi rafine bor

ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Güyağüler 2001). Bunların yansira kolemanit, farklı amaçlara yönelik olarak; cam elyafı (fiberglas), nükleer uygulamalar, borosilikat cam ve metalürjide birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle, borlu çelik üretiminde fluorit yerini alabilen üleksit ve kolemanit mineralleri tercih edilmeye başlanmıştır (Poslu ve Arslan 1995; Yıldız, 2004).

Kolemanit mineralinin kullanım alanının çeşitliliği ve elde edilen ürünlerin proses aşamasında gang minerallerinden kaynaklı mineralojik, kimyasal ve termal sorunları dikkate alındığında, çalışma öncesi yapılacak karakterizasyon çalışmalarının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Bu çalışma ile dört farklı yöreye ait kolemanit (Kestelek, Emet (Hisarcık, Espey), Bigadiç yöreleri) numunelerinin karakteristik özellikleri (X-Ray Difraksiyon), ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma, ICP ve Kütle Spektrometresi, MS), TGDTA(Termogravimetrik ve Diferansiyel termal analiz), FT-IR (Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi) gibi analizlerle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile birlikte saf kolemanit kristal numuneleri arasındaki benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Malzeme

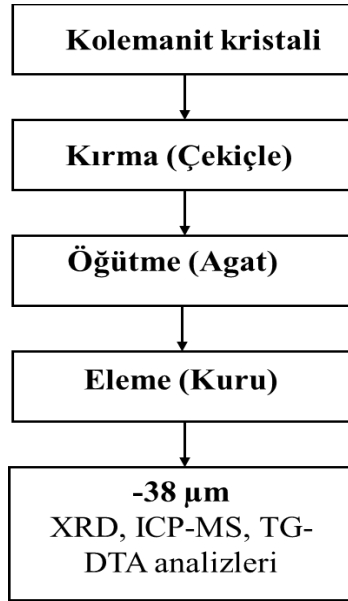
Bu çalışmada kullanılan numuneler: Kütahya, Emet'ten (Espey ve Hisarcık) ilçelerindeki ocaklardan seçilmiştir, Bursa, Kestelek ve Balıkesir, Bigadiç ilçelerinden ise Eti Maden İşletmeleri tarafından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan saf kolemanit kristalleri Şekil 3'de sunulmuştur.



**Şekil 3.** Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yörelerinden temin edilen deneysel çalışmalarda kullanılan kolemanit kristalleri.

Şekil 3'te görüldüğü üzere, aynı kimyasal bileşime sahip dört farklı yöreye ait saf kolemanit minerali incelendiğinde; kristal oluşumu ve şekli, renk, parlaklık, sertlik ve klivaj gibi fiziksel özellikleri açısından birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Tüm deneysel çalışmalar ve ölçümlerde kullanılan numunelerin hazırlanması aşamasında herhangi bir kontaminasyon olmaması için tüm süreçler titizlikle yürütülüp, aşamalar Şekil 4'teki akım şemasında sunulmuştur.



**Şekil 4.** Deneysel çalışmalarda kullanılan toz numunelerin hazırlık şeması.

Şekil 4'teki akım şemasından anlaşıldığı üzere, dört farklı yöreden temin edilen kolemanit kristalleri ilk olarak çekiçle boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra agatta

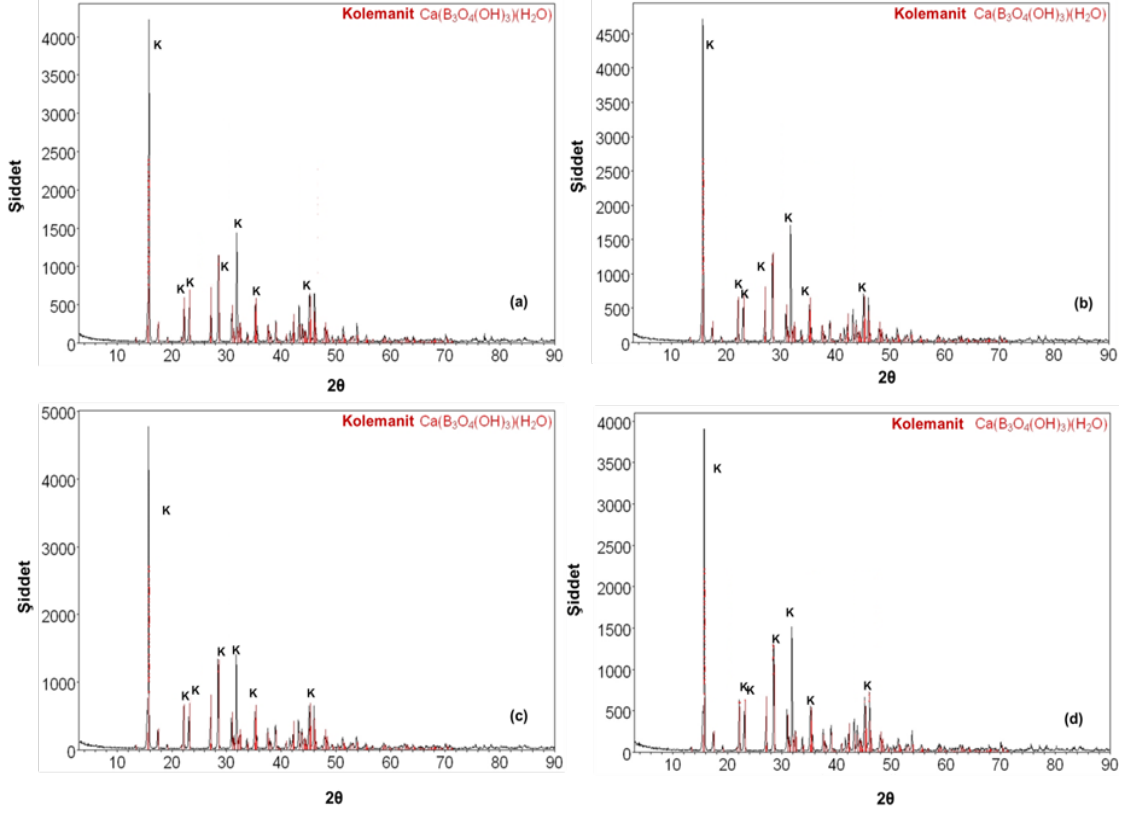
öğütülmüştür. Son olarak, öğütülen tüm kolemanit kristal numuneleri kuru olarak elenerek istenilen - 38 µm boyut fraksiyonu elde edilmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1. X-ışını difraksiyon (XRD) analizleri

Karakterizasyon çalışmaları kapsamında ilk önce XRD ile dört farklı yöreye ait kolemanit

numunelerinin mineralojik analizi ile saflık derecesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5’de sunulmuştur.



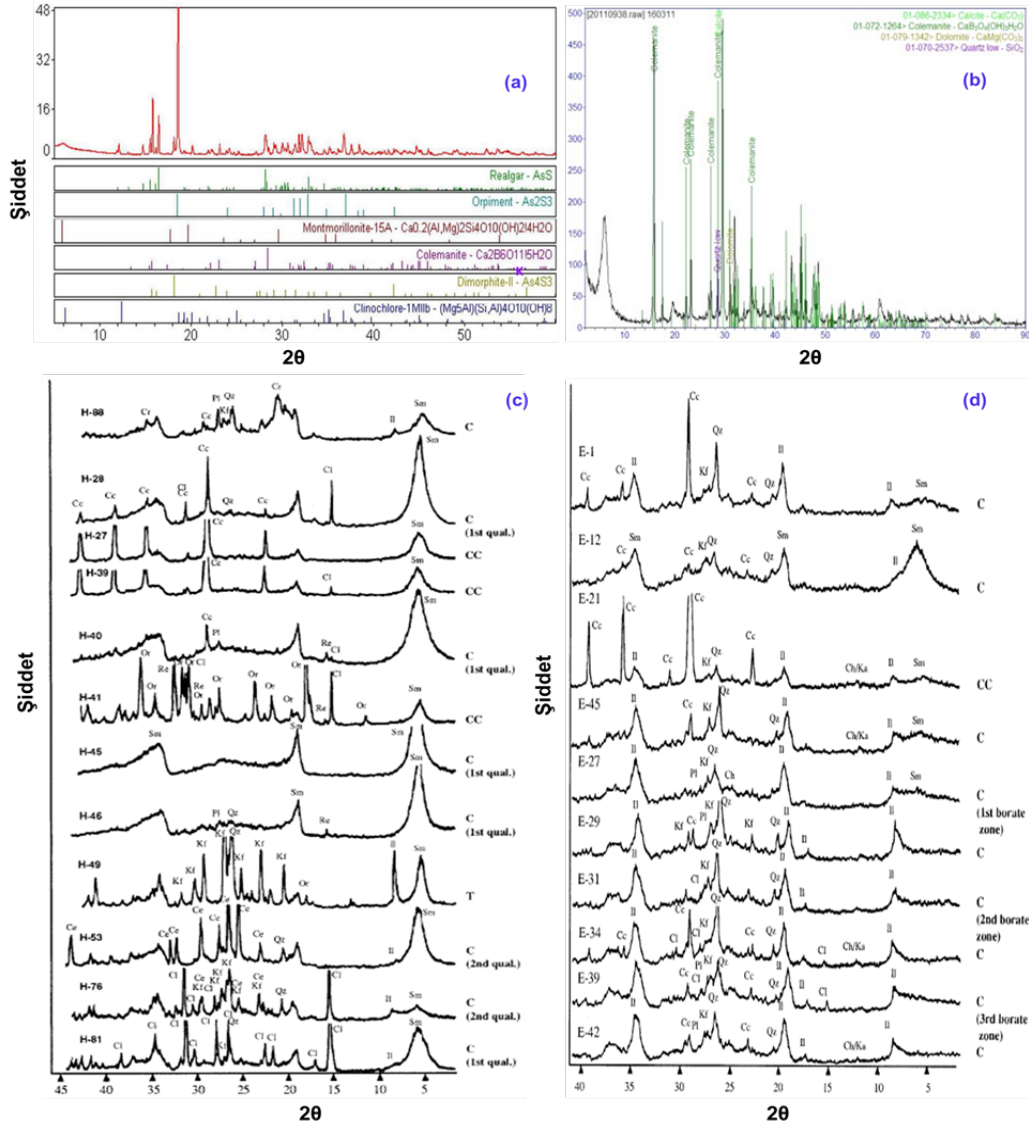
Şekil 5. (a) Bigadiç (b) Kestelek (c) Espey (d) Hisarcık kolemanit kristallerinin XRD sonuçları.

Şekil 5’te dört farklı yöreye ait XRD analizleri incelendiğinde; tüm piklerin sadece kolemanit mineraline ait olduğu anlaşılmıştır. Tüm numunelerin saf olup herhangi bir istenmeyen (gang) mineral içermediği anlaşılmıştır. Şekil 6.’da ise aynı yörelerdeki kolemanit cevheri ve kolemanit atığına ait literatürde yer alan bazı çalışmaların XRD analizleri sunulmuştur.

Şekil 6 (a)’da Emet kolemanit cevheri ile yapılan XRD analizinde kolemanit ile birlikte arsenik bileşikleri olan realgar, orpiment, dimorfit, montmorillonit ve magnezyumca zengin klorit grubu mineralli olan klinoklor tespit edilmiştir.

(b)’de ise Bigadiç kolemaniti konsantratör atığının XRD analizinde kolemanit ile birlikte kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri tespit edilmiştir. (c) ve (d)’de ise sırasıyla Hisarcık ve Espey açık ocaklarından alınan cevher numunelerinin analizi sonucunda; Hisarcık kolemanitinde kalsit, kuvars, feldispat, kristobalit, plajiyoklas, realgar, orpiment, selestit, smektit, illit, kil, kalkerli kil, tüfit bulurken Espey ocağında kalsit, kuvars, feldispat, kahnit, plajiyoklas, simektit, illit, klorit, kaolinit, kil, kalkerli kil tespit edilmiştir (Çelikoyan Kuşçay, 2010; Colak vd., 2000).





**Şekil 6.** (a) Emet kolemanit cevheri XRD analizi (Karaağlıoğlu, 2016) (b) Bigadiç kolemaniti konsantratör atığının XRD analizi (Bayca vd., 2014) (c) Hisarcık kolemaniti açık ocak madeninden seçilen cevher numunelerinin XRD analizi. (Cc: kalsit, Qz:Kuvars, Kf: K-zengin feldispat, Cr: kristobalit, Pl: plajiyoklas, Cl: kolemanit, Re: realgar, Or: orpiment, Ce: selestit, Sm: Smektit, Il: illit, C: kil, CC: kalkerli kil, T: tüfit)(Colak vd., 2000) (d) Espey kolemaniti açık ocak madeninden seçilen cevher numunelerinin XRD analizi (Cc: kalsit, Qz:Kuvars, Kf: K zengin feldispat, Ca: kahnit, Pl: plajiyoklas, Cl: kolemanit, Sm: simektit, Il: illit, Klorit, Ka: kaolinit).C: kil, CC: kalkerli kil (Colak vd., 2000).

### 3.2. ICP/MS analizleri

Dört farklı yöreye ait kolemanit numunelerinin oluştuğu yatağın jeolojik, mineralojik ve oluşumundaki farklılıklardan dolayı deneylerde kullanılan tüm kolemanit numunelerinin ana ve eser elementleri arasındaki benzerlik ve farklılıkları tayin etmek için ICP/MS analizi yapılmıştır.

Tüm deneylerde kullanılan kolemanit kristallerinin çözeltiliye alınarak bileşenlerinin çözeltiliye geçmesi ile elde edilen sonuçlar Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Dört farklı yöreye ait kolemanit kristallerinin kantitatif ICP/MS analizleri.

Yöre	Eser	Yüksek
<b>Bigadiç</b>	Na, Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, U	B, Ca
<b>Kestelek</b>	Na, Cu, Sr, Mo, Ag, Pb, U	B, Ca
<b>Espey</b>	Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, Sn, W, U	B, Ca
<b>Hisarcık</b>	Na, Cu, Sr, Mo, U	B, Ca

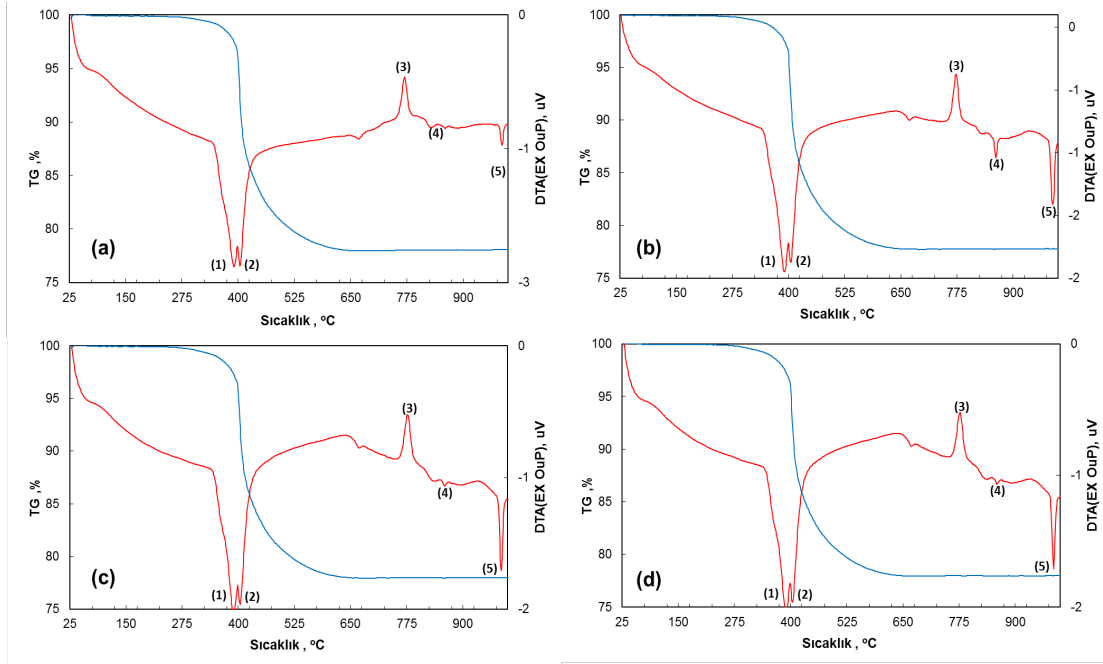
Tablo 1’den görüldüğü gibi yapılan ICP/MS analizi sonucunda tüm yörelere ait kolemanitlerde baskın

olarak yüksek miktarda bor (B) ve kalsiyum (Ca) elementi, eser miktarda ise birbirleriyle benzerlik gösteren elementler (Fe, Na, Cu, Zn, Sr, Mo, Sn, W, U) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar da, tüm numunelerin saf olduğunu açıkça göstermektedir.

### 3.3. TG-DTA analizleri

Bir malzemedeki yapısal ya da kimyasal bir değişimin olduğu DTA-TG analizi ile

belirlenebilmektedir. Bu değişimler ölçüm sırasında elde edilen endotermik ve ekzotermik piklerin oluştuğu sıcaklıklar ile açıklanır. Bu amaçla yapılan dört farklı yöreye ait saf kolemanit kristallerinin TG-DTA analizleri Şekil 7'de, grafiklerdeki piklerin analizleri ise Tablo 2'de özetlenmiştir.



Şekil 7. (a) Bigadiç (b) Kestelek (c) Espey (d) Hisarcık kolemanit kristallerinin TG-DTA dönüşüm eğrileri.

Tablo 2. Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yöresi kolemanit kristallerinin TG-DTA eğrilerinin analizleri.

Yöre	1. Pik	2. Pik	3. Pik	4. Pik	5. Pik	Kütle değişimi, %
Bigadiç	391.0°C	404.2°C	769.8°C	866.3°C	986.3°C	-21.77
	-2.3517 μV/mg	-2.3504 μV/mg	-0.58165 μV/mg	-1.0125 μV/mg	-1.2194 μV/mg	
Kestelek	390.8°C	404.5°C	772.9°C	861.4°C	988.2°C	-22.23
	-2.0512 μV/mg	-1.397 μV/mg	-0.47305 μV/mg	-1.1397 μV/mg	-1.5096 μV/mg	
Espey	392.5°C	404.1°C	765.2°C	860.7°C	987.7°C	-21.92
	-1.6814 μV/mg	-1.6132 μV/mg	-0.182 μV/mg	-0.7139 μV/mg	-0.96093 μV/mg	
Hisarcık	389.8°C	404.1°C	777.0°C	859.8°C	985.5°C	-21.82
	-2.025 μV/mg	-1.9662 μV/mg	-0.52167 μV/mg	-1.0675 μV/mg	-1.7093 μV/mg	

Şekil 7 ve Tablo 2 incelendiğinde; tüm kolemanit numunelerinde endotermik reaksiyonun olduğu, termal ayrışmanın gerçekleştiği  $\sim 350^{\circ}\text{C}$  -  $450^{\circ}\text{C}$ 'de hızlı su kaybına uğramışlardır. DTA eğrilerine bakıldığı zaman  $\sim 389^{\circ}\text{C}$  ve  $404^{\circ}\text{C}$  aralığında keskin piklerin olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık aralığında kolemanitin yapısındaki 5 mol suyu (yaklaşık 1/3 oranında suyunu) kaybetmiştir (Gündoğmaz ve Güler 2008).

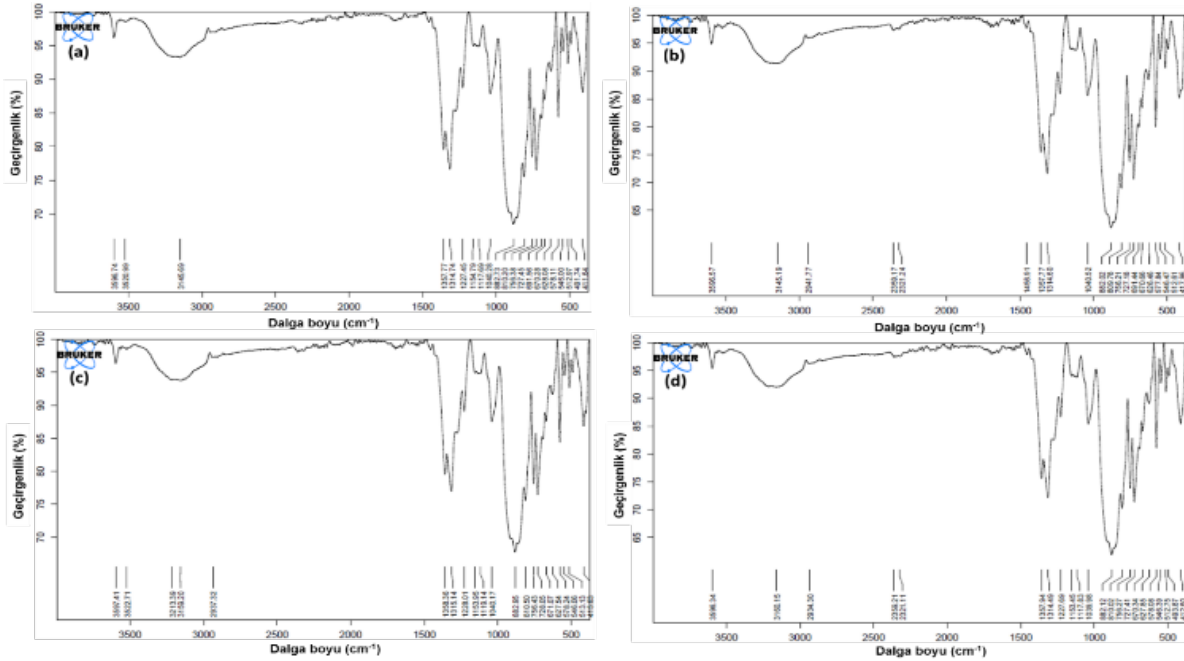
Hızlı su kaybı, kristal matrisinde oluşan düzensiz gerilmeler yapıda genişlemeye neden olur böylelikle bu iç gerilmeler sonucu oluşan kırıklarda sıcaklık artışı ile sonradan oluşacak olan kristal dönüşümüne imkan sağlar (Celik ve Suner, 1995). Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık için ekzotermik reaksiyonu ifade eden ve kristallenmenin başladığı sıcaklıklar sırasıyla;  $769.8^{\circ}\text{C}$ ,  $772.9^{\circ}\text{C}$ ,  $765.2^{\circ}\text{C}$  ve  $777.0^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu sıcaklıklarda yapısal hidroksil grupları (-OH), ve su ve borat zincirleri (Waclawska, 1988) arasındaki hidrojen bağlarının kırılmasına atfedilmiştir. Numuneler ( $987.7^{\circ}\text{C}$ ,  $988.2^{\circ}\text{C}$  ve  $985.5^{\circ}\text{C}$  de

ikinci bir endotermik reaksiyon ile eriyip, amorf yapıya dönüşmüşlerdir.

Termo Gravimetrik Analiz (TG) eğrisi ile artan ortam sıcaklığına bağlı olarak tüm kolemanit numunelerinin kütle değişimini termobalans ile sürekli olarak ölçülmüştür. Numunelerdeki nem ve uçucu madde miktarını yaklaşık %21.94 kütle kaybı değişimi olarak vermektedir.

### 3.4. FT-IR analizleri

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi (FT-IR) ışığın infrared (kızıl ötesi ışınlar) yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen, bir tür titreşim spektroskopisidir. Ölçümlerde, molekülün titreşim hareketleri kızılötesi ışınlar tarafından soğurulmaktadır. Bu analiz, katı kolemanit numunelerinin IR aktif molekül özellikleri ile moleküler bağ karakterizasyonu, yapısındaki fonksiyonel grupların ve bağların durumunun saptanması amacıyla yapılmıştır. Şekil 8'de dört farklı yöreye ait kolemanitlerin FT-IR analizleri sunulmuştur.



Şekil 8. (a) Bigadiç (b) Kestelek (c) Espey (d) Hisarcık kolemanit kristallerinin FT-IR analizleri.

Şekil 8 incelendiğinde, her bir yöreye ait kolemanit kristallerinin saf olup, benzer IR spektrumlarına sahip olduğu görülmüştür.  $3597\text{-}3522\text{ cm}^{-1}$  'de hidrojen bağlı O-H gerilmesi,  $3213\text{-}3159\text{ cm}^{-1}$  'de ikinci bir O-H bandı tespit edilmiştir.

Bu konu ile ilgili literatür de yapılan FT-IR yorumlarında ise;  $1322\text{-}2355\text{ cm}^{-1}$  pikleri  $\text{BO}_2^-$  grubunun B-O asimetric gerilme titreşimine ait

olduğu,  $1314, 819, 751\text{ cm}^{-1}$  pikleri sırası ile  $\text{BO}_3^{3-}$  grubuna ait asimetric gerilme, simetric eğilme titreşimlerini ifade ettiği, karakteristik O-H grubuna ait bantların ise  $638, 3534\text{ cm}^{-1}$  eğilme ve gerilme titreşimlerine ait olduğunu bildirmişlerdir (Frost vd., 2016; Ternane vd., 2002, Gündoğmaz ve Güler, 2008).

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışma ile dört farklı yöreye ait saf kolemanit kristallerine detaylı karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; öncelikle farklı yöreler kendi arasında, sonrasında ise aynı yöreye ait kolemanitler cevher ve kristal olarak kıyaslanmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre;

- XRD mineralojik analizleri ile dört farklı yöreye ait kolemanit kristallerinin saf olduğunu ve herhangi bir istenmeyen (gang) minerali içermediği saptanmıştır.
- ICP/MS kimyasal analizleri ile tüm kolemanit kristalleri detaylı olarak tanımlanmış, numunelerde yüksek miktarda bor ve kalsiyum (B, Ca) elementi, eser miktarda ise numuneler arasında benzerlik gösteren elementler olan Fe, Na, Cu, Zn, Sr, Mo, Sn, W, U tespit edilmiştir.
- TG/DTA analizleri ile belirlenen termal özellikleri incelendiğinde; tüm kolemanit numunelerinde endotermik reaksiyonun olduğu, ~350°C - 450°C'de hızlı su kaybına uğrayarak termal ayrışmanın gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca, tüm kolemanit numunelerinin 389°C ve 404°C aralığında yapısındaki 5 mol suyu kaybettiği tespit edilmiştir. Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yöreleri kolemanitleri için ekzotermik reaksiyonu ifade eden ve kristallenmenin başladığı sıcaklıkların sırasıyla; 769.8°C, 772.9°C, 765.2°C ve 777.0°C olduğu ve 987.7°C, 988.2°C ve 985.5°C'de ise ikinci bir endotermik reaksiyon ile eriyip, amorf yapıya dönüştükleri tespit edilmiştir. TG analiz sonuçları incelendiğinde ise; artan ortam sıcaklığına bağlı olarak her bir numunenin yaklaşık %21.94 kütle kaybına (nem ve uçucu madde) uğradığını göstermiştir.
- FT-IR analizleri incelendiğinde her bir yöreye ait kolemanit kristallerinin benzer IR spektrumlarına sahip olduğu, 3597-3522 cm<sup>-1</sup>'de hidrojen bağlı O-H gerilmesi, 3213-3159 cm<sup>-1</sup>'de ikinci bir O-H bandının olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak dört farklı yöreye ait saf kolemanit kristallerinden elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, fiziksel özellikleri açısından aralarında farklılıklar olmasına rağmen, yapılan karakterizasyon çalışmalarında benzer özellik

gösterdikleri, aralarında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Cevher minerali ile saf kristal arasındaki tek farklılığın ise; kolemanit cevherlerinde bulunduğu yörede baskın olan gang minerallerinden ve jeokimyasal süreçlerden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

#### Teşekkür

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 42265); Çalışmanın tüm aşamasındaki bilimsel yönlendirmeleri ve katkıları için danışmanları Prof. Dr. Mehmet Sabri Çelik ve Prof. Dr. Orhan Özdemir'e ayrıca makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür eder.

#### Kaynaklar

- Bayca, S. U., Kocan F. and Y. Abali (2014). Dissolution of colemanite process waste in oxalic acid solutions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33, 1111-1116.
- Bilgiç, M. ve Dayık, M. (2013), Borun özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla sağladığı avantajlar. *Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7.
- Celik, M. S. and Suner, F. (1995). A Thermodynamic analysis of the decrepitation process. *Thermochimica Acta*, 254, 167-174.
- Colak, M., Helvacı, C. and Maggetti, M. (2000). Saponite from the Emet colemanite mines, Kutahya, Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 48, 409-423.
- Çelikoyan Kuşay, B. ve Bulutcu, A. N. (2010). Kolemanitten yeni bir yöntemle borik asit üretim prosesinin geliştirilmesi. *İTÜ Dergisi/d*, 9, 15-26.
- Demirtaş, A. (2006). Bor bileşikleri ve tarımda kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37, 111-115.
- Dill, H. G., Kaufhold, S. and Helvacı, C. (2015). The physical-chemical regime of argillaceous interseam sediments in the Emet borate district, Turkey: A transition from non-metallic volcano-sedimentary to metallic epithermal deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 156, 44-60.
- Erdem, N. İ. (2010). *Emet-Hisarcık (Kütahya) bor yataklanmasını oluşturan bor minerallerinin dağılımları, jeokimyası ve oluşum ortamlarının*

- incelenmesi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Erdoğan, Y., Aksu, M., Demirbaş, A. and Abalı, Y. (1998). Analyses of boronic ores and sludges and solubilities of boron minerals in CO<sub>2</sub>-saturated water. *Resources, Conservation and Recycling*, 24, 275-283.
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2016). *Bor Sektör Raporu*. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, S. G. D. B. (2009). *Stratejik Plan (2009-2013)*.
- Frost, R. L., Scholz R., Ruan, X. and Lima R. M. F. (2016). Thermal analysis and infrared emission spectroscopy of the borate mineral colemanite (CaB<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (OH) 3· H<sub>2</sub>O). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 124, 131-135.
- Gündoğmaz, G. ve Güler, H. (2008). Kolemanit ve diamonyum fosfatın farklı yüksek sıcaklıklarda oluşturduğu ürünlerin yapılarının karakterizasyonu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 3-18.
- Güyağüler, T. (2001). Türkiye Bor Potansiyeli. 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (ss. 18-27).
- Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*. WILEYVCH, Germany, 4, (pp. 1985-2026).
- Helvacı, C. (1977). *Geology, mineralogy and borate deposits*. University of Nottingham.
- Helvacı, C. (2003). Türkiye borat yatakları: jeolojik konum, mineraloji ve bor politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(1), 4-41.
- Helvacı, C. (2004a). Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 4-41.
- Helvacı, C. (2004b). Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye*.
- Helvacı, C. (2005). Batı Anadolu'da arsenik ile bor mineralleri ilişkisi ve sağlığa etkileri, 1. *Tıbbi Jeoloji Sempozyumu, MTA* (ss. 74-88).
- Helvacı, C. (2008). Doğada bor ve arsenik elementlerin ilişkisi (Relationships between boron and arsenic elements in nature). In *Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu* (ss. 116-117).
- Helvacı, C. (2015). Bor yataklarının genel değerlendirilmesi ve gelecek öngörüsü. *Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi*.
- Helvacı, C. and Orti F. (1998). Sedimentology and diagenesis of miocene colemanite-ulexite deposits (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Sedimentary Research*, 68, 1021-1033.
- Kalafatoğlu, İ. E. ve Örs, S. N. (2003). 21. yüzyılda bor teknolojileri ve uygulamaları. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 59-71.
- Kar, Y., Şen, N. and Demirbaş A. (2006). Boron minerals in Turkey, their application areas and importance for the country's economy. *Minerals & Energy-Raw Materials Report*, 20, 2-10.
- Karaağlıoğlu I. E., Özyıldırım Ö., Karatas D., Özdemir O., Karakas F., Boylu F. and Celik, M. S. (2016). How gangue minerals in colemanite ore affect arsenic removal during its calcination. In *15th International Mineral Processing Symposium* (ss. 790-800). Istanbul-Turkey, October 19-21, 2016.
- Kılınç, E., Mordoğan H. ve Tanrıverdi M. (2001). Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve ekonomisi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (ss. 18-19).
- Poslu, K. ve Arslan İ. (1995). Dünya bor mineralleri ve bileşikleri üretiminde Türkiye'nin yeri. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (ss. 33-34).
- Ternane, R., Cohen-Adad M. T., Panczer, G., Goutaudier, C., Kbir-Arighuib N., Trabelsi-Ayedi M., Florian and Massiot, P. (2002). Introduction of boron in hydroxyapatite: synthesis and structural characterization. *Journal of Alloys and Compounds*, 333, 62-71. [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(01\)01558-4](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)01558-4).
- Waclawska, I.S.L., Paulik, J. and Paulik, F. (1988). Thermal decomposition of colemanite. *Thermochim Acta*, 307-318 [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(88\)87276-9](https://doi.org/10.1016/0040-6031(88)87276-9).
- Woods, W. G. (1994). An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. *Environmental Health Perspectives*, 102, 5-11.
- Yigitbasioglu, H. (2014). Türkiye için önemli bir maden: Bor. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2, 13-25.
- Yildiz, Ö. (2004). The effect of heat treatment on colemanite processing: a ceramics application. *Powder Technology*, 142, 7-12.

## Kendiliğinden organize olan tek tabaka molekülleri kullanarak organik ışık yayan diyotların veriminin iyileştirilmesi

*Increasing efficiency of organic light emitting diode by using self assembled monolayers*

Eyyup YALÇIN<sup>1,a</sup>, Burak GÜLTEKİN<sup>2,b</sup>, Hakan BİLGİLİ<sup>3,c</sup>, Mustafa CAN<sup>\*4,d</sup>

<sup>1</sup>İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Çiğli, İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova, İzmir

<sup>3</sup>İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Çiğli, İzmir

<sup>4</sup>İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Çiğli, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 07.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2021

### Öz

Ara yüzey iyileştirmeleri optoelektronik cihazların performansı üzerine önemli bir role sahiptir. Kendiliğinden organize olan tek tabaka molekülleri indiyum kalay oksit (ITO) ile organik katman arasında kullanılarak organik ışık yayan diyotlardan (OLEDs) daha yüksek performans elde edilmesi sağlanır. Bu çalışmada ITO'yu modifiye etmek için 4-metoksifenil boronik asit ile 3,5-dimetoksifenil boronik asit molekülleri bir ara yüzey katmanı olarak kullanılmıştır. Kendiliğinden organize olan moleküllerinin cihaz performansı üzerine etkisi elektriksel ve optiksel olarak analiz edilmiştir. Buna ek olarak, modifiye edilmiş ITO'nun yüzey morfolojisi atomik kuvvet mikroskopu (AFM), yüzey ıslanabilirliği ise temas açısı yöntemi ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, ITO yüzeyi kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edilen cihazların modifiye edilmemiş cihazlara göre daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Enerji verimliliği, Kendiliğinden organize tek tabaka moleküller, OLED

### Abstract

Interface engineering has an important role on performance of optoelectronic devices. Self-assembled monolayers (SAMs) have been used between indium tin oxide (ITO) and organic layer to obtain high performance from organic light-emitting diodes (OLEDs). Herein, 4-Methoxyphenyl Boronic Acid and 3,5-Dimethoxyphenyl Boronic Acid have been used to ITO as an interface layer. The effect of SAMs on device performance was analyzed electrically and optically. Additionally, surface topography of modified ITO was characterized by atomic force microscope and surface wettability was analyzed by contact angle. According to results that has obtain, modified devices show better performance than unmodified devices.

**Keywords:** Energy efficiency, Self-assembled monolayers, OLED

\*d Mustafa CAN; mustafacan80@yahoo.com; Tel: (0532) 691 6926; orcid.org/0000-0002-1749-8293

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-7468-2169

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-8804-7844

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-5646-6641



## 1. Giriş

Organik ışık yayan diyotlar (OLEDs) düşük çalışma voltajı ve yüksek dış kuantum verimine sahip olduğu 1987 yılında Tang ve VanSlyke tarafından rapor edilmiştir. Aynı zamanda OLED'ler düşük güç tüketimi, düşük maliyeti, kendiliğinden ışık verme özelliği, hızlı tepki süresi, geniş görüş açısı, yüksek verimlilik ve esneklik (Forrest, 2004; Kido vd., 1995; Eyyup Yalcın vd., 2017; Zheng vd., 2018) gibi özelliklerinden dolayı bu alandaki çalışmalar son 30 yıllık süreçte oldukça hız kazanmıştır. Bu süre zarfında OLED'lerin gerek verimliliğini artırmak gerek ise daha kararlı bir yapıya kavuşturmak için birçok yöntem denenmiştir. OLED'ler den daha iyi verim elde edilebilmesi için ilgili metal elektrotlardan (anot ve katot) organik yarıiletken malzemeler içerisine etkili ve dengeli bir yük (elektron ve boşluk) geçişi sağlanmalıdır. Metal elektrotlar ile organik yarıiletkenlerin farkı enerji seviyelerinde olmalarından dolayı yük geçiş bariyeri ile metal/organik arasında oluşan temas direnci, düşük yük geçişi ve düşük cihaz verimine neden olmaktadır. Bundan dolayı, metal elektrotlar ile organik yarıiletkenler arasındaki ara yüzey, yük geçişi ve yük dengesi üzerine dolayısı ile cihaz verimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Hotchkiss vd., 2011; Qiao vd., 2010; You vd., 2007; Zhao vd., 2014).

İndiyum kalay oksit (ITO), sahip olduğu mekanik sertliği, düşük direnci, yüksek şeffaflığı, kimyasal dayanımı gibi özelliklerinden dolayı OLED'ler de en çok tercih edilen anot malzemesidir (H. Kim vd., 2002; Wang Hill, 2012; Zheng vd., 2018). Anot/boşluk taşıyıcı malzeme (HTM) ara yüzeyi, OLED gibi cihazların verimi, çalışma voltajı ve diğer özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Zhong Jiang, 2006). Bu nedenlerden dolayı metal/organik ara yüzeyi arasındaki temas ve enerji farkı problemini çözmek için ITO yüzeyi birçok farklı şekilde modifiye edilmeye çalışılmaktadır. Bu modifiye edici madde ve yöntemlerden bazıları, oksijen plazma (J. Kim vd., 1999), UV ozon (Li vd., 2005), Molibden trioksit ( $\text{MoO}_3$ ) (You vd., 2007) poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(styrenesulfonate)(PEDOT/PSS) (Elschner vd., 2000) ve kendiliğinden organize olan molekülleridir (Q. Huang vd., 2006; Shang vd., 2018). Bu modifiye edici maddeler arasında PEDOT:PSS çok iyi optoelektronik özelliklere sahiptir. Bundan dolayı, PEDOT/PSS, kullanılan cihazlarda çok iyi verimlere ulaşılmaktadır. Fakat, PEDOT/PSS'in asidik özellik içermesinden dolayı zamanla ITO'yu aşındırması ve kolayca nemden etkilenmesi gibi

dezavantajlarından ötürü cihaz veriminde ve kararlılığında hızlı düşmelere neden olabilmektedir (Yalcın vd., 2018). Bu sebeplerden dolayı PEDOT/PSS'e önemli bir alternatif olarak, ITO'nun modifiye edilmesinde, kendiliğinden organize olan moleküller kullanılmaktadır.

Teorik olarak, boşluklar bir dış elektrik alan altında ITO yüzeyinden HTM yüzeyine akarlar. Bu durumda, boşluklar hem ITO/HTM arasındaki enerji bariyeri hem de organik/anorganik arasındaki faz farkından kaynaklı temas direncini aşmaları gerekmektedir. ITO yüzeyi kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplandığında boşluklar ITO yüzeyinden kendiliğinden organize olan moleküllere (organik faz) oradan da HTM yüzeyine (organik faz), düşük bir enerji gereksinimi ile, doğrudan geçerler (An vd., 2019).

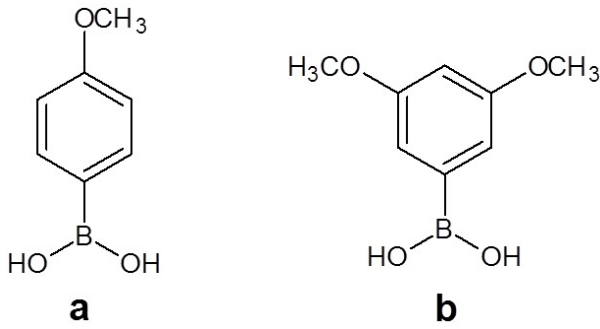
Kendiliğinden organize olan moleküller çok küçük yapılar olup ITO yüzeyine kimyasal olarak bağlanarak yüzeyde çok ince ve kararlı bir yapı oluştururlar. Bu moleküller genellikle metal yüzeylerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini kontrol etmek için kullanılır. Aynı zamanda, düşük maliyetli, kararlı ve esnek yüzeylere uygulanabilirlik (An vd., 2019) gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda, ITO'nun modifiye edilmesinde sıkça kullanılmaya başlanılmıştır. Kendiliğinden organize olan moleküller ile hidrofilik özellik gösteren ITO ile hidrofobik özellik gösteren boşluk taşıyıcı malzeme arasındaki temas problemi ve enerji farkının azalması sağlanmaktadır (Klausk, 2010; Tokudome vd., 2011). Kendiliğinden organize olan moleküllerin sahip olduğu çeşitli fonksiyonel grup ve zincir uzunlukları sayesinde ITO'nun iş fonksiyonu istenilen şekilde ayarlanabilmektedir (Zheng vd., 2018). Bu şekilde ITO'nun iş fonksiyonu değiştirilerek, cihazın çalışma geriliminin düşürülmesi (Tokudome vd., 2011; Yalcın vd., 2017), yük geçişinin artırılması ve anot/organik malzeme arasındaki temas probleminin giderilmesi (Chong vd., 2007) gibi sorunların çözülmesi sağlanılmaktadır.

Bu çalışmada, iki farklı kendiliğinden organize olan molekül ile modifiye edilen ITO yüzeyinin ıslanabilirliği, pürüzlülüğü ve üretilen OLED cihazlarının elektriksel ve optiksel özelliklerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kendiliğinden organize olan moleküllerinin cihaz performansı üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Kullanılan malzemeler

Şekil 1 de molekül yapıları verilen *4-Metoksifenil Boronik Asit (1-Meo)* ve *3,5-Dimeoksifenil Boronik Asit (2-Meo)* yapıları kendiliğinden organize olan moleküller olarak kullanılmıştır. Bu moleküller dışında, N,N'-bis(3-metilfenil)-(1,1'-bifenil)-4,4'-diamin (TPD) ve tris-(8-hydroxyquinoline) alüminyum (Alq<sub>3</sub>) malzemeleri sırasıyla boşluk taşıyıcı yüzey (HTM) ve elektron emisyon yüzey (EML) olarak kullanılmıştır. Metal elektrotlar olarak ise ITO ve Alüminyum (Al) sırasıyla anot ve katot elektrotu olarak kullanılmıştır.



**Şekil 1.** 1-Meo (a) ve 2-Meo (b) moleküllerinin kimyasal yapıları.

### 2.2. ITO'nun temizlenmesi

ITO kaplı cam yüzeyler sırasıyla saf su, aseton ve isopropil alkol içerisinde daldırılarak 20 dakika boyunca ultrasonik banyoda yıkandı. Daha sonra ITO kaplı cam yüzeyler azot gazı ile kurutuldu. Kurulama işleminden sonra, ITO yüzeyinin aktifleştirilmesi için, yüzeyler vakum altında 8 dakika oksijen plazma (Electronic Diener Femto PCCE) ile temizleme işlemine maruz bırakılarak temizleme işlemine son verildi.

### 2.3. Cihaz üretimi

Temizleme işleminden sonra ITO yüzeyler, dimetil sülfoksit (DMSO) içerisinde hazırlanan 10<sup>-3</sup> molarlık kendiliğinden organize olan moleküller (1-Meo, 2-Meo) çözeltisinde gece boyunca bekletilerek yüzeylerin bu moleküller ile kaplanması sağlandı. Kendiliğinden organize olan molekül çözeltisinden çıkarılan numuneler kendi çözeni olan DMSO ile iyice yıkanarak yüzeye iyi bağlanmamış olan moleküllerin yüzeyden uzaklaştırılması sağlandı. Bu işlemlerden sonra kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplanmış ITO yüzeyleri, organik malzemeler

(TPD ve Alq<sub>3</sub>) ve metal elektrotun (Al) kaplaması için hazır hale gelmiş oldu.

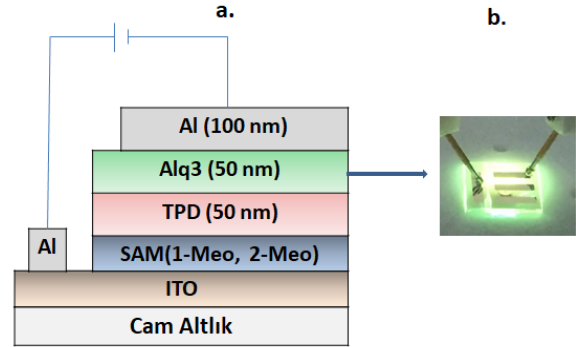
TPD, Alq<sub>3</sub> ve Al malzemeleri 3x10<sup>-6</sup> torr'luk yüksek vakum altında termal evaporator (NANOVAK) ile kaplandı. Sırasıyla TPD ve Alq<sub>3</sub> kalınlıkları 50 nm olacak şekilde kaplandı. Daha sonra katot elektrotu olan Al 100 nm olacak şekilde kaplanarak cihazın üretim aşaması tamamlandı. Bu çalışmada üretilen bir OLED cihazı ile mimari yapısı Şekil 2 de gösterilmiştir.

### 2.4. Cihaz karakterizasyonu

ITO yüzeylerinin, kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplanmadan önceki ve kaplandıktan sonraki, yüzey topoğrafyaları ve yüzey pürüzlülükleri (Root Mean Square, RMS) Nanosurf Easyscan-2 Atomik Kuvvet Mikroskopu kullanılarak ölçülmüştür.

Temas açısı ölçümleri, KSV Attension Theta Lite optik gerilimölçer cihazı kullanılarak ölçümler her bir örnek numune üzerine yaklaşık 4 µL saf su damlatılarak statik durumda ölçülmüştür.

Elektriksel ölçümler, akım-gerilim (I-V) ölçümleri, Keithly 2400 güç kaynağı ile lüminesans değerleri ise Admesy Brontes-colorimeter cihazı ile ölçülmüştür.



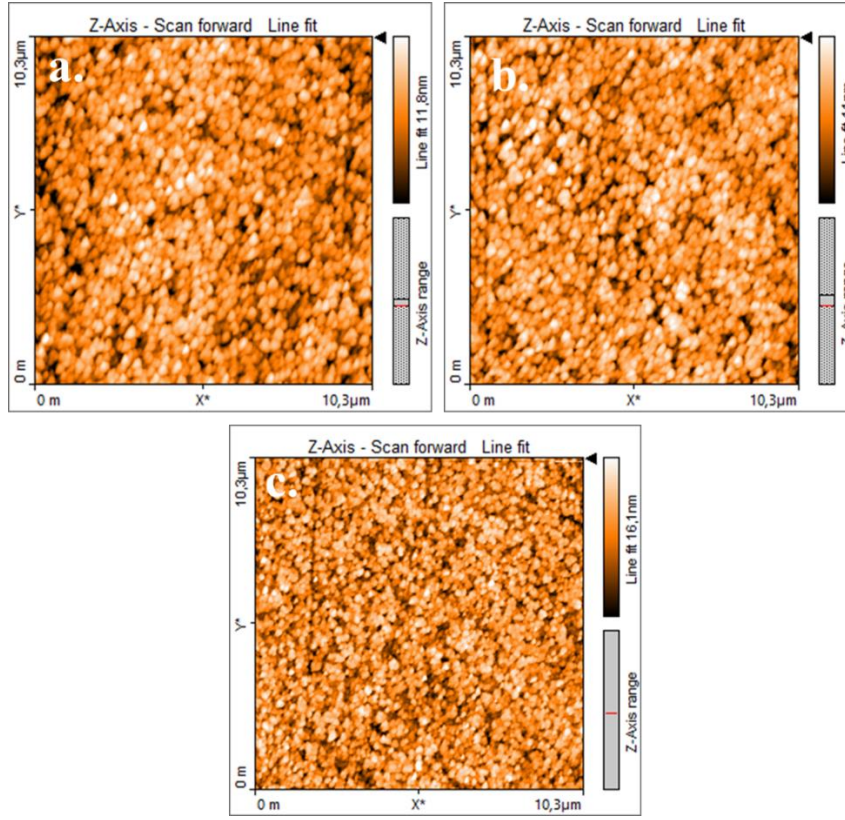
**Şekil 2.** Bu çalışmada üretilen bir OLED cihazının mimari yapısı (a) ve OLED Cihazı (b).

## 3. Bulgular

ITO yüzeyinin kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplandığını tespit etmek için modifiye edilmiş yüzey ile modifiye edilmemiş yüzey topoğrafyaları Şekil 3 de gösterildiği gibi AFM ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük (RMS) değerleri sırası ile 1-Meo/ITO, 2-Meo/ITO ve ITO için 3.9 nm, 3.6 nm ve 2.5 nm olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki farklılıklar bize numunelerin

kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplandığını göstermektedir. Bu sonuçlar, kendiliğinden organize olan moleküllerin ITO'nun yüzey morfolojisi ve ışık geçirgenliği üzerine negatif etki yaratmadığı aynı zamanda,

moleküllerin ITO yüzeyi için düzgün HTM film oluşturduğunu göstermektedir (Can vd., 2014; Mi vd., 2020).



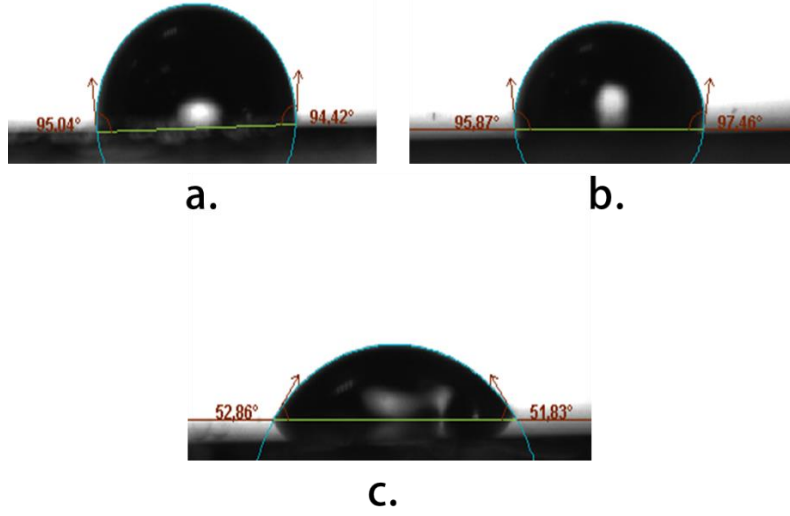
Şekil 3. 1-Meo (a), 2-Meo (b) ve ITO (c) nun yüzey topoğrafyası.

Bilindiği üzere ITO hidrofilik bir karaktere sahiptir. Bu da metal bir elektrot olan ITO ile organik bir malzeme olan TPD arasında bağlanma sorunlarına neden olmaktadır. Kendiliğinden organize olan moleküllerin ITO yüzeyinin hidrofilik karakteri üzerine etkisinin incelenmesi için, ITO yüzeyi kendiliğinden organize olan moleküller ile kaplanmadan önceki ve kaplandıktan sonraki yüzey ıslanabilirliği Şekil 4 de gösterildiği gibi temas açısı yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 4 de gösterilen 1-Meo/ITO, 2-Meo/ITO ve ITO yüzeylerinin ıslanabilirlikleri sırasıyla  $\sim 95^\circ$ ,  $\sim 96^\circ$  ve  $\sim 52^\circ$  olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar bize kendiliğinden organize olan moleküllerin ITO yüzeyi ile su arasında bir ara yüzey bariyeri oluşturduğunu göstermiştir. Böylelikle, ITO'nun hidrofilik özelliğinin perdelendiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak, nemin cihaz kararlılığını olumsuz etkilediği daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Mi vd., 2020). Bu çalışmada kullanılan kendiliğinden organize olan moleküllerin istenilen hidrofobik özellikler gösterdiği, böylelikle nemin cihaz içerisine geçişini zorlaştıracak da söylenebilir.

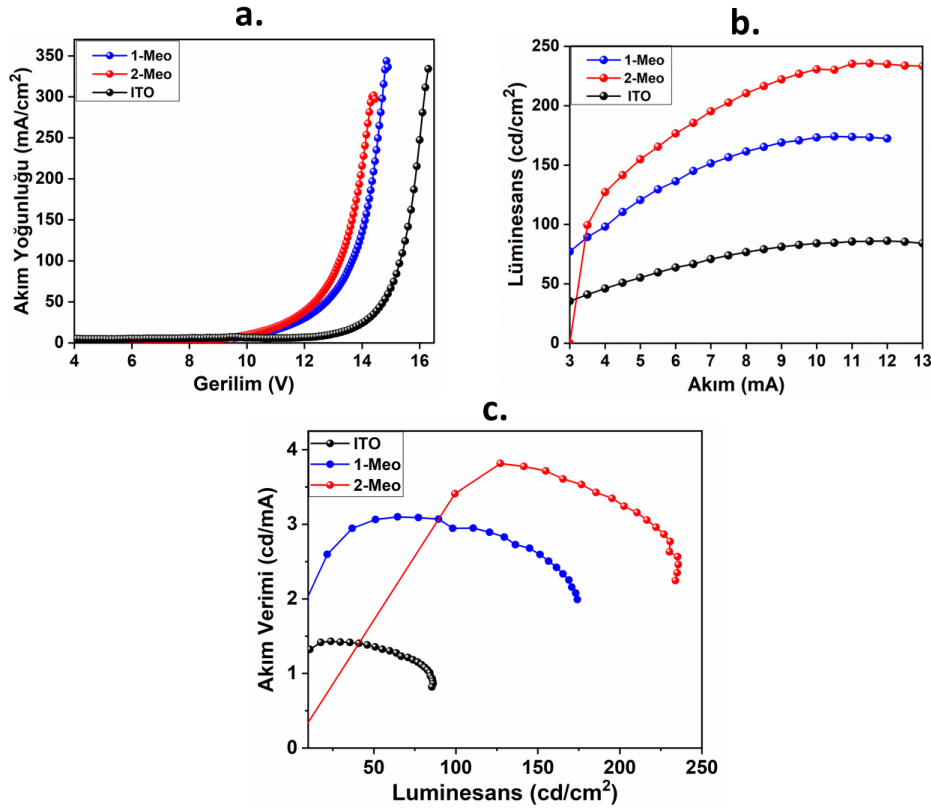
Üretilen OLED cihazlarının akım yoğunluğu-gerilim, lüminesans-akım ve akım verimi-lüminesans grafikleri Şekil 5 de verilmiştir. Kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edilen ITO'lar kullanılarak üretilen OLED cihazlarının çalışma geriliminin ITO ile üretilen cihazdan çok daha düşük olduğu, aynı şekilde kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edilen cihazların daha düşük gerilimlerde daha yüksek akım yoğunluğuna sahip olduğu Şekil 5a dan görülebilmektedir. Böylelikle kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edilen cihazların modifiye edilmemiş cihaza göre daha iyi bir yük iletkenliği sağladığını söyleyebiliriz. Şekil 5b incelendiğinde ise, modifiye edilmiş cihazların daha iyi lüminesans değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bu da bize etkin yük geçişine bağlı olarak daha fazla elektron boşluk çifti taşınabildiği böylelikle daha yüksek lüminesans değerleri elde edildiğini göstermektedir. Cihazların akım verimi değerleri Şekil 5c de verilmiştir. Cihazlar en yüksek akım verimi değerlerine, sırasıyla ITO, 1-Meo ve 2-Meo için  $23.85 \text{ cd/cm}^2$  lüminesans,  $77.22 \text{ cd/cm}^2$  lüminesans ve  $127.19 \text{ cd/cm}^2$  lüminesans da

ulaşmaktadır. Akım verimi ve lüminesans değerlerindeki bu iyileşme daha önce kendiliğinden organize tek katman molekülleri ile

yapılan OLED çalışmalarında desteklemektedir (An vd., 2019; F. Huang vd., 2020; Kim vd., 2019).



Şekil 4. 1-Meo (a), 2-Meo (b) ve ITO (c) nun temas açıları.



Şekil 5. 1-Meo, 2-Meo ve ITO'nun akım yoğunluğu-gerilim (a.) ve akım-lüminesans (b.) ve akım verimi-lüminesans grafikleri (c.).

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada iki tane kendiliğinden organize olan tek tabaka molekül (1-Meo ve 2-Meo) kullanılarak ITO yüzeyleri modifiye edilmiştir. Böylelikle metal elektrot olan ITO ile organik malzeme olan

HTM arasındaki temas problemi çözülmüştür. Aynı zamanda ITO dan organik yüzeye etkin bir yük geçişi sağlanmıştır. ITO yüzeyleri kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edildikten sonra ıslanabilirlik karakteristikleri temas açısı ile ölçülmüş ve



modifiye edilen yüzeylerin hidrofobik karakteristiğinin arttığı görülmüştür. Benzer şekilde modifiye edilen yüzeylerin AFM ile yüzey topoğrafyalarına bakılmış ve yüzey pürüzlüğündeki değişimler gözlemlenmiştir. Son olarak ise kendiliğinden organize olan moleküller ile modifiye edilen cihazların optoelektronik özellikleri incelenmiş ve optoelektronik özelliklerinde ciddi iyileşmelerin olduğu görülmüştür. 1-Meo ve 2-Meo molekülleri ile modifiye edilen cihazların lüminesans değerleri modifiye edilmemiş cihazınki ile karşılaştırıldığında lüminesans değerlerinde, sırasıyla, 2 kat ve 3 kattan fazla bir artış olduğu görülmüştür.

### Kaynaklar

- An, D., Liu, H., Wang, S. and Li, X. (2019). Modification of ITO anodes with self-assembled monolayers for enhancing hole injection in OLEDs. *Applied Physics Letters*, 114(15), 153301. <https://doi.org/10.1063/1.5086800>
- Can, M., Havare, A. K., Aydın, H., Yagmurcukardes, N., Demic, S., Icli, S. and Okur, S. (2014). Electrical properties of SAM-modified ITO surface using aromatic small molecules with double bond carboxylic acid groups for OLED applications. *Applied Surface Science*, 314, 1082-1086. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.05.181>
- Chong, L.-W., Lee, Y.L. and Wen, T.C. (2007). Surface modification of indium tin oxide anodes by self-assembly monolayers: Effects on interfacial morphology and charge injection in organic light-emitting diodes. *Thin Solid Films*, 515(5), 2833-2841. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.05.010>
- Elschner, A., Bruder, F., Heuer, H.-W., Jonas, F., Karbach, A., Kirchmeyer, S. and Wehrmann, R. (2000). PEDT/PSS for efficient hole-injection in hybrid organic light-emitting diodes. *Synthetic Metals*, 111, 139-143. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(99\)00328-8](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(99)00328-8)
- Forrest, S. R. (2004). The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic. *Nature*, 428(6986), 911.
- Hotchkiss, P. J., Jones, S. C., Paniagua, S. A., Sharma, A., Kippelen, B., Armstrong, N. R. and Marder, S. R. (2011). The modification of indium tin oxide with phosphonic acids: mechanism of binding, tuning of surface properties, and potential for use in organic electronic applications. *Accounts of Chemical Research*, 45(3), 337-346. <https://doi.org/10.1021/ar200119g>
- Huang, F., Liu, H., Li, X. and Wang, S. (2020). Highly efficient hole injection/transport layer-free OLEDs based on self-assembled monolayer modified ITO by solution-process. *Nano Energy*, 78, 105399. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105399>
- Huang, Q., Li, J., Evmenenko, G. A., Dutta, P. and Marks, T. J. (2006). Systematic Investigation of Nanoscale Adsorbate Effects at Organic Light-Emitting Diode Interfaces. Interfacial Structure–Charge Injection–Luminance Relationships. *Chemistry of Materials*, 18(9), 2431-2442. <https://doi.org/10.1021/cm0604918>
- Kido, J., Kimura, M. and Nagai, K. (1995). Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device. *Science*, 267(5202), 1332-1334. [10.1126/science.267.5202.1332](https://doi.org/10.1126/science.267.5202.1332)
- Kim, H., Horwitz, J., Kim, W., Mäkinen, A., Kafafi, Z. and Chrisey, D. (2002). Doped ZnO thin films as anode materials for organic light-emitting diodes. *Thin Solid Films*, 420, 539-543. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(02\)00836-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(02)00836-2)
- Kim, H. R., Kim, T. W. and Park, S. G. (2019). Effective hole-injection characteristics of organic light-emitting diodes due to fluorinated self assembled monolayer embedded as a buffer layer. *Polymer International*, 68(8), 1478-1483. <https://doi.org/10.1002/pi.5853>
- Kim, J., Cacialli, F., Cola, A., Gigli, G. and Cingolani, R. (1999). Increase of charge carriers density and reduction of Hall mobilities in oxygen-plasma treated indium–tin–oxide anodes. *Applied Physics Letters*, 75(1), 19-21. <https://doi.org/10.1063/1.124263>
- Klauk, H. (2010). Organic thin-film transistors. *Chemical Society Reviews*, 39(7), 2643-2666. <https://doi.org/10.1039/B909902F>
- Li, C., Kwong, C., Djurišić, A., Lai, P., Chui, P., Chan, W. and Liu, S. (2005). Improved performance of OLEDs with ITO surface treatments. *Thin Solid Films*, 477(1-2), 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.08.111>
- Mi, X., Rungo, B. A., Dong, X., Liu, H., Li, X. and Wang, S. (2020). Enhanced efficiency and stability of organic light-emitting diodes via binary self-assembled monolayers of aromatic and aliphatic compounds on indium tin oxide. *Organic Electronics*, 105752. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2020.105752>
- Qiao, X., Tao, Y., Wang, Q., Ma, D., Yang, C., Wang, L. and Wang, F. (2010). Controlling charge balance and exciton recombination by bipolar host in single-layer organic light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 108(3), 034508. <https://doi.org/10.1063/1.3457672>

- Shang, Z., Liu, D., Wang, T., Yu, X., Li, B., Li, W. and Zhou, X. (2018). Enhanced Hole-Injection Property in an OLED with a Self-assembled Monolayer of Hole-Transporting TPD on Thin Au as the Anode. *Transactions of Tianjin University*, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s12209-018-0161-7>
- Tokudome, Y., Fukushima, T., Goto, A. and Kaji, H. (2011). Enhanced hole injection in organic light-emitting diodes by optimized synthesis of self-assembled monolayer. *Organic Electronics*, 12(10), 1600-1605. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2011.06.022>
- Wang, M. and Hill, I. G. (2012). Fluorinated alkyl phosphonic acid SAMs replace PEDOT: PSS in polymer semiconductor devices. *Organic Electronics*, 13(3), 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2011.12.008>
- Yalcin, E., Can, M., Rodriguez-Seco, C., Aktas, E., Pudi, R., Cambarau, W. and Palomares, E. (2018). Semiconductor self-assembled monolayers as selective contacts for efficient PiN perovskite solar cells. *Energy & Environmental Science*. 10.1039/C8EE01831F
- Yalcin, E., Kara, D. A., Karakaya, C., Yigit, M. Z., Havare, A. K., Can, M. and Aboulouard, A. (2017). Functionalized organic semiconductor molecules to enhance charge carrier injection in electroluminescent cell. *Optical Materials*, 69, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.04.038>
- You, H., Dai, Y., Zhang, Z. and Ma, D. (2007). Improved performances of organic light-emitting diodes with metal oxide as anode buffer, *Journal of Applied Physics*, 101 (2), 06105, <https://doi.org/10.1063/1.2430511>
- Zhao, Y., Duan, L., Zhang, D., Dong, G., Qiao, J., Wang, L. and Qiu, Y. (2014). Systematic Investigation of Surface Modification by Organosiloxane Self-Assembled on Indium-Tin Oxide for Improved Hole Injection in Organic Light-Emitting Diodes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(6), 4570-4577. <https://doi.org/10.1021/am500399e>
- Zheng, H., Zhang, F., Zhou, N., Sun, M., Li, X., Xiao, Y. and Wang, S. (2018). Self-assembled monolayer-modified ITO for efficient organic light-emitting diodes: The impact of different self-assemble monolayers on interfacial and electroluminescent properties. *Organic Electronics*, 56, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2018.01.038>
- Zhong, Z. and Jiang, Y. (2006). Surface modification and characterization of indium-tin oxide for organic light-emitting devices. *Journal of Colloid and Interface Science*, 302(2), 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.07.009>



## Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini

*Prediction of the uniaxial compressive strength of basalts from the point load strength index using the conversion factor*

Oumar YOUSOUF MAHAMAT TAHIR<sup>1,a</sup>, Kadir KARAMAN<sup>\*1,b</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 15.05.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2021

### Öz

Dönüşüm faktörü (k) nokta yükü dayanım indeksi (PLI) ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasındaki oran olup kayaların UCS tahmininde 60 senedir kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı magmatik, metamorfik ve tortul gibi farklı jeolojik kökenlerdeki kayalar için UCS ve PLI arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bazı çalışmalarda ise magmatik (piroklastik, volkanik, plütonik), tortul (kimyasal ve kırıntılı) ve metamorfik kayaların (foliasyonlu ve foliasyonsuz) alt kökenlerine ilişkin k katsayıları araştırılmıştır. Literatür taramasına göre k katsayısı şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı gibi bazı kayalar için yeterince çalışılmış olsa da bazaltlarda sınırlı sayıda çalışılmıştır. Bu çalışmanın amacı k katsayısının bazaltlar için değişimini bölgesel ve global açıdan incelemektir. k değerleri sıfır kesişim basit regresyon analizi ve UCS/PLI oranından elde edilmiştir. Bu çalışmada, bazaltlar için en uygun k oranı aralığının  $17 \leq k \leq 20$  olması gerektiği tavsiye edilmiştir. Tek bir değer vermek gerekirse, ANOVA sonuçlarına göre k değerinin 19 olması uygun olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Dönüşüm faktörü, Nokta yükü dayanım indeksi, Tek eksenli basınç dayanımı

### Abstract

Conversion factor (k), the ratio between point load strength index (PLI) and uniaxial compressive strength (UCS), has been used for 60 years in UCS estimation of rocks. Many researchers have investigated the relationship between UCS and PLI for various rock types of different geological origins, such as igneous, sedimentary, and metamorphic rocks. The k values for subclasses of igneous (pyroclastic, volcanic, and plutonic), sedimentary (chemical and clastic), and metamorphic (foliated and nonfoliated) rocks were investigated in some studies. According to the literature review, although the k has been studied sufficiently for some rocks such as shale, sandstone and limestone, it has been studied in a limited number of basalts. The aim of this study is to examine the variation of k for basalts from a regional and global perspective. The k values were obtained by zero-intercept simple regression analysis and the UCS/PLI ratio. In this study, it is suggested that the optimal k ratio should be in the range of  $17 \leq k \leq 20$  for the basalts. To give a single value, it would be appropriate for k to be 19 according to the ANOVA results.

**Keywords:** Conversion factor, Point load strength index, Uniaxial compressive strength

<sup>a</sup>b Kadir KARAMAN; kadirkaraman@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 42 64, orcid.org/0000-0002-3831-4465

<sup>a</sup>orcid.org/0000-0002-3004-267X

## 1. Giriş

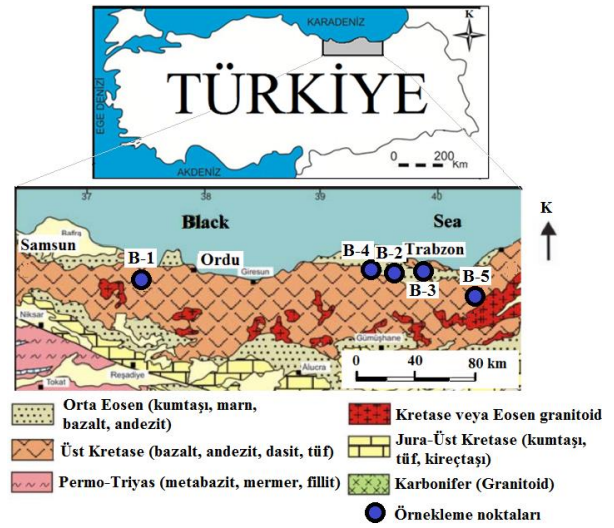
Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) maden, jeoloji ve inşaat mühendisleri için önemli bir parametre olup çevre duraylılığından tünel gibi yeraltı açıklıklarının tasarımına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. UCS, hem Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) hem de Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (ASTM) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Ancak, UCS parametresinin doğrudan belirlenmesi mühendislik çalışmalarının ön aşamasında nispeten pahalı, zahmetli ve zaman alıcı olabilmektedir (Kaya ve Karaman, 2016). Ayrıca, bazı kaya kütlelerinden (ince tabakalı, zayıf, çok çatlaklı kayalar vb.) standartlarca önerilen yüksek kaliteli NX çaplı karot örnekler elde etmek oldukça güçleşmektedir. Bu nedenlerden dolayı UCS parametresinin doğrudan belirlenemediği durumlarda daha ucuz ve pratik olan PLI gibi indeks deneylerden tahmin edilmektedir (D'Andrea vd., 1964; Bieniawski, 1975; Kahraman, 2001; Fener vd., 2005; Kılıç ve Teymen 2008; Singh vd., 2012; Kahraman, 2014; Karaman vd., 2015a; Karaman vd., 2015b; Kaya ve Karaman, 2016; Akbay ve Altındağ, 2020). Birçok araştırmacı UCS ile PLI arasındaki orandan elde edilen dönüşüm faktörünü (k) farklı kayalar için araştırmıştır. Broch ve Franklin (1972) ve Bieniawski (1975) sırasıyla k katsayısının 24 ve 23 olduğunu ifade etmişlerdir. Pells (1975) k değerinin 24 olarak kabul edilmesi durumunda dolomit, norit ve piroksenit gibi kayaların UCS tahmininde % 20 hataya yol açtığını ifade etmiştir. Benzer şekilde Topal (2000) k değerinin 24 alınmasının hatalı olduğunu ve tuf gibi zayıf kayalar için bu oranın 20'nin altında ve 13-14 gibi bir değerde olduğunu vurgulamıştır. Read vd., (1980) k değerinin kaya türüne ve ayrışmaya bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kaya ve Karaman (2016) tarafından 490 gibi oldukça fazla sayıda veri kullanılarak piroklastik, volkanik ve plütonik gibi magmatik, kimyasal ve kırıntılı gibi tortul ve foliasyonlu ve foliasyonsuz gibi metamorfik kayaların alt kökenlerine yönelik k katsayıları araştırılmış ve araştırmacılar k değerlerinin 12.98 ile 18.55 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Bu konuda yapılmış çalışmalar tarandığında k katsayısı şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı gibi bazı kayalar için yeterince çalışılmış olsa da, söz konusu katsayının bazaltlarda oldukça sınırlı sayıda çalışıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalara göre, tüm kaya malzemesi için tek bir k değerinin uygulanamayacağı ve bu değer farklı kaya türleri ve kökenleri için oldukça geniş aralıkta değiştiği görülmektedir (Kahraman, 2014). Topal

(2000) gelecekte yapılacak araştırma ve uygulamalarda değişik kaya türleri için ayrı ayrı kullanılabilir k oranları bulunmasını önermiştir. Sharo ve Al-Tahawa (2019) kayaların UCS ve diğer jeomekanik özellikleri arasında çok sayıda ilişki kurulmasına rağmen, bazaltlarda hala UCS ve diğer parametreler arasında eşitlik geliştirmeye ihtiyaç olduğundan bahsetmişlerdir. Bu çalışmada fiziko-mekanik özelliklerinde önemli farklılık gözlenen ve aynı zamanda mühendislik uygulamalarında (agrega, beton, mıcır, yol çalışmaları vb.) yaygın olarak kullanılan bazalt kayaları için k katsayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

Bu çalışmada Trabzon İliinden 4 adet ve Ordu İliinden 1 adet olmak üzere toplam 5 farklı bazalt örneği kullanılmıştır (Şekil 1). UCS ve PLI deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Standartlara uygun karot örneklerinin alınabilmesi için, sahada her blok örneğinin makroskopik incelemesi yapılarak ayrışma ve kırık, çatlak gibi süreksizlik içermeyen örnekler seçilmiştir. Deneyler taze ve sağlam karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 1.** Örneklem noktaları ve jeolojik bilgiler (Okay ve Sahinturk (1997) ve Parlak vd. (2013)'ten değiştirilmiştir)

### 2.1. Tek eksenli basınç dayanımı

UCS deneylerinde boy/çap oranı en az 2.5 olan NX çaplı (5.47 cm) karot örnekler kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres ile yükleme hızı 0.75 MPa/s olacak şekilde yapılmıştır. Her kaya örneği için 5 adet karot deneye tabi tutulmuş ve ortalama değer UCS olarak kaydedilmiştir.

## 2.2. Nokta yükü dayanım indeksi

Bu çalışmada, aksel PLI yöntemine göre boy/çap oranı 0.50 – 0.55 olan karot örnekler kullanılmıştır. Dijital nokta yükü deney aleti kullanılmış olup, yenilmenin 10 – 60 saniyede gerçekleşmesi sağlanmıştır. Her kaya için 10'ar adet örnek olmak üzere toplam 50 adet karot örneğinde deney yapılmıştır. En yüksek ve en düşük iki sonuç ortalamaya dahil edilmemiş olup, geriye kalan 6 değer ortalaması dikkate alınmıştır. Nokta yükü dayanım indeksi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_s = P/De^2 \quad (1)$$

Eşitlikte;  $I_s$ : Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa), P: Örneği kıran kuvvet (kN), De: Eşdeğer karot çapı (cm)'dir.

Karot örneklerde çapsal yükleme için  $De^2=D^2$ , aksel ve şekilsiz örnekler üzerinde yapılan deneylerde ise  $De^2=4A/\pi$  olarak alınmaktadır. Burada;  $A=W \times D$ ; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanıdır. Eğer konik uçların örneğin içine girmesi durumu söz konusu ise;  $A=WD$  olarak alınır. Bu eşitliklerde, W genişlik (cm), D ise yükleme

noktaları arasındaki uzaklıktır. Yukarıda ifade edilen düzeltilmemiş nokta yük dayanımı değeri referans çapa ( $D=50$  mm) göre düzeltmek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (2)$$

$$F = (De/A)^{0.45} \quad (3)$$

Eşitlikte;

$I_{s(50)}$ : 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (MPa),

F: Boyut düzeltme faktörüdür.

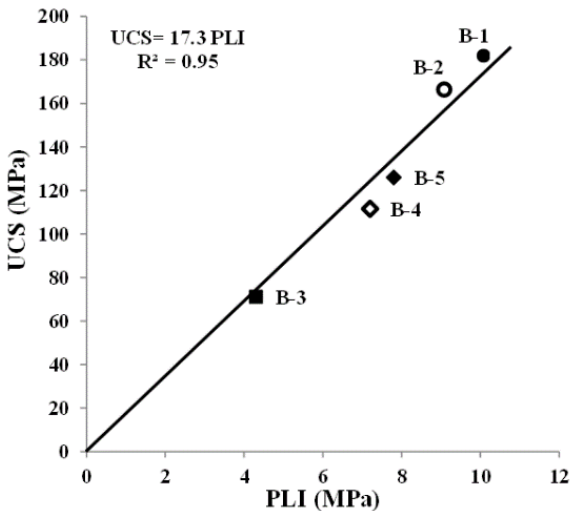
## 3. Bulgular ve tartışma

### 3.1. Verilerin değerlendirilmesi

İlk olarak UCS tahmini için her bir örnek grubuna ait ortalama UCS ve PLI değerleri arasında sıfır-kesişim basit regresyon analizleri yapılmış (Şekil 2) ve k katsayıları belirlenmiştir. Daha sonra UCS/PLI oranından elde edilen k değerleri bulunmuştur (Tablo 1). Sıfır-kesişim regresyon analizine göre k katsayısı 17.3, UCS/PLI oranından elde edilen ortalama k değeri ise 16.9 olarak elde edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen k değerinin aritmetik ortalaması 17.1 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Regresyon analizleri ve UCS/PLI oranından elde edilen k katsayıları

Örnek no	UCS (MPa)	PLI (MPa)	Regresyon	UCS/PLI	Aritmetik ortalama k
B-1	182.0	10.06	17.3	18.1	
B-2	166.4	9.08	17.3	18.3	
B-3	71.13	4.3	17.3	16.5	
B-4	111.6	7.2	17.3	15.5	
B-5	126	7.8	17.3	16.2	
	Ortalama k		<b>17.3</b>	<b>16.9</b>	<b>17.1</b>



**Şekil 2.** UCS ve PLI arasındaki ilişki

Read vd. (1980) bazaltlarda ayrışma ve boşluk oranlarındaki değişimin k katsayısı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada boşluk oranı arttıkça k katsayısının 7.5'lere kadar düştüğünü, sağlam bazalt için ise bu oranın 18'e kadar çıktığını ifade etmişlerdir. Aggitalis vd. (1996) ayrışma oranlarına bağlı olarak bazalt ve gabro kayaçlarının UCS parametresini PLI gibi dolaylı yöntemlerden tahmin etmiştir. Endait ve Juneja (2015) bazaltların doygun ve kuru durumları için k katsayısını doygun durum için 18 ve kuru durum için 24 olarak bulmuşlardır. Sharo ve Al-Tahawa (2019) Ürdün bazaltları için k değerlerini 23.52 olarak bulmuşlardır (Tablo 2). Bu çalışmada ise taze bazaltlar için k katsayısı araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veriler ile literatürden toplam 108 adet UCS – PLI veri çiftleri (Tablo 3)

kullanılarak genel bir değerlendirme yapılmıştır (Şekil 3). Tablo 2’deki araştırmacıların kullandıkları verilerin bir kısmı paylaşılmadığı için değerlendirmeye alınamamıştır.

**Tablo 2.** Literatürde bazaltlar için önerilen k değerleri

Kaya türü	Eşitlik	Referans
Bazalt	UCS=18 PLI	Read vd., (1980)
Bazalt	UCS=21.96 PLI	Aggistalis vd., (1996)
Bazalt (doymun)	UCS=18 PLI	Endait ve Juneja (2015)
Bazalt (kuru)	UCS=24 PLI	Endait ve Juneja (2015)
Bazalt	UCS=23.52 PLI	Sharo ve Al-Tahawa (2019)

Şekil 3 dikkate alındığında 108 adet k değerlerinin genellikle 15 – 25 aralığında değiştiği görülmektedir. Öte yandan Raj ve Pedram (2015) ve Endait ve Juneja (2015) tarafından yapılan

çalışmaya ait k değerleri literatür ile bağdaşmayacak ölçüde yüksektir. Raj ve Pedram (2015) çalışmasından elde edilen k oranları 59 – 118 arasında değişirken, Endait ve Juneja (2015) çalışmasından elde edilen k oranları ise 5 – 330 arasında değişmektedir. Ancak bütün verilerin değerlendirildiği sıfır kesişim basit regresyon analizi yapıldığında ise k değeri yaklaşık 20 çıkmaktadır. Raj ve Pedram (2015) çalışmasındaki bazaltlara ait sıfır kesişim basit regresyon analizi yapıldığında ise k değeri yaklaşık 85 çıkmaktadır. Kahraman vd., (2005) farklı araştırmacılar tarafından sıfır-kesişim regresyon eşitlikleri kullanarak önerilen k katsayılarının 8.6–29 gibi geniş bir aralıkta değişim gösterdiğini vurgulamıştır. Bu nedenle k katsayılarının 8–30 arasında değişim gösterdiği ve verilerin büyük çoğunun bu aralıkta yer aldığı 84 adet veri çifti çoklu karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu veri çiftlerinden 8 tanesi Metabazalt kayalarına aittir. Dayanım arttıkça k değerlerinin arttığı bilinmektedir. Bununla beraber bazaltlarda dayanım artışının k değerleri üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 3).

**Tablo 3.** Bu çalışma ve literatürden bazaltlara yönelik derlenen veriler

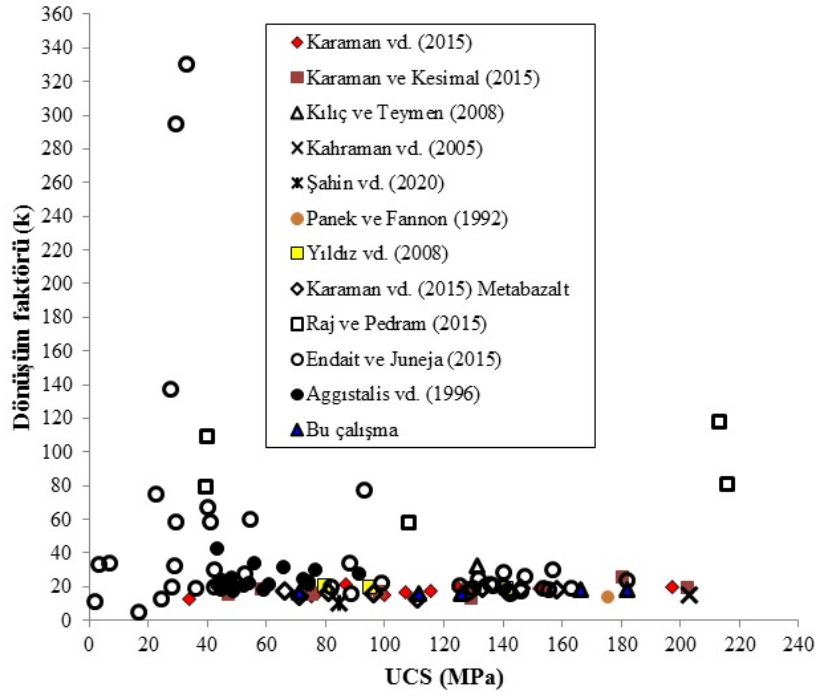
Araştırmacılar	UCS (MPa)	UCS (MPa)	PLI (MPa)	PLI (MPa)
	En düşük	En yüksek	En düşük	En yüksek
Panek ve Fannon (1992)*	-	175.2	-	11.99
Aggistalis vd. (1996)	43.08	91.21	1.005	3.33
Kılıç vd. (2003)*	-	86.2	-	4.28
Yıldız vd. (2008)	79.56	140.88	3.832	7.301
Kılıç ve Teymen (2008)*	-	131.0	-	4.0
Karaman ve Kesimal (2015)	47.0	202.0	2.9	10.3
Raj ve Pedram (2015)	39.08	215.39	0.36	2.64
Endait ve Juneja (2015)	2.2	163.1	0.1	9.1
Karaman vd. (2015a)	34.0	197.0	2.76	9.95
Özdemir ve Sarıcı (2019)*	-	126.2	-	8.94
Şahin vd. (2020)	-	84.44	-	8.39
Bu çalışma	71.13	182.0	5.3	11.1

\*Tek veri

### 3.2. Ölçülen ve tahmini UCS değerlerinin çoklu karşılaştırılması

Varyans analizi (ANOVA, Analysis of variances), iki veya daha fazla verilerin grup ortalamalarının veya işlem ortalamalarının farklılığını test etmek için yararlanılan bir yöntemdir (Kalaycı, 2009). Bu çalışmada ANOVA türlerinden tek yönlü varyans analizi (Oneway ANOVA) kullanılmıştır. Grupların homojen olması için anlamlılık seviyesi (P) > 0.05 olması gerekmektedir. Gruplar homojen olmadığında ise (P < 0.05) homojen olmayan

varyans analizleri (Tamhane’s T2, Dunnett’s T3, Games-Howell) yapılmaktadır. Daha sonra homojenlik durumuna göre bir yöntem seçilerek analiz yapılır ve ilk olarak ANOVA tablosundaki P (anlamlılık seviyesi) değerine bakılır. Eğer bu teste göre P < 0.05 ise “grup ortalamaları birbirinden önemli düzeyde farklıdır” veya “grup ortalamalarından en az biri diğerlerinden farklıdır” yorumları yapılmaktadır (Dunnett ve Tamhane, 1992). P>0.05 ise gruplar birbirinin aynıdır veya grup ortalamaları birbirinden farklı değildir anlamı çıkmaktadır.



Şekil 3. Dönüşüm faktörü (k) ve UCS arasındaki ilişki

$P=1.0$  olduğunda ise gruplar birbirine tamamen benzerdir anlamı çıkmaktadır.

Bu çalışmada varyansların homojenlik testine göre  $P$  değeri  $0.000 < 0.05$  olduğundan grupların varyansları homojen değildir. ANOVA tablosuna göre ise  $P=0.000$  yani  $< 0.05$  olduğundan gruplar arasında fark vardır. Veriler homojen olmadığı için Post. Hoc. Testlerinden Tamhane testi yapılmıştır (Tablo 4). Literatür taramasına göre bazaltlara ait  $k$  değerlerinin çoğunlukla 15-25 arasında değiştiği görülmüştür. Bu nedenle söz konusu aralıktaki  $k$  değerleri kullanılarak tahmini UCS değerleri elde edilmiştir. Laboratuvarında ölçülen UCS değerlerinin (84 adet) kontrol olarak kullanıldığı Tamhane testine göre  $k$  katsayısı 24 alındığında ölçülen UCS değerlerine benzemediği ve tamamen farklı olduğu sonucu ( $P < 0.05$ ) ortaya çıkmıştır.  $k$  katsayıları 15 ve 23 alındığında ise Tamhane testine göre benzerlik gösterse de diğer katsayılar göre benzerlik oranı çok düşüktür ( $k=15$  için  $P=0.206$  ve  $k=23$  için  $P=0.221$ ). ANOVA analizleri nokta yükü indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımını belirlemek için kullanılması gereken  $k$  katsayılarının 16-22 aralığında değişebileceğini göstermiştir. Ayrıca, UCS değerleri ile tahmini UCS değerlerinin birebir örtüştüğü durum  $k$  katsayılarının 17-20 aralığında olduğu durumdur. Bu çalışmadan elde edilen  $k$  katsayısının (17.1) önerilen değerler içinde olduğu görülmüştür. Tek bir değer vermek gerekirse ölçülen ve tahmini UCS değerleri arasındaki ortalama farkın en düşük olduğu  $k$  değeri olan 19 sayısı önerilebilir. Ölçülen ve tahmini UCS

ortalamalarının karşılaştırılmasını içeren Şekil 4'teki grafik bu durumu desteklemektedir. Bu çalışmada aynı tür kaya için bile tek bir  $k$  katsayısının olmadığı, buna rağmen tek tip kaya çalışıldığı için  $k$  değerlerinin oldukça yakın bir aralıkta değiştiği anlaşılmıştır. Bazaltların kendi içinde oldukça geniş bir dağılım (vesiküler, amigloidal, olivin ojitli vb.) göstermesi  $k$  oranlarının nispeten değişimine neden olduğu düşünülmüştür. Ayrıca, Akbay ve Altındağ (2020) PLI değerlerindeki değişimlerin test cihazına ve test yöntemine bağlı olabileceğini kapsamlı literatür incelemesi ile ortaya koymuşlardır.

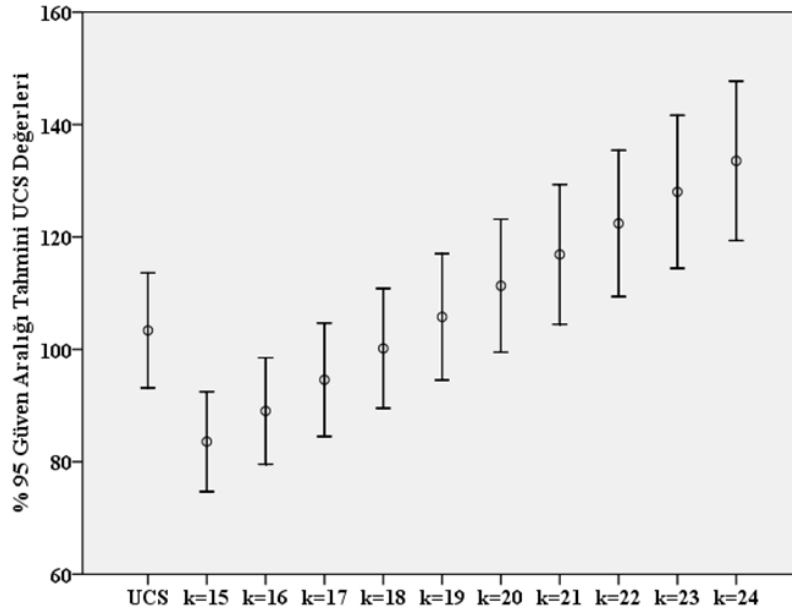
#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada ve literatürden derlenen bazaltlara yönelik toplam 108 adet UCS ve PLI veri çifti değerlendirilmiştir. Dönüşüm faktörlerinin genellikle 15-25 arasında değiştiği görülmüştür. Bazaltların dayanım tahmininde kullanılacak dönüşüm faktörü ( $k$ ) bu çalışmada kullanılan bazaltlar için 17.1 olarak bulunmuştur. ANOVA analizlerine göre PLI parametresinden bazaltların UCS parametresini tahmin etmek için kullanılması gereken en uygun  $k$  oranının  $17 \leq k \leq 20$  olması gerektiği tavsiye edilmiştir. Önerilen  $k$  değerinin tek bir değer olmamasının en önemli nedenleri; bazaltların çok çeşitli (olivinli, ojitli, zeolitli bazalt, vesiküler bazalt, amigloidal bazalt vb.) jeolojik türlerinin olması, dayanım ve porozite özelliklerinin çok değişken olmasıdır. Tek bir değer vermek gerekirse ANOVA sonuçlarına göre  $k$  değerinin 19 olması uygun olacaktır.



**Tablo 4.** Ölçülen ve tahmini UCS değerlerinin çoklu karşılaştırılması

Tamhane						
(I)	(J)	Ortalama fark	Standart	Anlamlılık	95% Güven aralığı	
Faktör	Faktör	(I-J)	hata	seviyesi	Alt sınır	Üst sınır
UCS	k=15	19.78571	6.81019	0.206	-3.1786	42.7500
	k=16	14.33333	7.01039	0.908	-9.3000	37.9667
	k=17	8.78571	7.21667	1.000	-15.5406	33.1120
	k=18	3.20238	7.42499	1.000	-21.8268	28.2316
	k=19	-2.40476	7.64377	1.000	-28.1749	23.3654
	k=20	-7.94048	7.86358	1.000	-34.4575	18.5765
	k=21	-13.51190	8.09532	0.996	-40.8185	13.7947
	k=22	-19.03571	8.32509	0.730	-47.1271	9.0557
	k=23	-24.65476	8.55765	0.221	-53.5420	4.2325
	k=24	-30.16667*	8.79583	0.042	-59.8703	-0.4630

**Şekil 4.** Ölçülen ve tahmini UCS ortalamalarının karşılaştırılması**Kaynaklar**

Aggitalis, G., Alivizatos, A., Stamoulis, D. and Stournaras, G. (1996). Correlating uniaxial compressive strength with schmidt hardness, point load index, young's modulus, and mineralogy of gabbros and basalts (northern Greece). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 54(1), 3–11. <https://doi.org/10.1007/BF02600650>

Akbay D. and Altındağ, R. (2020). Reliability and evaluation of point load index values obtained from different testing devices. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120(3), 181-190, <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/759/2020>

Bieniawski., Z.T. (1975). The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(75\)90024-1](https://doi.org/10.1016/0013-7952(75)90024-1)

Broch, E. and Franklin, J.A. (1972). The point-load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 9(6), 669-676. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90030-7)

D'Andrea, D.V., Fisher, R.L. and Fogelson, D.E. (1964). Prediction of compression strength from other rock properties. *Colorado School of Mines*, 59(4b), 623–640.



- Dunnnett, C.W. and Tamhane, A.C. (1992). A step-up multiple test procedure. *Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 162-170. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475188>
- Endait, M. and Juneja, A. (2015). New correlations between uniaxial compressive strength and point load strength of basalt. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 9(4), 348-353. <http://dx.doi.org/10.1179/1939787914Y.0000000073>
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A. and Gunaydin, O. (2005). A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(4), 329-343. <https://doi.org/10.1007/s00603-005-0061-8>
- 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.
- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38(7), 981-994. [https://doi.org/10.1016/s1365-1609\(01\)00039-9](https://doi.org/10.1016/s1365-1609(01)00039-9)
- Kahraman, S., Gunaydin, O. and 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>
- Kahraman, S. (2014). The determination of uniaxial compressive strength from point load strength for pyroclastic rocks. *Engineering Geology*, 170, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.12.009>
- Kalaycı, Ş. (2009). *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri* (4. Baskı). Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Karaman, K. and Kesimal, A. (2015). Evaluation of the influence of porosity on the engineering properties of rocks from the eastern Black Sea region: NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(1), 557–564. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1217-6>
- Karaman, K., Kesimal, A. and Ersoy, H. (2015a). A comparative assessment of indirect methods for estimating the uniaxial compressive and tensile strength of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(4), 2393–2403. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1384-0>
- Karaman, K., Kaya, A. and Kesimal, A. (2015b). Use of the point load index in estimation of the strength rating for the RMR system. *Journal of African Earth Sciences* 106, 40–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.006>
- Kaya, A. and 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. and Teymen, A. (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(2), 237-244. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0128-3>
- Kılıç, A.M., Karakuş, A. ve Keskin, M.Ö. (2003). Diyarbakır yöresi mermerlerinin fiziko-mekanik özellikleri-özellik enerji ilişkisi. *Türkiye IV. Mermer sempozyumu (MERSEM '2003) Bildiriler Kitabı* (pp. 159-171). Afyon, Türkiye.
- Okay, A.I. and Şahintürk, O. (1997). Geology of the eastern Pontides. AAPG memoirs 68: regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. *American Association of Petroleum Geologists*, (pp. 291-311). Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Özdemir, E. ve Sarıcı D.E. (2019). Yazihan (Malatya) bazaltının fiziko-mekanik özellikleri bakımından balast taşı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. 1. *Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi* (pp. 295-299). Malatya, Türkiye.
- Panek, L.A. and Fannon, T.A. (1992). Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 25(2), 109–140. <https://doi.org/10.1007/bf01040515>
- Parlak, O., Çolakoğlu, A., Dönmez, C., Sayak, H., Türkel, A., Yıldırım, N. and Odabaşı, I. (2013). Geochemistry and tectonic significance of ophiolites along the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone in northeastern Anatolia. *Geological Society, London, Special Publications*, 372(1), 75-105. <https://doi.org/10.1144/sp372.7>
- Pells, P.J.N. (1975). The use of point load test in predicting the compressive strength of rock material Technical note. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13(6), 54-56. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(76\)91301-2](https://doi.org/10.1016/0148-9062(76)91301-2)
- Raj, K. and Pedram, R. (2015). Correlations between direct and indirect strength test methods. *International Journal of Mining Science and*

- Technology*, 25(3), 355– 360. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.03.005>
- Read, J.R.L., Thornten, P.N. and Regan, W.M. (1980). A rational approach to the point load test. *Proc. 3rd Australian-New Zealand Geomechanics Conference* (pp. 35–39). Wellington, New Zealand.
- Sharo, A.A. and 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.
- Şahin, M., Ulusay, R. and Karakul, H. (2020). Point load strength index of half-cut core specimens and correlation with uniaxial compressive strength. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53(8), 3745–3760. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02137-9>
- Singh, T.N., Kainthola, A. and Venkatesh, A. (2012). Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(2), 259–264. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0192-z>
- Topal, T. (2000). Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 24(1), 73-86.
- Yıldız, S., Işık, N. ve Keleştemur, O. (2008). Diyarbakır-Karacadağ bazalt taşlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 617-626.

## Determination of nitrogen pollution amount from livestock breeding in Turkey

### *Türkiye’de hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan azot kirliliği miktarının belirlenmesi*

Büşra YAYLI\*<sup>1,a</sup>, İlker KILIÇ<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 21.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2021

#### Abstract

Nitrogen (N) pollution is gradually increasing from agriculture production. Nitrogen pollution derived from agriculture has important components using overuse chemical fertilizers, excess amount formation of manure and incorrect manure management systems etc. Nitrogen compounds that take up with the soil, water and air with the nitrogen cycle cause various environmental problems. It is a critical issue that needs to be studied on, as the efficiency and production decrease will be encountered by decreasing the nitrogen rate in reducing nitrogen pollution. In this paper, the estimation of nitrogen pollution derived from livestock production in Turkey and aimed need to focus points to be considered. The nitrogen pollution load created by farm animals in 2019 is 1 062 004 tons N/year and 834 381 tons N/year in 2020 in Turkey. Cattle are the animal species that have the greatest effect on nitrogen excretion. Because the daily manure production amounts are higher than other types, and the moisture content is high. Therefore, processing and control are more difficult than other species. The integrated approach is needed to reduce elementary nitrogen formation due to the gradual formation of nitrogen from agricultural systems and intensive agriculture areas.

**Keywords:** Livestock animal, Manure, Nitrogen

#### Öz

Tarımsal üretimden kaynaklanan azot (N) kirliliği giderek artmaktadır. Tarımda azot kirliliğinin en önemli bileşenleri; kimyasal gübre kullanımı, doğal gübre oluşumu ile yanlış gübre yönetim sistemleridir. Azot döngüsü ile toprağa, suya ve havaya karışan azot bileşikleri çeşitli çevresel problemlere neden olmaktadır. Azot kirliliğinin azaltılmasında azot oranının düşürülmesiyle verim ve üretim düşüşüyle karşılaşılacağından üzerinde durulması gereken kritik bir konudur. Bu çalışmada, Türkiye’deki çiftlik hayvanlarından kaynaklanan gübre üretiminin neden olduğu azot kirliliği boyutunun belirlenmesi ve üzerinde durulması gereken noktaların ortaya konulması hedeflenmiştir. Türkiye’de 2019 yılında çiftlik hayvanlarının oluşturduğu azot kirlilik yükü 1 062 004 ton N/yıl iken 2020 yılında 834 381 ton N/yıl’dır. Azot atılımına en büyük etkide bulunan hayvan türü büyükbaş hayvanlardır. Çünkü günlük olarak gübre üretim miktarları diğer türlere göre daha fazladır ve nem içeriği yüksektir. Bundan dolayı işlenmesi ve kontrol altına alınması diğer türlere göre daha zor olmaktadır. Tarımsal sistemlerden ve yoğun tarım uygulanan alanlardan kaynaklanan azotun kademeli oluşması nedeniyle, elementer azot oluşumunun azaltılması için entegre bir yaklaşıma ihtiyaç bulunmaktadır.

**Keywords:** Çiftlik hayvanı, Gübre, Azot

\*<sup>a</sup> Büşra YAYLI; busrayayli@uludag.edu.tr, Tel: (0534) 656 24 70, orcid.org/0000-0002-0198-3550

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0087-6718

## 1. Introduction

Nitrogen pollution is on the way to becoming one of the most dangerous environmental problems in the world. Nitrogen pollution's the main source of in the world is the agricultural sector. Main sources of agricultural nitrogen pollution; excessive use of chemical fertilizers and not managing fertilizer and waste management systems correctly (Günel, 2019). It is possible to reduce the harmful effects caused by nitrogen by reducing the application of chemical fertilizers with nitrogen and reducing the feed protein content in animals. However, food production, efficiency and global food security should not be compromised. Although this problem is not sufficiently emphasized, it does not seem easy to develop and implement a nitrogen pollution prevention or reduction strategy.

Manure and faeces are the main sources of nitrogen pollution on livestock farms. The non-digestible part of the protein taken with the feed, that is, organic nitrogen, is thrown out with manure and feces. In animal feed, feeds with high protein content are generally preferred. However, high protein feeds do not always affect the yield in non-productive animals. Contrary, indigestible protein increases nitrogen excretion along with manure and feces. Nutrients that cannot be undigested by animals are excreted as urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) in mammals and as uric acid ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4$ ) in poultry through manure and feces as N (Yaylı and Kılıç, 2021). The hydrolysis of urea forms ammonia by urease enzymes in an anaerobic environment. Uric acid, on the other hand, is broken down by microorganisms and bacteria to form ammonia.

Failure to properly and planned manure management systems in livestock enterprises causes environmental pollution. Storing the manure without taking the necessary precautions and exposing it to rainwater causes the amount of N and  $\text{K}_2\text{O}$  in the manure to decrease. In incorrect storage and manure management systems, the leakage of N from the manure into the soil causes pollution in the surface and groundwater (Boyacı et al., 2011).

The most important nitrogen gases emitted by anthropogenic activities are nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ), nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), and ammonia ( $\text{NH}_3$ ) (Behera et al., 2013). Nitrogen consists of different forms as a result of the microbial breakdown of manure in livestock animals. The main source of reactive nitrogen from manure and feces is the  $\text{NH}_3$  and  $\text{N}_2\text{O}$  compounds. Reactive nitrogen can easily be displaced by the nitrogen cycle in air, water and

soil. Nitrogen fixation occurs when free nitrogen in the atmosphere is retained by bacteria and transforms into  $\text{NH}_4$  form that plants can use (Karaşahin, 2014). Nitrification takes place by converting ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) to nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) by Nitrosomonas bacteria, and nitrite to nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) with Nitrobacter. Nitrite is an intermediate product in nitrification and quickly turns into nitrate form. Denitrification processes take place by reducing nitrate and nitrite and turning them back into elemental nitrogen gas. In the denitrification process,  $\text{N}_2\text{O}$  is formed by the reduction of nitrate.  $\text{N}_2\text{O}$  greenhouse gas has a great potential for global warming (1 kg of  $\text{N}_2\text{O}$  gas is 298 kg  $\text{CO}_2$  equivalent).

Some of the ammonia that microorganisms can not use in animals digestive systems is thrown out, and nitrogen loss occurs. Ammonia is a key component in the global nitrogen cycle and plays an important role (Ti et al., 2019; Erisman et al., 2007; Leip et al., 2015; Galloway et al., 2003). Ammonia can contribute to the greenhouse effect by contributing to soil acidification, water eutrophication, biodiversity loss and nitrous oxide formation when it returns to the earth through nitrogen accumulation through the nitrogen cycle (Erisman et al., 2007; Hou and Yu, 2020). Ammonia emissions from livestock farms are also the main source of particulate matter in the atmosphere (Dai et al., 2019). Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), an important component formed in the nitrogen cycle, causes it to become eutrophic by mixing in water resources. Nitrate, which is an output in livestock production, increases daily as an input in crop production and causes greater pollution, especially in water resources. There is a determining the pollution on the water resources caused by nitrates of agricultural origin and the prevention convenience Regulation on the Protection of Waters against Agricultural Nitrate Pollution in Turkey. According to this regulation, water resources' eutrophication potential containing more than 50 mg/L of nitrate is determined (Anonymous, 2016). Also, nitrogen compounds cause toxicological problems in underground and aboveground sources, apart from eutrophication, affecting the oxygen concentration and drinking water (Ardıç, 2013).

In this study, to determine the size of the nitrogen manure amount of pollution caused consisting of animal species from the agricultural sector in Turkey.

## 2. Materials and method

In this study, taking into account, the animal species in Turkey are intended to estimate the actual size of the nitrogen pollution arising from livestock operations and the determination of the points to be focused on.

Turkey seems a general upward trend in the presence of livestock animals in 2020 (Table 1). With the increasing demand for livestock products, the amount of manure created by the increase in livestock animals' number becomes difficult to manage (Chadwick et al., 2020).

**Table 1.** Livestock numbers (head/year) (TUIK, 2021)

Livestock animals	2019	2020	Change (%)
Culture breed cattle	3 793 401	1 245 275	-67.17
Culture hybrid cattle	3 121 495	1 039 112	-66.71
Calf-Heifer (Culture breed)	1 214 030	1 245 275	2.57
Calf-Heifer (Culture hybrid)	1 043 498	1 039 112	-0.42
Indigenous cow	664 597	644 800	-2.98
Bull	836 561	958 017	14.52
Calf-Heifer (indigenous)	218 841	213 112	-2.62
Bullock	14 074	19 775	40.51
Laying hen	120 725 299	121 302 869	0.48
Broiler	221 841 860	258 046 340	16.32
Turkey	4 541 102	4 797 793	5.65
Buffalo (female)	45 337	45 853	1.14
Buffalo (male)	110 802	117 935	6.44
Sheep	37 276 050	42 126 781	13.01
Goat	11 205 429	11 441 418	2.11

According to animal species, there were obtained from the Pasture Regulation necessary reference values for nitrogen conversion coefficients (Table 2). Bovine animal unit (BBHB) is the reference value initially established according to each type of animals nutritional or feed needs. Culture breed dairy cow was taken as a bovine unit. According to regulation, it is taken as a basis that 2.5% of dry grass or 10% of green grass will be fed to animals daily live weight (Mera Yönetmeliği, 1998). According to these reference values, animal species average amount of nitrogen excretion per year is given in Table 2. Poultry manure contains

higher dry matter (DM) and N, while cattle manure is rich in organic matter (OM) and organic carbon (OC) (Kılıç et al., 2014). The nitrogen pollution per unit of poultry is higher than other livestock animal species. Because in poultry, feeds with high nutritional value are given to produce abundantly in a short time. The non-digestible part is thrown away with the manure, and its nitrogen content is high (İnal et al., 1996; Özdemir and Sezer, 2013; Görmüş, 2018). However, more nitrogen excretion occurs, especially due to the high daily manure amounts of cattle.

**Table 2.** Annual nitrogen amount consisting of bovine unit values and animal manure by animal species

Livestock animals	BBHB conversion coefficient	kg N / yıl.BBHB
Laying hen	0.004	85
Broiler	0.0025	85
Turkey	0.02	85
Süt sığırı		
Culture breed cattle	1	
Calf-Heifer (Culture breed)	0.6	
Culture hybrid cattle	0.75	70
Calf-Heifer (Culture hybrid)	0.45	
Indigenous cow	0.5	
Calf-Heifer (indigenous)	0.3	
Sheep	0.1	70
Goat	0.08	70
Buffalo		
Buffalo (male)	0.9	70
Buffalo (female)	0.75	
Bullock	0.6	70
Bull	1.5	70

### 3. Discussion and conclusion

According to the calculations made, it is seen that the N excretions of bovine animals and ovine are more than poultry (Table 3). The reason for this is that the daily manure amount of cattle is higher. Daily manure production of dairy cattle is 43 kg, beef cattle 29 kg, sheep 2.40 kg, goat 2.05 kg, broiler 0.19 kg, laying hen 0.13 kg and turkey 0.38

kg (Yağlı and Koç, 2019). Nitrogen excretion from livestock was 1 062 004 tons N/year in 2019 and 834 381 tons N/year in 2020. It is observed that this decrease in the rate of nitrogen excretion with fertilizer decreases with the decrease in the number of cattle. It is observed that this decrease in the rate of nitrogen excretion with manure decreases with the decrease in the number of cattle.

**Table 3.** Nitrogen excretion by livestock animal species (tons/year)

Livestock animals	2019	2020
Broiler	47 141	54 835
Laying hen	41 047	41 243
Turkey	7 720	8 156
Sheep	260 932	294 887
Goat	62 750	64 072
Culture breed cattle	265 538	87 169
Calf-Heifer (Culture breed)	50 989	52 302
Culture hybrid cattle	163 878	54 553
Calf-Heifer (Culture hybrid)	32 870	32 732
Indigenous cow	23 261	22 568
Calf-Heifer (indigenous)	4 596	4 475
Buffalo (male)	6 981	7 430
Buffalo (female)	2 380	2 407
Bull	87 839	100 592
Bullock	591	831

Manure management systems are critical in reducing nitrogen excretion, which increases with the increase in the number of livestock animals. According to Figure 1, it is seen that most of the nitrogen pollution is caused by cattle. Manure, especially in large enterprises and facilities, emerges as a significant problem. Bovine manure contains macro and micronutrients, and stable organic nitrogen in the barn decomposes slowly. Approximately 40-50% of nitrogen continues to decompose in the first year, 12-15% in the second year, 5-6% in the third year and less in other years (Çayır et al., 2012).

Livestock is rich in nitrogen, phosphorus and potassium, which increase crop yield and soil fertility. Beef manure and pig manure have a high moisture content (> 85%), while poultry, sheep and goats have relatively lower moisture content (70%). Solid manure has a higher nutrient density. It is easier to process, transport and use. Therefore, poultry, sheep, and goat manure have higher values than pig and cattle manure (Li, 2020).

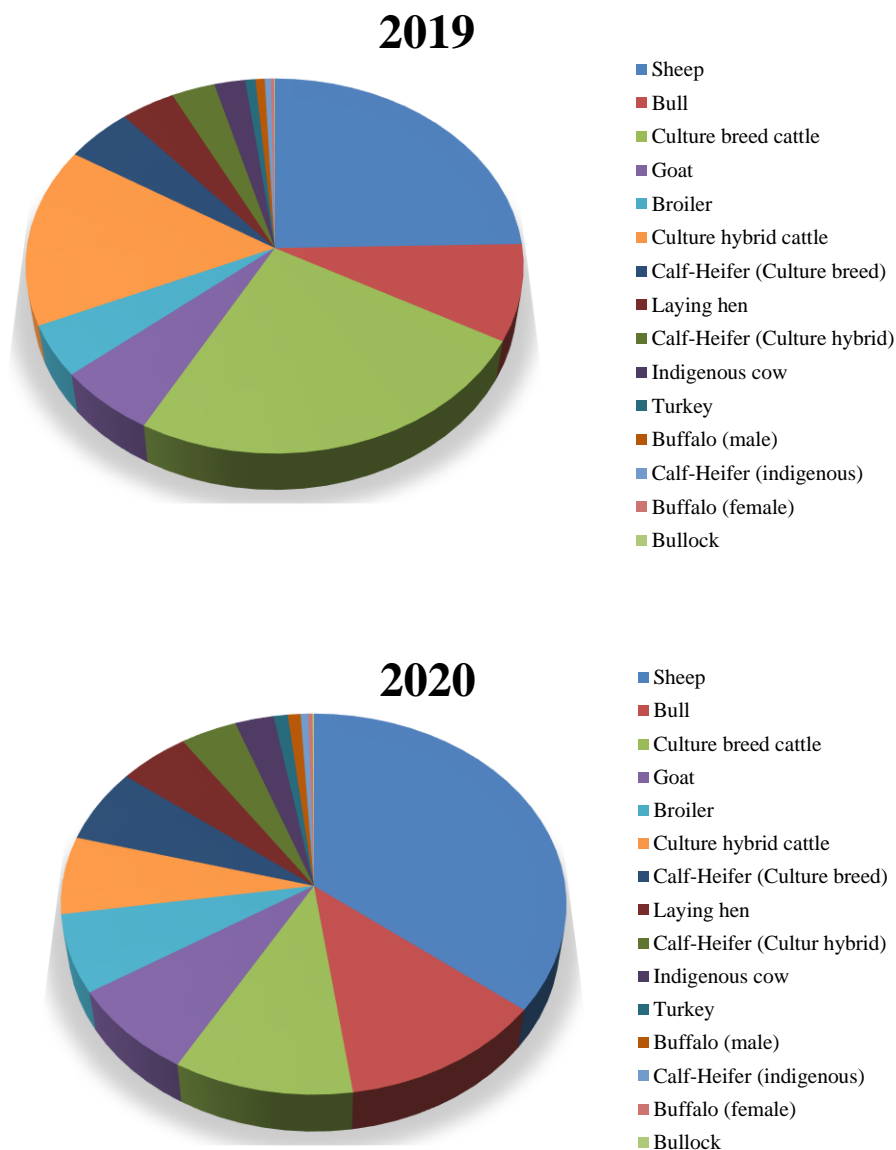
When nitrogen pollution in poultry was examined, it was observed that more nitrogen was formed in broiler chickens. Because broiler chickens are bred in litter, they mix as of manure, excrement and litter. Since laying hens are generally cultivated in caged systems without litter, the

manure is in pure form without litter (Özdemir and Sezer, 2013).

It is seen that the highest N load occurs in the Eastern Anatolia region when nitrogen pollution caused by livestock farms is examined by region in 2020 (Table 4). Bovine and ovine livestock breeding is the animal species with the highest nitrogen pollution in the Eastern Anatolia region. There are limited economic activity areas since much cannot be cultivated due to the climatic conditions in this region. It is made mostly in the form of cold-enduring cattle and sheep pasture livestock.

As a result of this study, Turkey's nitrogen pollution potential can be projected for 2021 using the obtained values. According to TUIK's data, livestock animals' numbers showed an average annual increase of 5.1% in the last 10 years (Table 5). It is seen that there is an increase in all animal species except a bullock. Livestock animal numbers are expected to reach approximately 472 520 269 in 2021.





**Figure 1.** Contributions of N pollution by livestock animal

**Table 4.** Nitrogen pollution by regions (tons N/year)

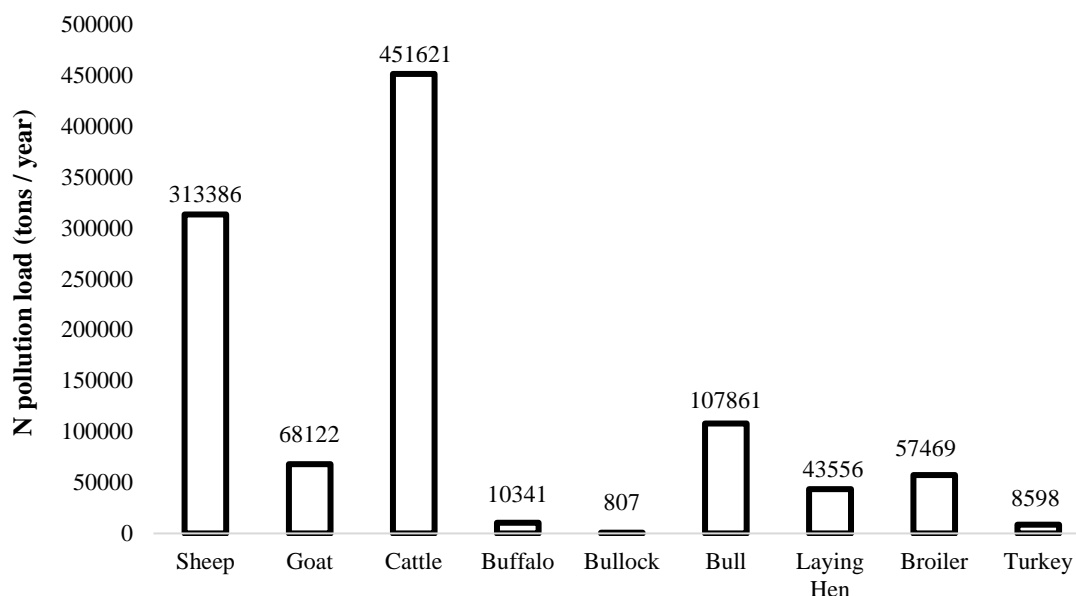
	Mediterranean	Aegean	Black Sea	Southeastern Anatolia	Marmara Region	East Anatolia	Central Anatolia
Sheep	23 647	31 455	13 980	53 255	34 794	78 043	59 713
Goat	18 633	7 594	2 421	16 365	5 358	9 616	7 134
Cattle	33 077	70 529	60 933	39 262	56 065	91 211	81 479
Buffalo	177	633	3 072	884	2 259	1 326	1 166
Bullock	47	105	884	158	48	111	21
Bull	5 475	9 285	10 850	18 032	9 591	26 854	20 505
Laying Hen	2 242	14 169	3 311	3 217	7 998	1 699	8 608
Broiler	6 032	14 913	2 710	136	27 009	1 652	2 383
Turkey	78	3 533	163	624	2 927	586	245
<b>Toplam</b>	<b>89 409</b>	<b>152 214</b>	<b>98 322</b>	<b>131 933</b>	<b>146 050</b>	<b>211 099</b>	<b>181 253</b>

**Table 5.** Change rate of livestock numbers in the last 10 years

Livestock animal	Sheep	Goat	Cattle	Buffalo	Bullock	Bull	Laying Hen	Broiler	Hen
Change (%)	6.3	6.3	4.4	8.7	-2.9	7.2	5.6	4.8	5.4

As a result of the projection made by predicting that this increase will continue in 2021, the nitrogen pollution expected to occur according to livestock

animal species in 2021 is given in Figure 2. The expected livestock numbers are predicted to cause 1 061 762 tons N/year nitrogen pollution.



**Figure 2.** N pollution load projected for 2021 (tons/year)

In this study, the amount of nitrogen pollution discharged with manure from farm animals has been estimated from the general livestock animal numbers. Manure is in on into the atmosphere in the form of nitrogenous compounds by microbial breakdown in intensive livestock facilities. It also causes diffuse pollution by infiltrating ground and surface waters through runoff and leakage from pastures and agricultural lands. According to Turkish Environmental Legislation, livestock farms should be at least 500 m and an average of 1000 m away from residential areas. It should be at least 300 m away from lakes and water sources, at least 100 m away from irrigation and drainage channels, and at least 30 m from sanitary installations that provide water (Karaman, 2005; Parlakay et al., 2015; Yüksel and Şişman, 2015). Manure contains large amounts of N in organic form and is converted to inorganic form by mineralization, posing a serious risk to the environment. Manure is applied to the soil by spreading it once, so compared to chemical fertilizer, the N content is more mixed into ground and surface waters (Soyer and Yılmaz, 2020). Nitrogen excretion rates may vary according to the practices in the enterprises, the age, gender, breed, yield, and ration composition of the livestock. There is needed an integrated approach to reduce the formation of reactive nitrogen due to the gradual formation of nitrogen from agricultural systems and areas with intensive agriculture. In manure management practices, improvement

studies should be carried out at all stages such as housing, storage of manure, processing and application to the field. Manure storage areas and silos bottom must be well insulated so that manure does not leach with ground and surface waters. Directing the manure from animal production to biogas production will not only provide energy gain but also have positive environmental effects (Kayışoğlu and Göncü, 2020). Thus, considering that it will effectively reduce nitrogen emissions by converting the methane gas content of the manure into energy, it is thought to be one of the effective methods.

## References

- Anonymous, (2016). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021, 22 March) Retrieved from [https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Yonetmelikler/tarimsal\\_kaynakli\\_%20nitratkirliligine\\_karsi.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Yonetmelikler/tarimsal_kaynakli_%20nitratkirliligine_karsi.pdf).
- Ardıç, C. (2013). *İçme suyundaki nitrat konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine oluşturduğu risklerin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P. and Balasubramanian, R. (2013). Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 8092-8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>

- Boyacı, S., Akyüz, A. ve Kükürtçü, M. (2011). Büyükbaş hayvan barınaklarında gübrenin yarattığı çevre kirliliği ve çözüm olanakları. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1), 49-55.
- Chadwick, D.R., Williams, J.R., Lu, Y., Ma, L., Bai, Z., Hou, Y., Chen, X. and Misselbrook, T.H. (2020). Strategies to reduce nutrient pollution from manure management in China. *Frontiers in Agricultural Science and Engineering*, 7(1), 45-55. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019293>
- Çayır, M., Atılğan, A. ve Hasan, Ö.Z. (2012). Büyükbaş hayvan barınaklarındaki gübrelilikler ve su kaynaklarına olan durumlarının incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 1-9.
- Dai, C., Huang, S., Zhou, Y., Xu, B., Peng, H., Qin, P. and Wu, G. (2019). Concentrations and emissions of particulate matter and ammonia from extensive livestock farm in South China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1871-1879. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3766-4>
- Erisman, J. W., Bleeker, A., Galloway, J. and Sutton, M. S. (2007). Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environmental Pollution*, 150(1), 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.033>
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B. and Cosby, B. J. (2003). The nitrogen cascade. *Bioscience*, 53(4), 341-356. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0341:TNC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2)
- Görmüş, C. (2018). *Türkiye'deki hayvan gübrelilerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Günel, M. (2019). Süt sığırı yetiştiriciliği kaynaklı azot kirliliği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(2), 153-164.
- Hou, X. and Yu, X. (2020). An ammonia emissions inventory for agricultural sources in Hefei, China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 13(3), 260-267. <https://doi.org/10.1080/16742834.2020.1747355>
- İnal, A., Sözüdoğru, S. ve Erden, D. (1996). Tavuk gübresinin içeriği ve gübre değeri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(3), 45-50.
- Karaman, S. (2005). Tokat yöresinde hayvan barınaklarından kaynaklanan çevre kirliliği ve çözüm olanakları. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 57-65.
- Karaşahin, M. (2014). Bitkisel üretimde azot alım etkinliği ve reaktif azotun çevre üzerine olumsuz etkileri. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 15-21. <https://doi.org/10.5505/apjes.2014.38247>
- Kayışoğlu, B. and Göncü, S. (2020). Determination of commercially available biogas production capacity and effects on methane capture in Tekirdağ province. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3), 445-455. <https://doi.org/10.33462/jotaf.730915>
- Kılıç, İ., Uğuz, S. and Aşık, B.B. (2014). Soil pollution by trace metals derived from animal feed and manure in the Bursa region of Turkey. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96(10), 1476-1488. <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1029927>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M. A., Vries, W., Weiss, F. and Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- Li, J. (2020). *Engineering informatics and systems modeling for optimization of animal manure management*. Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Mera Yönetmeliği, (1998). Mera Yönetmeliği, Uygulama Esasları. (2021, 26 March). Retrieved from <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5057&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- Özdemir, S. ve Sezer, B. (2013). Kümes atıklarının organik gübre ve biyo-yakıt olarak değerlendirilmesi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10, 20-24.
- Parlakay, O., Çelik, A. ve Kızıltuğ, T. (2015). Hatay ilinde tarımsal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm önerileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 17-26.
- Soyer, G. and Yılmaz, E. (2020). Waste management in dairy cattle farms in Aydın region. *Potential of Energy Application. Sustainability*, 12(4), 1614. <https://doi.org/10.3390/su12041614>
- Ti, C., Xia, L., Chang, S. X. and Yan, X. (2019). Potential for mitigating global agricultural ammonia emission: a meta-analysis. *Environmental Pollution*, 245, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.124>
- TUIK, (2021). *Türkiye İstatistik Kurumu, Hayvancılık istatistikleri*. (2021, 26 February) Retrieved from

<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr>

Yağlı, H. ve Koç, Y. (2019). Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 35-48. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.63760>

Yaylı, B. and Kılıç, İ. (2021). Mitigation of ammonia from litter by additives in poultry houses. Kavak, D. (Ed.), *Current Engineering Sciences Research*, (p 103-118). Livre de Lyon.

Yüksel, A. H. ve Şişman, C. B. (2015). *Hayvan barınaklarının planlanması*. İstanbul: Hasad Yayıncılık LTD. ŞTİ.

## Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği

*The effect of point and diffuse pollution sources on surface water quality,  
A case study for Alaşehir Aiver sub-basin*

**B. Hande GÜRİSOY HAKSEVENLER<sup>\*1,a</sup>, Selma AYZ<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümü ve  
Kent Sorunları ve Yerel Yönetimler Araştırma ve Uygulama Merkezi, 34820, İstanbul

<sup>2</sup>TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, 41470, Kocaeli

• Geliş tarihi / Received: 18.02.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 23.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 11.09.2021

### Öz

Bu çalışmada nüfusu, gelişen sanayisi ve tarım faaliyetleri dikkate alınarak Alaşehir Çayı Alt Havzası pilot bölge olarak seçilmiş, havzadaki noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen kirliliğin yüzey suyu kalitesine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Noktasal kaynaklı kirleticiler olarak alıcı ortama gelen kentsel ve endüstriyel atıksular; yayılı kaynaklı kirleticiler olarak gübre kullanımı, hayvancılık faaliyetleri, arazi kullanımı, katı atık sızıntı suları, fosseptik kullanımı ve atmosferik taşınım dikkate alınmıştır. Bu kaynaklardan gelen azot ve fosfor yüklerinin hesaplanması için basit ve kolay uygulanabilir bir metodoloji sunulmuştur. Söz konusu kirletici kaynakların yüzeysel su kalitesine etkisini belirlemek için 2015-2016 yıllarında dört dönem boyunca izleme yapılmıştır. Yapılan izlemeler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (10.08.2016, RG: 29797) Ek 5, Tablo 2’de yer alan konvansiyonel parametreler üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında havzada oluşan toplam TN ve TP yükünün önemli bir kısmının (TN’un %79’u, TP’un %61’i) yayılı kaynaklı faaliyetlerden geldiği belirlenmiştir. Yayılı kirliliğe en fazla sebep olan kaynaklar gübre kullanımı (toplam yayılı TN’nin %37’si, TP’nin %48’i) ve hayvancılık faaliyetleridir (toplam yayılı TN’nin %34’ü, TP’nin %41’i). Noktasal kirliliğin ise belirgin olarak kentsel atıksu deşarjlarından kaynaklandığı (toplam noktasal TN’nin %93’ü, TP’nin %95’i ve KOİ’nin %83’ü) belirlenmiştir. Havzadaki yüzeysel su kalitesi genel olarak çok kirli (Sınıf IV) ve kirli (Sınıf III) olarak belirlenmiştir. Organik kirleticilerin kaynağının noktasal kirleticiler olduğu tespit edilmiştir. Noktasal ve yayılı kirletici kaynakların bulunduğu alanlardan geçen akarsuyun su kalitesi belirgin ölçüde kötüleşmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Noktasal kaynaklı kirlilik, Su kalitesi, Toplam azot, Toplam fosfor, Yayılı kaynaklı kirlilik.

### Abstract

*In this study, Alaşehir River Sub-basin was selected as a pilot area considering its population, developing industry and agricultural activities, and it was aimed to examine the effect of pollution from point and diffuse sources on surface water quality. Urban and industrial wastewaters coming to the receiving environment were considered as point source pollutants while fertilizer use, livestock activities, land use, solid waste leachate, septic tank use and atmospheric convection were considered as diffuse source pollutants. A rough and easily applicable methodology was presented for calculating nitrogen (total nitrogen, TN) and phosphorus (total phosphorus, TP) loads from these sources. For determining the impact of these pollution sources on surface water quality, main streams of the basin were monitored for four periods in 2015-2016. The obtained results were evaluated over the conventional parameters in Table 2 of Annex 5 of the Surface Water Quality Regulation (10.08.2016, RG: 29797). In the light of the results, a significant part of the total TN and TP load (79% of TN, 61% of TP) occurred in the basin came from activities with diffuse sources. The major sources of diffuse pollution were fertilizer use (37% of TN, 48% of TP) and livestock activities (34% of TN, 41% of TP). Point source pollution was mostly caused by urban wastewater discharges (93% of TN, 95% of TP and 83% of COD). The surface water quality was generally defined as highly polluted (Class IV) and polluted (Class III). In the presence of organic parameters, point source pollutants were found as responsible for pollution. The water quality of the streams passing through the areas with point and diffuse pollutant sources deteriorated significantly.*

**Keywords:** Point source pollution, Water quality, Total nitrogen, Total phosphorus, Diffuse source pollution.

<sup>\*a</sup> B. Hande GÜRİSOY HAKSEVENLER; hande.gursoy@marmara.edu.tr; Tel: (0216) 777 42 66; orcid.org/0000-0003-3711-5058

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-5932-9060

## 1. Giriş

Günümüzde nüfusun hızlı artışı, sanayileşme ve kentleşme ile kullanılabilir nitelikteki suyun miktarında ve kalitesinde önemli azalmalar tespit edilmektedir (du Plessis, 2019). Ülkemiz özelinde su varlığı 2020 yılında 1346 m<sup>3</sup>/kişi.yıl olarak belirlenmiştir (DSİ, 2021). Su kaynakları üzerindeki baskıyı ifade eden Falkenmark indeksine göre ülkemiz “su sıkıntısı çeken ülkeler” sınıfındadır (Falkenmark, 1989). Ayrıca Türkiye’nin içinde bulunduğu Akdeniz Havzası iklim değişikliğinden olumsuz etkilenmekte, daha kötü bir senaryoyla ülkemizin 2040 yılında “su kıtlığı çeken ülkeler” içinde yer alması tahmin edilmektedir (Luo vd., 2015). Su kaynakları üzerindeki bu değerlendirmeler incelendiğinde, su kaynaklarının havza ölçeğinde yönetimi daha da önem kazanmaktadır. Havza kavramı idari sınırdan bağımsız olarak, akarsuyun başlangıcından döküldüğü noktaya kadar tüm drenaj alanının kapsamaktadır. Bu alanda su kaynağının miktar ve nitelik açısından korunması, sürdürülebilir kullanımı ve geliştirilmesi için havza yönetiminin yapılması gerekmektedir.

Su kaynaklarındaki kalitenin iyileştirilmesi ve korunması için noktasal ve yayılı kirleticilerin belirlenmesi ve kontrolü ilk adımı oluşturmaktadır. Söz konusu kaynaklardan gelen kirliliğin belirlenmesinde birim kirlilik yüklerine dayalı basit hesaplamalardan çeşitli hassasiyetteki kompleks modellere kadar pek çok yöntem kullanılmaktadır (Gürel vd., 2011; Tanık vd., 2013; Carneiro vd., 2020). Özellikle yayılı kaynaklı kirleticiler, arazi kullanımı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, ısınma ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan kirletici emisyonlarından kaynaklanmakta; iklime, meteorolojik koşullara, coğrafi ve jeolojik duruma bağlı olarak kesikli şekilde alıcı ortamlara karmaşık taşınım ve dönüşüm reaksiyonları ile ulaşmaktadır (Özalp, 2009). Dolayısıyla noktasal kirlilik yükleri ile karşılaştırıldığında hesaplanmaları yerine ancak tahminlere dayalı olarak belirlenebilmektedir. Yayılı yükün belirlenmesinde kullanılan basit hesaplama yöntemleri ile az veriyle ve kısa sürede tahmini yük değerine ve bunun havzadaki dağılımına ulaşılabilir. Öte yandan kompleks simülasyon modelleri ile yeterli mekânsal ve zamansal çözünürlükle daha gerçekçi sonuçlar üretilebilmektedir. Bununla birlikte, bu modelleri çalıştırmak için havzanın fiziksel özelliklerini tanımlayan kapsamlı verilere, modelleri doğrulamak için akarsuların su kalitesi ve debi verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dahası, uzmanlık gerektirdiklerinden bu modeller üzerinde

çalışmak genellikle zor olmakta ve uygulamaları genellikle kısa süreli çalışmalarda pratik olmamaktadır (Gürel vd., 2011). Kirletici kaynaklar arasında azot ve fosfor gibi besin maddeleri sucul ortamda ötrofikasyona sebep olarak, sucul ekosistemlerin sağlığını tehdit etmektedir (Carpenter, 2005). Su kalitesinin izlenmesinde kullanılan en önemli göstergelerden biri suyun ötrofik seviyesidir (Smith, 2003). Buna bağlı olarak farklı kirlilik senaryolarına göre çalıştırılan havza ve su kalitesi modellerinde temel kirlilik girdilerini besin maddeleri oluşturmaktadır (Özcan vd., 2016; Ouyang vd., 2017).

Su kalitesinde tespit edilen azot ve fosfor kirliliğinin kaynağı hem noktasal hem de yayılı olabilmektedir. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çalışmaların çoğunun ya su kalitesinin belirlenmesi üzerine olduğu (Zeydan vd., 2019; Verep vd., 2020; Yıldırım, 2020) ya da kirletici kaynaktan gelen kirliliğin belirlenmesi üzerine olduğu (Akdoğan vd., 2015; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2020) görülmektedir. Kirlilik kaynağı ile su kalitesi arasında ilişki kurulmasına ancak birkaç çalışmada değinildiği tespit edilmektedir (Ayyıldız, 2019; Eren ve Kaya, 2020). Bu çalışmada Gediz Havzası içinde yer alan Alaşehir Çayı Alt Havzası barındırdığı yoğun nüfusla, hızlı endüstrileşmesi ve aynı zamanda önemli tarımsal faaliyetleri sebebiyle pilot havza olarak seçilmiştir. Alt havza bazında noktasal ve yayılı kaynaklı kirleticilerin bölgeyi ne ölçüde kirlittiklerinin belirlenmesi için toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) yükleri üzerinden basit bir hesaplama yaklaşımı geliştirilmiştir. Söz konusu kirleticilerin yüzeysel su kalitesini ne ölçüde kirlittikleri Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, Mülga OSİB, 2016) Ek 5 Tablo 2’de yer alan parametreler ve sınır değerler üzerinden ortaya konmuştur.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Çalışma alanı

Alaşehir Çayı Alt Havzası, Ege Bölgesinin en önemli havzaları arasında sayılan Gediz Havzası sınırları içindedir. Alt havza Alaşehir Çayı’nı içine alıp, Gediz Nehri ile birleşerek Manisa Merkez ilçeye kadar olan kısmı kapsamaktadır. Alt havzayı oluşturan başlıca yerleşimler Manisa iline ait Alaşehir, Salihli, Sarıgöl, Ahmetli ve Turgutlu ilçeleridir. Alt havza 379 769 km<sup>2</sup>’lik alanı ile Gediz Havzası’nın %22’sini oluşturmaktadır, yaklaşık 402 000 kişi ile Gediz Havzası’nın %25’ini barındırmaktadır (OSİB, 2013, Hazırlayan: TÜBİTAK MAM).



Alt havzada yer alan yerleşimlerden Alaşehir, Ahmetli, Durasıllı, Turgutlu ve Salihli’de kentsel Atıksu Arıtma Tesisi (KAAT) mevcut olup, bu tesislerden Alaşehir KAAT ihtiyaca cevap vermemiş, Kasım 2020’den itibaren yeni KAAT işletmeye alınmıştır. Ancak mevcut hesaplamalarda henüz yeni tesisin işletmeye alınmadığı kabulü üzerinden gidilmiştir. Sarıgöl ilçesinde KAAT bulunmamaktadır. Endüstri olarak Salihli OSB ve Salihli Dericiler ile gıda ve içecek üretimi yapan tesisler yer almaktadır. Turgutlu’da yer alan Turgutlu OSB’de henüz atıksu arıtma tesisi (AAT) bulunmayıp, oluşan atıksular arıtılmadan Nif Çayı’na ardından Gediz Nehrine ulaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle Turgutlu ilçesi Alaşehir Çayı Alt Havzasında bulunsun bile ilçedeki endüstriyel atıksularının önemli bir kısmı Gediz Havzasına ait diğer bir alt havzaya deşarj edilmektedir. Alt havzada oluşan katı atıklar mevcut durumda düzensiz olarak depolanmaktadır. Yakın zamanda Turgutlu, Sarıgöl ve Alaşehir ilçelerinde katı atık transfer istasyonları işletmeye alınacak olup, toplanan atıklar Manisa Merkezde yer alan Uzunburun Katı Atık Bertaraf ve Düzenli Depolama Tesisinde bertaraf edilecektir.

Gediz Havzası geneli verimli toprakları ve iklimi ile tarıma oldukça elverişlidir. Alaşehir Çayı Alt Havzasında yer alan Alaşehir, Salihli ve Turgutlu ilçeleri ile birlikte alt havza dışında yer alan Gediz ve Menemen ilçelerinde yapılan tarımsal üretim, Türkiye’deki üretimin %10’u karşılık gelmektedir. Buna bağlı olarak gübre ve zirai ilaç kullanımının yoğun olduğu görülmektedir. Diğer taraftan hayvancılık faaliyetlerinde Salihli, Turgutlu ve Alaşehir ilçeleri büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı yetiştiriciliğinde ve hayvansal üretimde öne çıkmaktadır.

## 2.2. Noktasal kaynaklı kirlilik yüklerinin hesaplanması

Noktasal kaynaklardan gelen kirlilik yükü hesaplamalarında alıcı ortamlara deşarj edilen kentsel atıksular ile endüstriyel atıksular (arıtıldıktan sonra ve/veya arıtılmadan) dikkate alınmıştır. Kentsel atıksulardan kaynaklanan kirliliğin belirlenmesinde “kirlilik yükleri” ve “atıksu debileri” için 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nde yer alan Tablo 2.1 değerlerinden yararlanılmıştır (Mülga ÇOB, 2010). Havzadaki tüm yerleşim yerlerinde kanalizasyon şebekesinin var olduğu kabul edilmiştir. Mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerindeki kirlilik giderme verimleri organik madde (kimyasal oksijen ihtiyacı üzerinden, KOİ) için %80, TN için %25, TP için

%10 olarak alınmıştır. Eğer mevcut KAAT’lerde azot ve fosfor giderimi varsa kirlilik giderme verimleri KOİ için %80, TN için %70, TP için %70 olarak hesaplanmıştır. Eğer yerleşim yerinde fosseptik kullanılıyorsa, bunun sızdırmalı olduğu kabul edilerek kirlilik giderim verimleri; KOİ için %50, TN için %20 ve TP için %30 olarak belirlenmiştir (Öztürk, 2008). Bunların dışında havzada kentsel alan içerisindeki sanayi tesislerinden kaynaklanan yüklerin (bir diğer ifadeyle KAAT’ne gelen endüstriyel atıksulardan kaynaklanan yüklerin) hesaplamaya dahil edilmesi için, kentsel kirlilik yükleri %25 oranında artırılmıştır.

Endüstriyel kirliliğin belirlenmesinde havzada önemli kirletici etkisi olan ve atıksuyunu alıcı ortama deşarj eden işletmeler dikkate alınmıştır. Bu işletmelere ait debi değerleri Manisa İli Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Kirletici konsantrasyonları belirlenirken işletmelerin deşarj izinlerinin olup olmadığı dikkate alınmıştır. Deşarj izni olan tesislerin kirletici konsantrasyonları için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde (SKKY, 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı, (Mülga ÇOB, 2004) yer alan tesislerden işletmenin ilgili olduğu tablodaki değerler kullanılmıştır. Deşarj izni olmayan tesisler için SKKY’deki ilgili sektör tablosu esas alınarak tabloda verilmiş olan sınır değerler üzerinden arıtma tesisinin KOİ için %80, TN için %35 ve TP için %15 giderim yapacağı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır (Öztürk, 2008). Çalışmada verisi elde edilemeyen tesislerden gelecek debi ve kirlilik yükü için endüstrilerden kaynaklanan kirlilik yükleri %25 oranında artırılmıştır (OSİB, 2013, Hazırlayan: TÜBİTAK MAM).

## 2.3. Yayılı kaynaklı kirlilik yüklerinin hesaplanması

Çalışma kapsamında havzadaki başlıca yayılı kirletici kaynakları “arazi kullanımı, tarımsal faaliyetler (gübre kullanımı), hayvancılık faaliyetleri, atmosferik taşınım, katı atık depolama faaliyetleri (düzensiz depolama alanı sızıntı suları), fosseptik (sızdırmalı) çıkış suları” olarak sınıflandırılmıştır. İzlenen metodolojide arazi kullanım dağılımı ve her bir arazi kullanım faaliyetinin alansal değerleri 2012 yılı Landsat uydu görüntüsü ile belirlenmiştir. Ayrıca sayısallaştırılmış 1/25.000 ölçekli toprak ve standart topografik haritalar da diğer önemli veri toplama kaynakları olarak kullanılmıştır.

Yayıllı kaynaklı kirlilik parametreleri olarak TN ve TP dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bilindiği gibi birim yükler büyük ölçüde iklim koşullarına, toprak özelliklerine, nüfus eğilimine, tarımsal uygulamalara ve kültüre vb. bağlıdır. Mevcut çalışmada her bir kirlilik kaynağının birim

yükleri, literatürde belirtilen değerler üzerinden seçilmiş, kullanılan veriler ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Yayıllı kirliliğin belirlenmesinde dikkate alınan faaliyetler ve birim yükler Tablo 1’de sunulmaktadır.

**Tablo 1.** Yayıllı kirliliğin belirlenmesinde kullanılan birim yükler

Faaliyet	Birim yükler		Veri kaynağı	Birim yük kaynağı
	TN (kg/ha.yıl)	TP (kg/ha. yıl)		
<b>Arazi kullanımı</b>				
Kırsal Alanlar	9.5	0.90	CORINE, 2012	Dahl ve Kurtar, 1993; ÖEJV, 1993
Orman Alanları	2	0.05		
Çayır ve Meralar	5	0.1		
Kentsel Alanlar	3	0.50		
	<b>TN</b>	<b>TP</b>		
<b>Hayvancılık faaliyetleri</b>	<b>(kg/ton hayvan ağırlığı.gün)</b>	<b>(kg/ton hayvan ağırlığı.gün)</b>		
Büyükbaş (inek, sığır) (≈500 kg)	0.30	0.10	TÜİK, 2016	Agricultural Statistics, 2001; Andreadakis vd., 2007; Öztürk, 2008
Küçükbaş (koyun, keçi) (≈45 kg)	0.42	0.06		
Kümes Hayvanı (tavuk) (≈ 2 kg)	0.52	0.22		
<b>Tarımsal faaliyetler</b>	<b>TN (-)</b>	<b>TP (-)</b>		
Gübre Kullanımı	%10	%2.5	CORINE, 2012; Mülga Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2015	Oenema ve Roest, 1998; Bottcher ve Rhue, 2000; Öztürk, 2008
	<b>TN (mg/L)</b>	<b>TP (mg/L)</b>		
<b>Katı atık sızıntı suyu</b> (Bölgedeki yağış dikkate alınarak)	400	10	TÜİK, 2016 Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016	Öztürk, 2008
	<b>TN (kg/ha.yıl)</b>	<b>TP (kg/ha.yıl)</b>		
<b>Atmosferik taşınım</b> (Bölgedeki yağış dikkate alınarak)	10.3	-	Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016; CORINE, 2012	Öztürk, 2008
	<b>TN (gr/kişi.gün)</b>	<b>TP (gr/kişi.gün)</b>		
<b>Fosseptik kullanımı</b>	4.8	0.7	TÜİK, 2016; Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010	Öztürk, 2008

Yayıllı kirlilik, meteorolojik, iklimsel, coğrafi ve jeolojik koşullara bağlı olan taşınma ve dönüşüm reaksiyonları ile alıcı ortamlara ulaşmaktadır. Bu nedenle kirliliğin bir kısmının alıcı ortama ulaşacağı kabul edilmektedir. Alıcı ortama ulaşan gübre kullanımı ve hayvancılık faaliyetleri ile ilgili literatürde azot için %5-30, fosfor için %0.5-5 değerleri yer almaktadır (Oenema ve Roest, 1998; Bottcher ve Rhue, 2000). Ertürk ve vd., (2007)’nin Melen Havzasında nütrient emisyonlarının belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışma dikkate alınarak, mevcut çalışmada bu değerler TN için %15, TP için %5 olarak seçilmiştir. Alıcı ortama ulaşan yayıllı kirlilik yükü oranları Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2.** Alıcı ortama ulaşan yayıllı kirlilik yüklerinin yüzdesi (%)

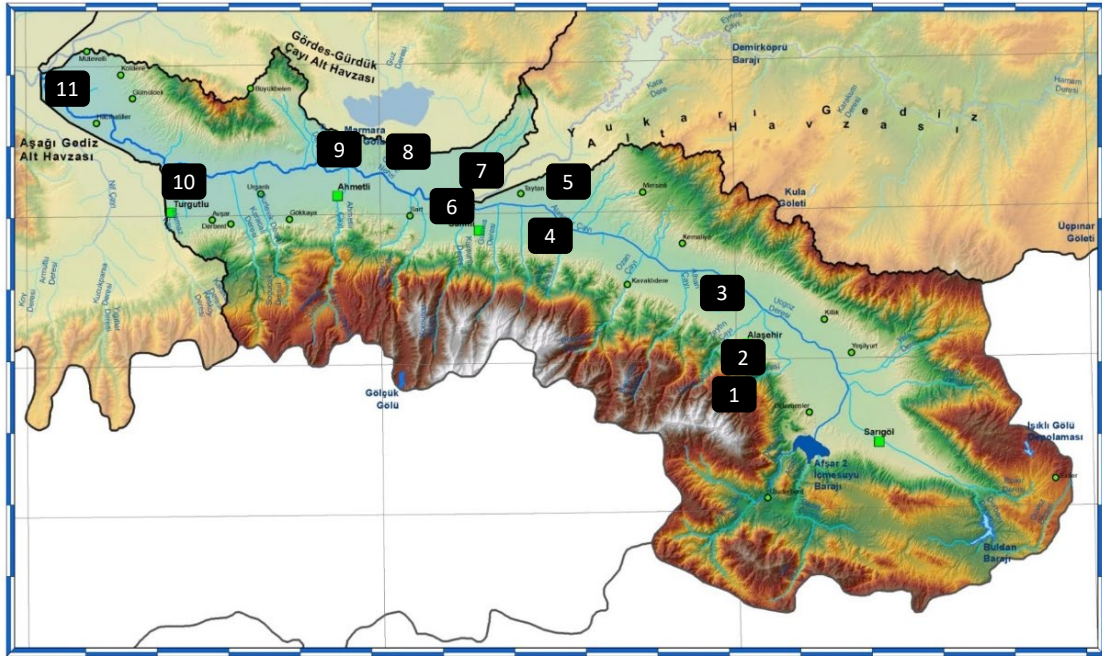
Yayıllı kirlilik kaynakları	TN (%)	TP (%)
Tarımsal faaliyetler	15	5
Hayvancılık faaliyetleri	15	5
Fosseptik kullanımı	80	70
Atmosferik taşınım	5	-

#### 2.4. Su kalitesinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında, Alaşehir Çayı ve bağlandığı Gediz Nehri üzerinde 11 istasyon 2015-2016 döneminde 4 mevsim olarak izlenmiştir. İzleme istasyonlarının belirlenmesinde, ana kolu ve yan kolları temsil edecek şekilde akarsuyun başı, sonu ve bağlanma noktaları öncesi ve sonrası dikkate alınmıştır (Şekil 1).

Analizler, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü'nün akredite Su ve Atıksu Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında yapılan izleme çalışmalarında, numune alımı ve analizler için izlenen yöntemler,

uluslararası standart yöntemlerdir. Analizler Tablo 3'te belirtilen yöntemlere göre ve belirtilen cihazlarla gerçekleştirilmiştir. İzleme sonuçları YSKY Ek-5 Tablo 2 (kıtaçi sular için)'ye göre değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Alaşehir Çayı Alt Havzası izleme istasyonları

Tablo 3. İzlenen parametreler, kullanılan yöntemler ve cihazlar

Parametre adı	Analiz yöntemi	Analizin yapıldığı cihaz	Tespit limiti (mg.L <sup>-1</sup> )	Tayin limiti (mg.L <sup>-1</sup> )
pH	SM 4500 H+ B	Hach lange multimetre	yok	Yok
İletkenlik	SM 2510 B	Hach lange multimetre	yok	Yok
O <sub>2</sub> doygunluğu	SM 4500 O,G	Hach lange multimetre	yok	Yok
Çözünmüş O <sub>2</sub> (ÇO)	SM 4500 O,G	Hach lange multimetre	yok	Yok
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ <sub>5</sub> )	SM 5210 B 5 Günlük BOİ Test Metodu	WTW Multimetre	0.3	3
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	SM 5220 B Açık Reflaks	KOİ Isıtıcı Set, Otomatik Titrasyon Cihazı	3	10
Amonyum azotu (NH <sub>4</sub> -N)	SM 4500-NH <sub>3</sub> H	Scalar marka sürekli akış analizörü	0.003	0.010
Nitrit+Nitrat azotu (NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N)	SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : I	Scalar marka sürekli akış analizörü	0.003	0.010
Nitrit azotu (NO <sub>2</sub> -N)	SM 4500 NO <sub>2</sub> -B Kolorimetrik Metot.	Spektrofotometre	0.0006	0.002
Toplam Kjeldahl azotu (TKN)	SM-4500 N org.	Gerhardt Vadapest Distilasyon Cihazı	0.15	0.5
Toplam Fosfor (TP)	SM 4500 P: H	Scalar marka sürekli akış analizörü	0.008	0.015

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1.Noktasal ve yayılı kaynaklı kirlilik yüklerinin hesaplanması

Alaşehir Çayı Alt Havzasındaki noktasal kaynaklı kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjları dikkate alınarak, alıcı ortama ulaşan organik madde (KOİ), TN ve TP yükleri üzerinden değerlendirilmiştir. Alt havzada kentsel ve endüstriyel kirlenmeyi temsil eden noktasal kaynaklı TN, TP ve KOİ

yükleri incelendiğinde, TN'nin %93'ü, TP'nin %95'i ve KOİ'nin %83'ü kentsel atıksu deşarjlarından geldiği görülmektedir. Havzada arıtılmayan veya arıtmadan sonra giderilemeyen kirlilik yükleri akarsulara deşarj edilmektedir. Noktasal kaynaklı kirliliğin önüne geçmek veya azaltabilmek endüstriyel ve kentsel atıksuların arıtılması ile mümkün olmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Eren ve Kaya (2020) tarafından yapılan bir araştırmada Erzurum iline KAAT kurulması öncesinde ve sonrasında

Karasu Nehri'nin su kalitesi incelenmiştir. Erzurum KAAAT'nin BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, TN parametrelerini %90'ın üzerinde giderdiği belirlenmiş, Karasu'ya karışan KAAAT debisinin mevsimsel dalgalanmaya göre Karasu'nun %3-20'sini oluşturduğu tespit edilerek, atıksu kalitesindeki iyileşmenin Karasu'yu önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır (Eren ve Kaya, 2020). Hacısalıhoğlu ve Karaer (2020) Bursa Uluabat Gölü'ne ulaşan noktasal kirlilik kaynakları ve göle olan etkisini çalışmışlardır. Göle ulaşan noktasal kirlilik kaynaklarının kalitesi IV. Sınıf olarak tespit edilmiş ve gölü önemli ölçüde kirlendikleri belirlenmiştir (Hacısalıhoğlu ve Karaer; 2020). Garipağaoğlu (2016) tarafından Marmara Havzası için yapılan bir çalışmada TÜİK, EPDK, İllerin Çevre Durum Raporları ve Havza Koruma Eylem Planında yer alan veriler üzerinden kentleşmeye bağlı atıksu oluşumu ve bunun alıcı ortam üzerindeki etkileri incelenmiştir. Havzadaki kirliliğin daha çok noktasal kaynaklardan geldiği ifade edilerek, havzadaki alıcı ortam istasyonlarının yeterli sayıda olmadığı, dolayısıyla su kalitesinin yeteri kadar belirlenemediği ortaya konmuştur (Garipağaoğlu, 2016). Alaşehir Çayı Alt Havzası için de işletmeye alınacak olan KAAAT leri ile noktasal kaynaklı kirliliğin önemli ölçüde azalacağı tahmin edilmektedir. Mülga OSİB tarafından TÜBİTAK MAM ile hazırlanan Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesinde Alaşehir Çayı Alt Havzasının da içinde yer aldığı Gediz Havzası için yapılan iyileştirmelerle noktasal kaynaklardan gelen KOİ yükünün yaklaşık %50, TN ve TP yüklerinin ise %25 oranında azalması tahmin edilmiştir (OSİB, 2013, Hazırlayan: TÜBİTAK MAM).

Alaşehir Çayı Alt Havzasındaki yayılı kaynaklı kirlilik gübre kullanımı, hayvancılık faaliyetleri, arazi kullanımı, fosseptik kullanımı, düzensiz depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı suları ve atmosferik taşınım dikkate alınarak, alıcı ortama ulaşan TN ve TP yükleri üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında alt havzaya ulaşan yayılı TN yükleri esas olarak gübre kullanımından (%37); hayvancılık faaliyetlerinden (%34) ve arazi kullanımından (%20) kaynaklanmaktadır. Atmosferik taşınımın (%5), fosseptik kullanımının (%2) ve sızıntı sularının (%2) etkisi nispeten azdır. Yayılı TP yüklerinin kaynakları incelendiğinde gübre kullanımı (%48) ve hayvancılık faaliyetlerinin (%41) çok etkin olduğu görülmektedir. Yayılı TN kaynaklarından farklı olarak arazi kullanımının etkisi daha düşük oranlardadır (%7).

Alaşehir Çayı Alt Havzası genelinde alıcı ortama ulaşan TN ve TP yüklerinin noktasal ve yayılı kaynaklardan ne oranda geldikleri karşılaştırıldığında, yayılı kaynaklardan gelen kirliliğin TN için %79 ve TP için %61 oranında daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 4). İki parametre kendi aralarında karşılaştırıldığında, TP yükünde noktasal kaynakların etkisinin TN yüküne göre nispeten daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bu durum, noktasal TP yükünün önemli ölçüde kentsel atıksudan gelmesinden kaynaklanmaktadır. Oluşan kentsel atıksuyun bir kısmı arıtılmadan alıcı ortama ulaşmakta bir kısmı AAT'lerde arıtılmaktadır. Ancak arıtma havza genelinde ikinci kademe olarak yapıldığı için nütrient giderimi (özellikle TP giderimi) gerçekleşmemektedir.

Özalp (2009) tarafından Doğu Karadeniz Havzası yayılı kaynaklı kirlilicileri incelenmiş, tarım faaliyetlerinin yayılı TN'nin %54'üne ve TP'nin %48'ine karşılık geldiği; hayvancılık faaliyetlerinin (TN'nin %11'i; TP'nin %18'i) ikinci sırada yer aldığı ortaya konmuştur. Mevcut çalışmadan farklı olarak fosseptik sularının özellikle fosfor parametresi (%14) üzerinden daha kirlilik olduğu gözlenmiştir. Bu durum KAAAT'lerinin var olup olmaması ile ilişkilidir (Özalp, 2009). Benzer bir çalışma Aras Havzası için yapılmış yayılı TN yükü kaynakları %33 hayvancılık, %12 tarım faaliyetleri ve %3 fosseptik çıkış suları olarak; yayılı TP yükünün kaynakları ise %40 tarım, %30 hayvancılık, %5 fosseptik çıkış suları olarak bulunmuştur (Yontar, 2009). Daha yakın zamanlarda Ayyıldız (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Yeşilirmak Havzası kollarından biri olan Tersakan Çayında pestisit izlemesi yapılmış, incelenen 57 pestisitinden 22'sinin kabul edilebilir Çevresel Kalite Standardı değerini geçtiği gözlenmiştir. Pestisitlerin bazılarının endüstriyel deşarjlardan geldiği tespit edilerek noktasal ve yayılı kirlilik kaynakları belirlenmiş, aralarında bir kıyaslama yapıldığında noktasal kaynaklı kirliliğin ihmal edilebilir ölçüde olduğu sonucuna varılmıştır (Ayyıldız, 2019). Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliğin belirlenmesi üzerine Mardin ve merkez ilçelerinde yapılan bir çalışmada büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından kaynaklanan TN ve TP yükleri belirlenmiştir (Derin vd., 2019). Mevcut çalışmada kullanılan metodolojiye benzer bir yöntem izlenerek yapılan hesaplamalar sonucunda Mardin ilçeleri arasında bir sıralama yapılmıştır (Derin vd., 2019).

Yayılı kaynaklı kirliliğin azaltılmasında organik tarım ve iyi tarım uygulamalarının artması, daha az ve bilinçli gübre kullanılması, hayvancılık



faaliyetlerinde daha çok modern çiftliklerde besi hayvanı yetiştiriciliğine geçilmesi, katı atıkların bertarafında düzenli depolamaya geçilerek sızıntı sularının arıtılması gibi faaliyetlerin etkili olacağı düşünülmektedir. Mülga OSİB tarafından TÜBİTAK MAM ile Gediz Havzası için yapılan

Havza Koruma Eylem Planının Hazırlanması Projesinde alınabilecek önlemlerle yayılı TN ve TP yükünün en fazla %30 civarlarında azaltılabileceği belirlenmiştir (OSİB, 2013, Hazırlayan: TÜBİTAK MAM).

**Tablo 4.** Alaşehir Çayı Alt Havzası TN ve TP yüklerinin noktasal ve yayılı kaynaklara göre karşılaştırılması

Kirlilik kaynağı		(ton/yıl)	(%)	(%)	
TN	Noktasal	Kentsel	664	19	21
		Endüstriyel	50	1	
		Toplam	714		
	Yayılı	Tarım Faaliyetleri	1014	30	79
		Hayvancılık Faaliyetleri	925	27	
		Arazi Kullanımı	540	16	
		Atmosferik Taşınım	125	4	
		Düzensiz Depolama Alanları	53	2	
		Fosseptik Kullanımı	49	1	
	Toplam	2706		79	
<b>Toplam</b>		<b>3420</b>		<b>100</b>	
TP	Noktasal	Kentsel	123	38	39
		Endüstriyel	6	2	
		Toplam	129		
	Yayılı	Tarım Faaliyetleri	95	29	61
		Hayvancılık Faaliyetleri	82	25	
		Arazi Kullanımı	14	4	
		Düzensiz Depolama Alanları	1	0	
		Fosseptik Kullanımı	7	2	
		Toplam	199		
	<b>Toplam</b>		<b>328</b>		<b>100</b>

### 3.2. Yüzeysel su kalitesi

Alaşehir Çayı Alt Havzasında, alıcı ortamın kalitesini belirlemek amacıyla dört mevsimi temsil edecek şekilde; Kasım 2015 (sonbahar), Şubat 2016 (kış), Mayıs 2016 (ilkbahar) ve Ağustos 2016 (yaz) dönemlerinde izlemeler gerçekleştirilmiştir. İzleme çalışmaları Alaşehir, Salihli, Sarıgöl, Ahmetli ve Turgutlu ilçelerindeki nehir istasyonlarında yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar YSKY'de Ek 5, Tablo 2' de yer alan Konvansiyonel Parametrelere göre değerlendirilmiştir. İzleme yapılan dört dönemin ortalama sonuçlarına göre incelenen 11 istasyondan ikisi (3 ve 5. istasyonlar) dört dönem boyunca kuru olarak tespit edilmiş, 4 istasyon çok kirlenmiş su kalitesinde (Sınıf IV), 2 istasyon kirlenmiş su kalitesinde (Sınıf III), 2 istasyon az kirlenmiş su kalitesinde (Sınıf II) bulunmuştur.

Alaşehir Çayı Alt Havzasında membaya en yakın nokta olarak izleme yapılan 1. istasyon (Asar Deresi) KOİ, BOİ, TKN, TP açısından Sınıf II (az kirlenmiş su) su kalitesindedir. Asar Deresi üzerinde olan ve endüstri ve kentsel deşarjlar sonrasında yer alan 2. İstasyonda (Alaşehir AAT

deşarjı öncesi) KOİ, BOİ, NH<sub>4</sub>, TKN, TN, TP parametreleri açısından su kalitesi Sınıf IV (çok kirlenmiş su) olarak belirlenmiştir. Alaşehir Çayı üzerinde olan 4.istasyonda (Salihli OSB deşarjı öncesi) KOİ, NH<sub>4</sub>, TKN, TP parametrelerine bağlı olarak Sınıf IV (çok kirlenmiş su) su kalitesi gözlenmiştir. Alaşehir Çayının Gediz Nehrine bağlanmasından önce yer alan 6.istasyon (Salihli KAAAT ve Salihli Dericiler deşarjlarının sonrası), çözünmüş oksijen (ÇO), KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TKN, TP açısından Sınıf IV (çok kirlenmiş su) su kalitesinde bulunmuştur. Alaşehir Çayı Alt Havzası için membada nispeten az kirlenmiş su (Sınıf II) olarak gözlenen su kalitesinin, 1.istasyondan itibaren, 6. istasyona kadar su kalitesinin kötüleştiği gözlenmektedir. Bu durumun bölgedeki tarım faaliyetleri ile evsel ve endüstriyel deşarjlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. 7. istasyon Demirköprü Barajı çıkan kolun Gediz Nehri ile birleşimi öncesinde ölçülmüş ve Sınıf II kalitesinde bulunmuştur. Benzer şekilde Gölarmara'dan çıkan ve Gediz Nehrine karışım öncesinde izleme yapılan 8.istasyonda su kalitesi Sınıf II olarak gözlenmiştir. Ahmetli civarlarında Gediz Nehri üzerinde olan 9. istasyonda (Ahmetli KAAAT deşarjı öncesi) su kalitesi Sınıf III olarak tespit

edilmiştir. Bu durum Demirköprü Barajından ve Gölarmara'dan çıkan ve Gediz Nehrine ulaşan suların nispeten daha temiz olması ile ve bu suların Gediz Nehrini seyreltmesi ile ilişkilendirilmektedir. 9. istasyonda su kalitesini III. Sınıf olarak belirleyen parametreler çözünmüş oksijen, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TKN ve TP olmuştur. 10. istasyon Turgutlu'dan Gediz Nehrine karışan suyu temsil etmekte olup, buradaki su kalitesi ÇO, BOİ<sub>5</sub> ve TP'ye bağlı olarak Sınıf IV bulunmuştur.

Alaşehir Çayı Alt Havzası sınırları içinde son izleme noktası Manisa Merkez öncesindeki 11. istasyon olmuş ve su kalitesi ana koldaki durumu takip eder şekilde Sınıf III olarak belirlenmiş ve belirleyici parametre TP olmuştur. Alaşehir Çayı Alt Havzasında dört dönem izlenen KOİ, TN ve TP parametreleri Tablo 5'de, tüm parametrelerin ortalama değerleri üzerinden elde edilmiş su kalitesi haritası ise Şekil 2'de sunulmaktadır.

**Tablo 5.** Alaşehir Çayı Alt Havzası istasyonlarında dört dönem boyunca izlenen KOİ, TN ve TP parametreleri

İstasyon	Yerleşim	1.Dönem			2.Dönem			3.Dönem			4.Dönem		
		KOİ	TN*	TP	KOİ	TN*	TP	KOİ	TN	TP	KOİ	TN*	TP
1	Manisa-Alaşehir	29.00	0.90	0.09	33.00	1.80	0.10	22.00	1.01	0.08	26.00	0.75	0.05
2	Manisa-Alaşehir	71.00	35.87	21.49	154.00	8.70	0.60	442.00	27.62	2.09	330.00	42.67	20.45
3	Manisa-Alaşehir												
4	Manisa-Salihli	88.00	15.08	2.69	28.00	3.43	0.28	126.00	18.89	2.94			
5	Manisa-Salihli												
6	Manisa-Salihli	272.00	17.66	2.88	43.00	3.58	0.30	42.00	4.61	0.80	27.00	2.39	0.45
7	Manisa-Salihli	80.00	1.39	0.07	10.00	2.23	0.11	16.00	1.23	0.15	14.00	1.01	0.07
8	Manisa-Salihli	14.00	0.79	0.04	21.00	1.17	0.11	15.00	0.80	0.13	24.00	0.96	0.04
9	Manisa-Ahmetli	85.00	9.71	1.81	13.00	3.15	0.29	78.00	4.76	0.74	27.00	1.06	0.10
10	Manisa-Turgutlu				40.00	3.33	0.69	112.00	5.51	1.81	25.00	1.32	0.21
11	Manisa-Şehzadeler	5.00	2.99	0.62	10.00	2.19	0.17	22.00	1.88	0.24	19.00	1.11	0.13

\*TN değeri, su numunelerinde izlenen TKN ve oksitlenmiş azot formlarının toplamından elde edilmiştir.

Su kalitesinde kirlenmenin tespit edildiği noktalarda, kirlilik unsurunun noktasal kaynaklı kirleticilerden mi yoksa yayılı kaynaklı kirleticilerden mi kaynaklandığını gösteren en önemli ipucunun organik parametreler olduğu görülmektedir. Organik parametrelerin tespitinde kirliliğin noktasal kaynaklardan geldiğini söylemek mümkün olmaktadır. Kirlilik yükleri ile su kalitesi için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, noktasal ve yayılı kirleticilerin bulunduğu alanlardan geçen akarsuların su kalitesinin kötüleştiği tespit edilmektedir. Noktasal kaynaklar organik madde, azot ve fosfor açısından kirliliğe sebep olurken, yayılı kaynaklar özellikle azot ve fosfor kirliliğine sebep olmaktadır.

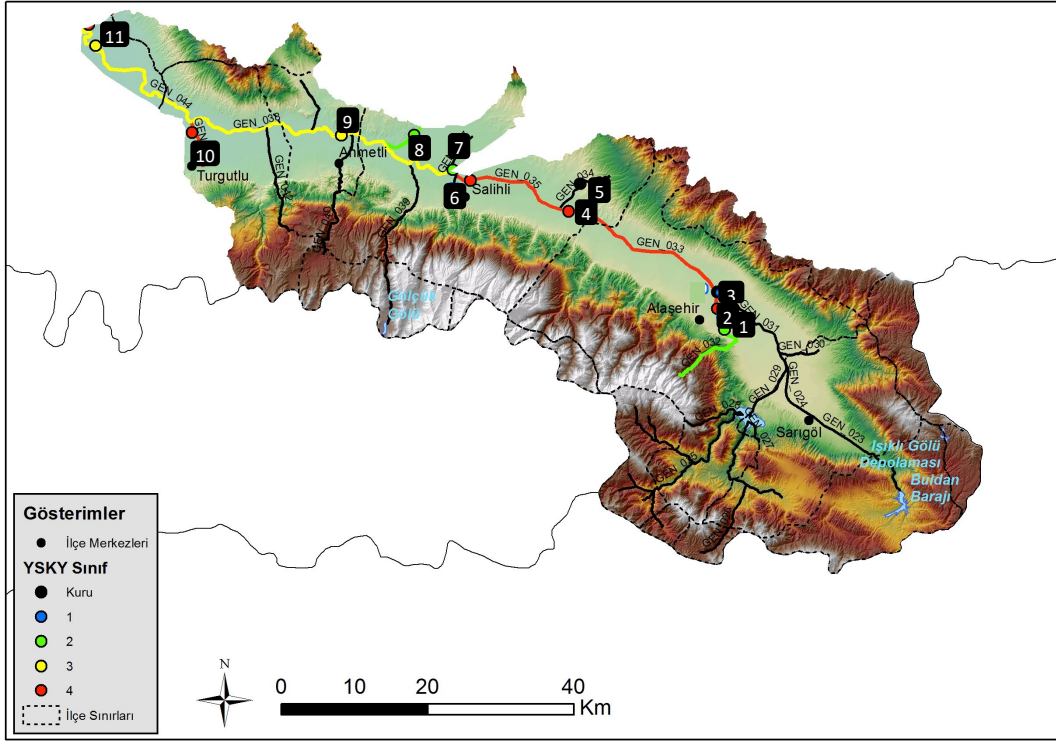
Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde Alaşehir Çayı Alt Havzası özelinde olmasa da Gediz Havzası genelinde su kalitesi pek çok çalışmada konu edinilmiştir. Bu çalışmaların bir kısmında konvansiyonel kirleticileri tespit etmek (Süzal ve Bizsel, 2008; Çetin vd.,2009; Öner ve Çelik, 2011; Kıymaz, 2018), bir kısmında da havzadaki yüzey sularında ağır metal içeriğini tespit etmek (Küçüksezgin vd., 2008; Minareci vd., 2009; Aydın ve Küçüksezgin 2012; Bizsel vd., 2017) hedeflenmiştir. Ancak bu çalışmaların yanı

sıra uzun süreli ve periyodik olarak yapılan DSİ izlemelerinin mevcut çalışma için ışık tutacağı düşünülmektedir. DSİ'nin 2000-2014 yıllarına ait su kalitesi izleme sonuçları, YSKY Tablo 5'teki tüm parametrelere göre değerlendirildiğinde havzadaki su kalitesinin ağırlıklı olarak Sınıf III ve Sınıf IV seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Alaşehir Çayı Alt Havzası incelendiğinde Alaşehir Çayı üzerinde neredeyse hiç gözlem istasyonu olmadığı, Gediz Nehri üzerinde Salihli'den itibaren izleme yapıldığı görülmüştür. Bu istasyonlar pH, ÇO, amonyum azotu, nitrit azotu ve renk parametreleri açısından çok kirlenmiş su (Sınıf IV) özelliği göstermiştir (Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015). DSİ izleme sonuçları ile mevcut çalışmadaki izleme sonuçları karşılaştırıldığında havzadaki su kalitesinin 2000'li yıllardan itibaren iyi olmadığı görülmektedir. DSİ tarafından organik içeriğin belirlenmesine yönelik değerlendirmelerde genellikle KOİ ve BOİ parametreleri dikkate alınmaktadır. Diğer organik parametreler ölçülmediği için gerçek su kalitesinin bilinenden daha kötü olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca endüstrinin yoğunlaştığı belirli alanlarda, ağır metallerin ölçümü çok önemlidir. Havza genelinde su kalitesi izleme ağının genişletilmesi ve izlenen su kalitesi parametrelerinin sayısının artırılması



şiddetle tavsiye edilmektedir. Ayrıca uzun dönemli su kalitesi hakkında bilgi veren ekolojik ve

biyolojik kirliliğin ölçülmesine yönelik parametreler de belirlenmelidir.



Şekil 2. Alaşehir Çayı Alt Havzası yüzeysel su kalitesi

#### 4. Sonuçlar

Mevcut çalışma ile Alaşehir Çayı Alt Havzasına noktasal ve yayılı kirletici kaynakların sebep olduğu kirliliğin belirlenmesi için kolaylıkla uygulanabilir bir hesap yöntemi sunulmuş, ardından noktasal ve yayılı kaynaklı kirleticilerin yüzeysel su kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Alt havzadaki noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar karşılaştırıldığında, havzada oluşan toplam TN yükünün %79'u, TP yükünün ise %61'i yayılı kaynaklı faaliyetlerden gelmektedir.
- Havza genelinde yayılı kaynaklı kirliliğin oluşumunda en fazla gübre kullanımının (TN'nin %37'si, TP'nin %48'i) ve hayvancılık faaliyetlerinin (TN'nin %34'ü, TP'nin %41'i) etkili olduğu gözlenmiştir.
- Havza genelinde noktasal kirlilik yükleri TN, TP ve KOİ parametreleri üzerinden değerlendirilmiş, kentsel ve endüstriyel baskılar arasında kentsel atıksu deşarjlarının

TN'nin %93'üne, TP'nin %95'ine ve KOİ'nin %83'üne karşılık geldiği belirlenmiştir.

- Havzada izleme yapılan 11 yüzey suyu istasyonundan 4'ü çok kirlenmiş su kalitesinde (Sınıf IV) ve 3'ü kirlenmiş su kalitesinde (Sınıf III) bulunmuştur. En kirli olarak tespit edilen istasyonlar Alaşehir, Salihli ve Turgutlu çıkışlarında belirlenmiştir.
- Noktasal ve yayılı kirlilik yükleri ile su kalitesi sonuçları karşılaştırıldığında, noktasal ve yayılı kirleticilerin bulunduğu alanlardan geçen akarsuların su kalitesinin kötüleştiği, Demirköpürü Barajından ve Göl marmara'dan çıkan suların seyreltme etkisi ile Gediz Nehrinin su kalitesinin belli bir ölçüde iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada sunulan sonuçlar ile Alaşehir Çayı Alt Havzası için olası kirleticiler ve su kalitesine olan etkileri ortaya konmuştur. Kirlilik yüklerinin hesaplanmasında sunulan yöntem ile alanda çalışan ilgili araştırmacılar için bir yol haritası çizileceği umulmaktadır. Diğer taraftan kirliliğin hangi kaynaktan geldiğine ve su kalitesinin hangi sebeplerden kirlendiğine işaret eden bu çalışmanın karar vericiler ve uygulayıcılar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

**Teşekkür**

Mevcut çalışma, Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı yürütücülüğünde ve TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilen Proje verilerinden türetilmiştir. Çalışmada emeği geçen başta Dr. Yakup KARAASLAN ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü çalışanları ile TÜBİTAK MAM Havza Ekibi, Laboratuvar Ekibi ve CBS ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

**Kaynaklar**

Agricultural Statistics (2001). Animal waste, Wyoming Agricultural Statistics Service, 2001 Wyoming Agricultural Statistics. Erişim adresi [www.wyomingbusiness.org/pdf/energy/biomass3.pdf](http://www.wyomingbusiness.org/pdf/energy/biomass3.pdf)

Akdoğan, Z., Küçükdoğan, A. ve Güven, B. (2015). Yayılı kirleticilerin havzalardaki taşınım süreçleri: Antibiyotikler, ağır metaller ve besi maddeleri üzerine modelleme yaklaşımları. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 21-31.

Andreadakis, A., Gavalakis, E., Kaliakatsos, L., Noutsopoulos, C. and Tzimas, A. (2007). The implementation of the Water Framework Directive (WFD) at the river basin of Anthemountas with emphasis on the pressures and impacts analysis. *Desalination*, 210(1-3), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.027>

Aydın S. and Küçüksezgin F. (2012). Distribution and chemical speciation of heavy metals in the surficial sediments of the Bakırçay and Gediz Rivers. *Eastern Aegean*, 65(3), 789–803. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1124-7>

Ayyıldız, C. (2019). *Estimation of diffuse pollution loads of pesticides in Tersakan Sub-Basin of Yeşilirmak River*. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Bizsel, N., Ardelan, M. V., Bizsel, K. C., Suzal, A., Demirdag, A. and Sarıca, D.Y. (2017). Distribution of selenium in the plume of the Gediz River, Izmir Bay, Aegean Sea. *Journal of Marine Research*, 75(2), 81-98. <https://doi.org/10.1357/002224017821352650>

Bottcher, D. and Rhue, D. (2000). *Fertilizer Management – Key to a Sound Water Quality Program*, circular 816, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Carneiro, L., Ostroski, A. and Mercuri, E. G. F. (2020). Trophic state index for heavily impacted watersheds: modeling the influence of diffuse pollution in water bodies. *Hydrological Sciences*

*Journal*, 65(15), 2548-2560. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1828588>

CORINE (2012). European Environment Agency CORINE Land Cover Nomenclature Illustrated Guide (2012)

ÇOB (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004, RG No: 25687.

ÇOB (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20 Mart 2010, RG No: 27527.

Dahl S, Kurtar B (1993) Environmental Situation, Working Paper, No: 21. Omerli-Elmalı environmental protection project-feasibility report, Omerli-Elmalı Joint Venture 1.1–5.10, Istanbul.

DSİ (Devlet Su İşleri, 2021). *Toprak ve Su Kaynakları*. Erişim adresi <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>

du Plessis, A. (2019). Current and Future Water Scarcity and Stress. A. du Plessis (Ed.), *Water as an Inescapable Risk*, (s. 13-25). Switzerland: Springer, Cham.

Eren, Z. ve Kaya, F. (2020). Fırat-Dicle Havza Koruma Eylem Planı çerçevesinde kentsel atıksu arıtma tesisinin Karasu Nehrinin su kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 95-109.

Ertürk, A., Gurel, M., Ekdal, A., Tavsan, C., Seker, D.Z., Cokgor, E.U., Insel, G., Mantas, E.P., Aydin, E., Ozgun, H., Cakmakci, M., Tanik, A. and Ozturk, I. (2007). Estimating the impact of nutrient emissions via water quality modelling in the Melen watershed. *IWA 11th Diffuse Pollution Conference Proceeding* No: 167, 26-31 August, Belo Horizonte, Brazil.

Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed?. *AMBIO*, 18(2), 112-118.

Garipağaoğlu, N. (2016). Marmara Havzası'nda kentleşme-atık su ilişkileri ve alıcı ortam üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (34), 147-159.

Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı (2015). *İlçelere Göre Gübre Kullanım Verileri*

Gürel, M., Ertürk, A., Şeker, D. Z., Tanık, A., Ekdal, A., Avşar, C. and Özturk, I. (2011). Estimation of monthly diffuse nutrient loads for a watershed in Turkey. *Water and Environment Journal*, 25(2), 219-229. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00214.x>

- Hacısalıhoğlu, S. ve Karaer, F. (2020). Uluabat Gölü noktasal kirletici kaynaklar ve kirlilik yükleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 258-267. <https://doi.org/10.21324/dacd.602385>
- Kıymaz, G. (2018). *Aşağı Gediz Havzası nehir sularının kalitesinin değerlendirilmesi ve fizikokimyasal parametrelerin makroomurgasız üzerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Luo, T., Robert, Y. and Reig P. (2015). *Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings*, World Resources Institute, p.1-16.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2016). *İllere Göre Yağış Verileri*. Erişim adresi <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>
- Oenema, O. and Roest, W. J. (1998) Nitrogen and phosphorous losses from agriculture into surface waters: the effects of policies and measures in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, 37(2), 19–30. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00052-3)
- OSİB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013). *Gediz Havzası Koruma Eylem Planı Final Raporu*, Hazırlayan: TÜBİTAK MAM, Ankara.
- OSİB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015). *DSİ tarafından 2000-2014 yılları arasında yapılan Gediz Havzası Yüzeysel Su Kalitesi İzleme Sonuçları*, Ankara.
- OSİB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 10 Ağustos 2016, RG No: 29797.
- Ouyang, W., Gao, X., Wei, P., Gao, B., Lin, C. and Hao, F. (2017). A review of diffuse pollution modeling and associated implications for watershed management in China. *Journal of Soils and Sediments*, 17(6), 1527-1536. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1688-2>
- ÖEJV (1993). *Ömerli-Elmalı joint venture/ protection Ömerli and Elmalı environmental protection project, feasibility study, progress report*, İstanbul Water and Sewerage Administration.
- Öner, Ö. ve Çelik, A. (2011). Gediz Nehri Aşağı Gediz Havzası'ndan alınan su ve sediment örneklerinde bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi. *Ekoloji*, 20(78), 48-52. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2011.788>
- Özalp, D. (2009). *Doğu Karadeniz Havzası'nda yayılı kirletici kaynakların belirlenmesi ve yönetim önerileri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, Z., Kentel, E. and Alp, E. (2016). Determination of unit nutrient loads for different land uses in wet periods through modelling and optimization for a semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 540, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.074>
- Öztürk, İ. (2008). Büyük İstanbul İçmesuyu Projesi II. Merhale Melen Sistemi Büyük Melen Havzası Entegre Koruma ve Su Yönetimi Master Planı, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Tank, A., Ozalp, D. and Seker, D. Z. (2013). Practical estimation and distribution of diffuse pollutants arising from a watershed in Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(2), 221-230. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0140-9>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2016). *İlçelere Göre Bıyıkbaş, Küçükbaş ve Kanatlı (Tavuk) Hayvan Sayıları*. Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>
- Yıldırım, Ü. (2020). Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) Debisi ve su kalitesinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 1121-1135. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.732106>
- Yontar, B. (2009). *Aras Havzası'nda yayılı kirletici kaynakların belirlenmesi ve yönetim önerileri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zeydan, Ö., Özdoğan, N., Taştepe, P. Ş., ve Demirtaş, D. (2019). Kozlu Deresinde (Zonguldak) su kalitesinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 187-19. <https://doi.org/10.21324/dacd.451775>

## AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı yüzey hazırlama ve pürüzlülük işlemlerinin yapıştırma bağlantılarına etkisi

*Effect of different surface preparation and roughness treatments applied to AA2024-T3 aluminum alloys in bonded joints*

Kürşat GÜLTEKİN<sup>\*1,a</sup>, Yasemin KORKMAZ<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 13.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.09.2021

### Öz

Yapıştırma bağlantılarının dayanımı; yapıştırılan malzemelerin yüzeyine uygulanacak işlemlere ve yapıştırıcıların türüne göre değişiklikler göstermektedir. Özellikle yapışma yüzeyine uygulanacak yüzey işlemleri, yapıştırma bağlantılarının dayanımını arttırmakta önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, farklı yüzey hazırlama işlemlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün yapıştırma bağlantılarının hasar yüküne olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla havacılık alanında kullanılan AA2024-T3 alüminyum alaşımı yapıştırılan malzeme olarak kullanılmış ve yapışma yüzeyine mekanik ve kimyasal yüzey hazırlama işlemleri uygulanmıştır. Mekanik yüzey hazırlama işlemi olarak beş farklı boyutta zımparalama, kimyasal yüzey hazırlama işlemi olarak ise sodyum dikromat/sülfürik asit, optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfürik asit ve ferrik sülfat/sülfürik asit dağlama çözeltileri kullanılarak alüminyum alaşımlarının yapışma yüzeyleri hazırlanmıştır. Epoksi ve akrilik esaslı yapıştırıcılar, alüminyum alaşımlarının işlem görmüş yüzeylerine uygulanarak tek tesirli bağlantı numunleri üretilmiştir. Uygulanan yüzey işlemleri sonucunda alüminyum alaşımlarının yüzeylerinde oluşan aşınma ve oksit tabaka SEM tekniği ile analiz edilmiştir. Ayrıca, uygulanan farklı yüzey hazırlama işlemlerinin yapışma bağlantılarının mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, hazırlanan bağlantı numuneleri çekme yükü altında test edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin uygulanan yüzey işlemlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Yapıştırma bağlantıları için optimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yapıştırıcı türünün epoksi veya akrilik olmasına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca hasar yüzeyleri incelendiğinde, özel kohezif hasar oluştuğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Akrilik, Çekme testi, Epoksi, Yapıştırma bağlantıları, Yüzey pürüzlülüğü

### Abstract

Strength of bonding joints varies according to the applied processes on the surface of the adherend and the type of adhesives. Particularly, surface treatments to be applied to the adherend surface play an important role in increasing the strength of the adhesively bonded joints. In this study, the effect of different surface preparation processes and surface roughness on the failure load of adhesively bonded joints was investigated. For this purpose, AA2024-T3 aluminum alloy used in aviation field was used as adherend, mechanical and chemical surface preparation processes were applied to the bonding surface. Sanding in five different sizes as the mechanical surface preparation process and sodium dichromate/sulfuric acid, optimized sodium dichromate/sulfuric acid and ferric sulphate/sulfuric acid etching solutions as the chemical surface preparation process were used to prepare the bonding surfaces of aluminum alloys. Epoxy and acrylic based adhesives were applied to the treated surfaces of aluminum alloys to produce single lap joint samples. As a result of the applied surface treatments, the abrasion and oxide layer formed on the surfaces of aluminum alloys were analyzed by SEM technique. In addition, the prepared joint samples were tested under tensile load in order to examine the effect of different surface preparation processes on the mechanical properties of adhesively bonded joints. When the experimental results were examined, it was seen that the mechanical properties of the adhesive joints changed depending on the applied surface treatments. It was observed that the optimum surface roughness values for bonding joints vary depending on the type of adhesive being epoxy or acrylic. In addition, when the damage surfaces were examined, it was observed that special cohesive failure occurred.

**Keywords:** Acrylic, Tensile test, Epoxy, Adhesively bonded joints, Surface roughness

\*a Kürşat GÜLTEKİN; kursat.gultekin@omu.edu.tr, Tel: (532) 543 08 70, orcid.org/0000-0002-6790-6822

<sup>b</sup> 0000-0002-4516-985X

## 1. Giriş

Son yıllarda, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, korozyon direnci, elektrik ve termal iletkenlikleri gibi üstün özellikleri sayesinde alüminyum alaşımları, otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Adin ve Turgut, 2013; Jawade vd., 2020; Adin ve Kılıçkap, 2021). Alüminyum alaşımlarının perçin, cıvata ve kaynak gibi geleneksel yöntemler ile birleştirilmesinde bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Perçinlenmiş parçalarda önceden imal edilmiş delikler yük taşıma kapasitesini azaltırken, cıvata bağlantıları sızdırmazlık özelliğini zayıflatmaktadır (Cui vd., 2020). Yapıştırma bağlantıları; geleneksel birleştirme yöntemlerinin eksiklerini gidermesi, farklı malzemeleri birleştirmesi, homojen gerilme dağılımı gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedirler (Kanani vd., 2020;). Ancak bu avantajları yüksek performans sağlayacak şekilde kullanabilmek için uygun yapıştırıcı ve yapışma bağlantısı geometrisi seçimi büyük önem arz etmektedir (Boutar vd., 2016; Adin, 2017; Saraç vd., 2018). Bununla birlikte yapıştırılan malzeme türü ve malzeme yüzeyi, yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerdendir (Hirulkar vd., 2018). Alüminyum alaşımların; yüzey yapısı, kimyasal bileşimi ve yüzeyinde oluşan oksit tabaka yapışma dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir (Wu vd., 2020). Yapıştırma bağlantıları üretilirken; malzeme yüzeyindeki olumsuzlukları gidermek amacıyla yüzeylere kimyasal, elektrokimyasal ve mekanik olmak üzere farklı yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Kimyasal ve elektrokimyasal yüzey işlemlerinde, yapışma yüzeyi ince ve organik bir tabaka ile kaplanarak daha temiz ve reaktif bir yüzey elde edilir (Singh ve Kitey, 2017; Golru vd., 2015). Golru ve arkadaşları, AA1050 alüminyum alaşımlarının yüzeylerine uyguladıkları yağ alma, NaOH çözeltisi ile alkali dağlama ve alkali dağlama işlemi sonrası HNO<sub>3</sub> asidi ile temizleme işlemleri sonucunda oluşan farklı yüzey pürüzlülük değerlerinin yapışma dayanımının üzerine etkisini incelemişlerdir. Alkali dağlama işlemi sonrasında yapılan asitle temizleme işleminde en iyi yapışma dayanımının elde edildiği ifade edilmiştir (Golru vd., 2015). Saleema ve arkadaşları, AA6061 alüminyum alaşımlarını NaOH çözeltisi ile dağlayarak ürettikleri yapıştırma bağlantılarını incelemişlerdir. Optimum yüzey pürüzlülük değeri olan 0.5 µm değerinde bağlantının en yüksek kayma dayanımına ulaştığı ifade edilmiştir (Saleema vd., 2012). Xu ve arkadaşları, 2060-T8 alüminyum alaşımlarının fosforik asit anodizasyonu (PAA) yöntemi ile elde ettikleri

farklı yüzey pürüzlülük değerlerinde yapışma davranışını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, 0.72 µm yüzey pürüzlülüğü ve 84.62 mJ/m<sup>2</sup> yüzey enerjisine sahip numunede 56.46 MPa yapışma dayanımı gözlemlenmiştir (Xu vd., 2016). Zhang ve arkadaşları, farklı dağlama ve anodizasyon işlemleri uygulayarak ürettikleri tek tesirli yapıştırma bağlantılarını inceledikleri çalışmada, sülfat/sülfürik asit ile dağlama+fosforik asit anodizasyonu işlemleri sonucunda maksimum pürüzlülük ve kayma dayanımı değerlerinin elde edildiğini ifade etmişlerdir. Ancak, nemli ve sıcak ortamda yapılan testler sonucunda, aşırı yüzey pürüzlülüğü nedeniyle korozyon direncinde azalma yaşandığı görülmüştür. Sülfat/sülfürik asit ile dağlama+fosforik/borik/sülfürik asit anodizasyonu sonucunda hem yüksek kayma dayanımı hem de yüksek korozyon direnci elde edilmiştir (Zhang vd., 2008).

Kumlama ve zımparalama (Salstela vd., 2016) gibi mekanik yüzey işlemleri ile yüzey pürüzlülüğü kontrollü bir biçimde artırılır (Singh ve Kitey, 2017). Bu sayede, yüzeyin temas alanı artırılarak güçlü bir yapışma sağlanır. Yapıştırıcı, yüzeye etkili bir şekilde nüfuz etmezse mekanik yapışma mekanizması çalışmayabilir (Grard vd., 2020). Safari ve arkadaşları, AA2024-T3 alüminyum plakalara farklı zımparalama, farklı basınç altında kumlama ve basınç altında dört farklı sürede kum püskürtme işlemleri uygulamışlardır. Yüksek ve düşük viskoziteli epoksi yapıştırıcılar ile ürettikleri tek tesirli yapıştırma bağlantılarını incelemişlerdir. 0.6 MPa basınç altında yapılan kumlama işlemi sonucunda, 0.6 µm yüzey pürüzlülüğü ile en yüksek kayma dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca, tüm yüzey işlemlerinde en yüksek mukavemet değerleri, yüksek viskoziteli yapıştırıcı kullanılan bağlantılarında gözlemlenmiştir (Safari vd., 2020). Ghumatkar ve arkadaşları, alüminyum 6063 alaşımlarının yapışma yüzeyinde P50, P80 ve P120 zımpara kağıtları ile elde ettikleri farklı pürüzlülük değerlerinin, yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. P120 zımpara kağıdı ile elde edilen optimum yüzey pürüzlülüğünün etkisiyle bağlantının maksimum kayma dayanımı değerine ulaştığı ifade edilmiştir (Ghumatkar vd., 2017). Xing ve arkadaşları, 3003 alüminyum plakaları, epoksi reçine ve akrilat yapıştırıcı ile yapıştırarak ürettikleri numunelerin, farklı boyutlarda zımparalama (P80, P320, P600) işlemleri sonucunda yapışma dayanımlarını incelemişlerdir. P600 zımpara kağıdı ile yüzeyde çok az miktarda pürüzlülük oluşması yapışmayı olumsuz etkilemiştir. P80 zımpara kağıdının, plaka yüzeyini çok pürüzlü hale getirmesi sonucu plaka-yapıştırıcı arasında oluşan boşlukların yapışma

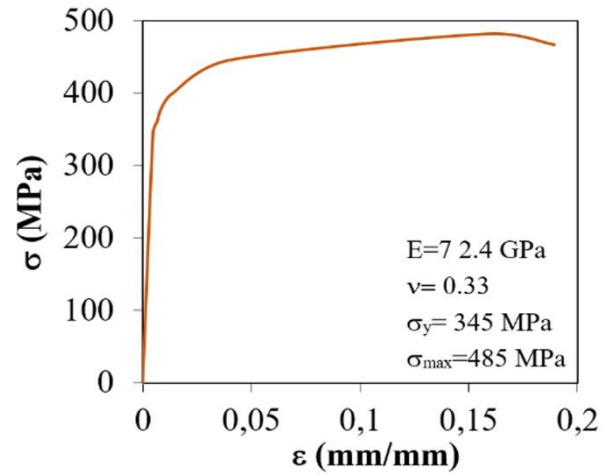
gücünü azalttığı gözlemlenmiştir. Yapışma dayanımı için en iyi sonuç, epoksi kullanılarak üretilen bağlantıda P320 zımpara kağıdı ile elde edilmiştir (Xing vd., 2020).

Yapılan çalışmada, farklı yüzey hazırlama işlemlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün yapıştırma bağlantılarının hasar yüküne etkisi incelenmiştir. Bu amaçla havacılık alanında kullanılan AA2024-T3 alüminyum alaşımı yapıştırılan malzeme olarak kullanılmış ve yapışma yüzeyine mekanik ve kimyasal yüzey hazırlama işlemleri uygulanmıştır. Mekanik yüzey hazırlama işlemi olarak beş farklı boyutta zımparalama (P80, P180, P400, P800 ve P1200), kimyasal yüzey hazırlama işlemi olarak ise sodyum dikromat/sülfürik asit (S1), optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfürik asit (S2) ve ferrik sülfat/sülfürik asit (S3) dağlama çözeltileri kullanılarak AA2024-T3 alüminyum alaşımlarının yapışma yüzeyleri hazırlanmıştır. Epoksi ve akrilik esaslı yapıştırıcılar ile hazırlanan numuneler kullanılarak tek tesirli bağlantı numuneleri üretilmiştir. Uygulanan yüzey işlemleri sonucunda AA2024-T3 alüminyum alaşımlarının yüzey morfolojisi (aşınma ve oksit tabaka) SEM tekniği ile analiz edilmiştir. Ayrıca, uygulanan farklı yüzey hazırlama işlemlerinin yapışma bağlantılarının mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, hazırlanan bağlantı numuneleri çekme yükü altında test edilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Malzemeler

AA2024-T3 alüminyum alaşımı yüksek mukavemet, korozyon dayanımı ve işlenebilirliği gibi üstün özellikleri nedeniyle havacılık alanında, özellikle uçak kanadı ve gövdesinde, yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, bahsedilen özelliklerinden dolayı AA2024-T3 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA2024-T3 alaşımının gerilme-şekil değiştirme eğrisi ve mekanik özellikleri Şekil 1'de, kimyasal bileşimi ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AA2024-T3 alaşımının gerilme-şekil değiştirme eğrisi ve mekanik özellikleri (Gültekin vd., 2015)

Tablo 1. AA2024 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (Natalia vd., 2016)

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Si	Ti	Cr	Al
% Ağ.	4.55	1.49	0.45	0.17	0.16	0.10	0.02	≤0.01	Kalan

AA2024-T3 alaşımlarını birleştirmek için çift bileşenli yapısal epoksi ve akrilik yapıştırıcılar kullanılmıştır. Epoksi olarak Araldite 2011 (Huntsman), akrilik olarak ise G-FORCE (Erde) yapıştırıcıları kullanılmıştır. Kullanılan yapıştırıcılar sıvı formda olup yüzeye etkili nüfuz edebilmekte ve alüminyum alaşımlarının yapıştırılmasında başarılı bir etkiye sahiptir. Araldite 2011 yapısal epoksi yapıştırıcısı 1:0.8 oranında epoksi ve sertleştiriciden oluşmakta ve 60°C'de 75 dakika sürede kürleşmektedir. G-

FORCE akrilik yapıştırıcısı ise 1:1 karışım oranına sahiptir ve oda sıcaklığında kürleşmektedir. Çalışmada kullanılan yapıştırıcıların mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Dağlama çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan sodyum dikromat ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), ferrik sülfat ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), alüminyum sülfat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ve bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) kimyasalları Sigma Aldrich (Türkiye)'den temin edilmiştir.

Tablo 2. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri (Özer and Erbayrak, 2016)

Yapıştırıcı	Çekme dayanımı (Mpa)	Poisson oranı (ν)	Elastisite modülü (Mpa)
Araldite 2011	33	0.41	1600
G-Force	22	0.36	1300



## 2.2. Numunelerin hazırlanması

### 2.2.1. Yüzey işlemleri

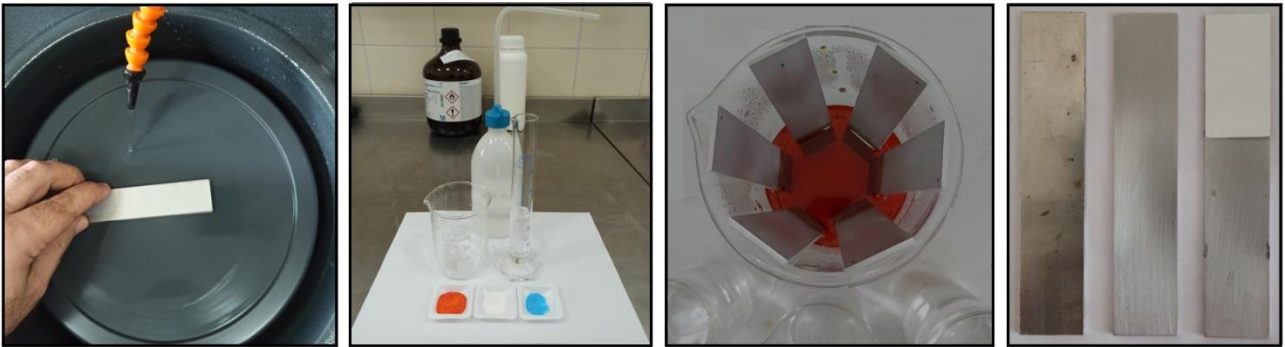
Yapıştırma bağlantısı üretiminin öncesindeki en kritik nokta yapışma yüzeyinin hazırlığıdır. Yapıştırıcı ile yapışma yüzeyin tamamen temas etmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapıştırıcının temas edeceği yüzey, olabilecek en temiz halde bulunmalıdır. Olası bir kirli yüzey durumunda ara yüzeyde bulunan maddeler (yağ, kir vb.) yapışmayı engelleyici rol oynar. Bu durum ise yapıştırma bağlantısının dayanımını azaltmaktadır. Bu nedenle, yapılan çalışmada alüminyum numuneler ilk olarak aseton ile yıkanmıştır.

Mekanik yüzey işlemi olarak alüminyum alaşımları; P80, P180, P400, P800 ve P1200 olmak üzere beş farklı boyutta zımpara kağıdı ile aşındırılmıştır. Ardından alkalın esaslı bir temizleyici ile zımparalama işlemi sonrası oluşan kir temizlenmiştir. Numuneler yıkandıktan sonra aseton içerisinde 15 dakika bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 80°C'de steril bir etüv içerisinde kurutulmuştur. Kimyasal yüzey işlemi olarak, sodyum dikromat/sülfürik asit (S1), optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfürik asit (S2), ferrik sülfat/sülfürik asit (S3) dağlama işlemleri uygulanmıştır. Dağlama işlemi öncesinde numunelerin yüzeyindeki yağ ve kir gibi yapışmayı olumsuz etkileyecek yabancı unsurlar aseton ile temizlenmiştir. Daha sonra numuneler P1200 zımparalama işlemi ile mekanik olarak

aşındırılmıştır. Ardından alkalın esaslı deterjan ile temizlenen numuneler sonrasında 15 dakika asetonunda bekletilmiş ve ardından kurutulmuştur. Dağlama işlemi öncesi numuneler hazır hale getirilmiştir.

Sodyum dikromat/sülfürik asit (S1) çözeltisi, 30 mL saf su içerisine yaklaşık 2.35 g sodyum dikromat ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ve 23.5 mL sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ilave ederek hazırlanmıştır. Çözelti üzerine saf su eklenerek 150 mL'ye tamamlanmıştır. AA2024-T3 alaşımları 65-70°C'de hazırlanan çözeltide 15 dakika süreyle dağlanmıştır. Daha sonra numuneler saf su ve etil alkol ile yıkanarak kurutulmuştur.

Optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfürik asit (S2) çözeltisi ise alüminyum sülfat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{S}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ) ve bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) katkısı ile optimize edilmiştir. Bu amaçla S2 çözeltisi hazırlığının ilk aşamasında, 70 mL saf su üzerine yaklaşık 2.6 g alüminyum sülfat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{S}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ) ve 0.58 g bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ilave edilmiş ve çözünene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra çözelti üzerine sırasıyla yaklaşık 4.95 g sodyum dikromat ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ve 27 mL sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ilave edilerek karıştırılmıştır. Son aşamada, çözelti 150 mL'ye tamamlanana kadar saf su ilave edilmiştir. Alüminyum numuneler 65-70°C'de hazırlanan dağlama çözeltisi içerisinde 15 dakika boyunca dağlanmıştır (Şekil 2). Dağlanan numuneler saf su ve etil alkol ile yıkanarak kurutulmuştur.



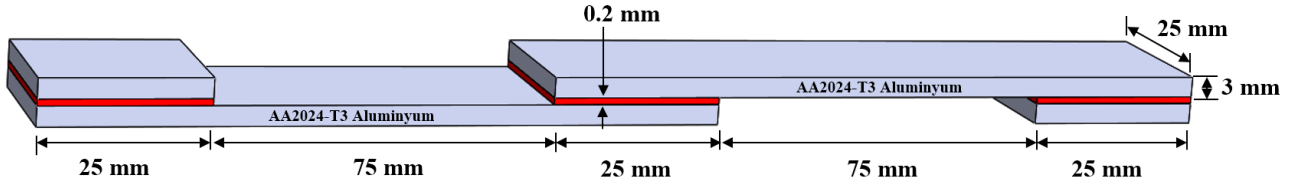
**Şekil 2.** AA2024-T3 alaşımlarının yüzey hazırlığı

Ferrik sülfat/sülfürik asit (S3) çözeltisi 150 mL olarak hazırlanmıştır. İlk olarak beher içerisine bir miktar saf su konulmuştur. Saf su üzerine yavaşça 27 mL sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ilave edilip karıştırıldıktan sonra, çözeltiye 22.5 g ferrik sülfat ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ilave edilmiştir. Çözelti, saf su ile 150 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan çözelti içerisine daldırılan alüminyum numuneler 65-70°C'de ki çözeltide 15 dakika boyunca dağlanmıştır. Diğer dağlama yöntemlerinde olduğu

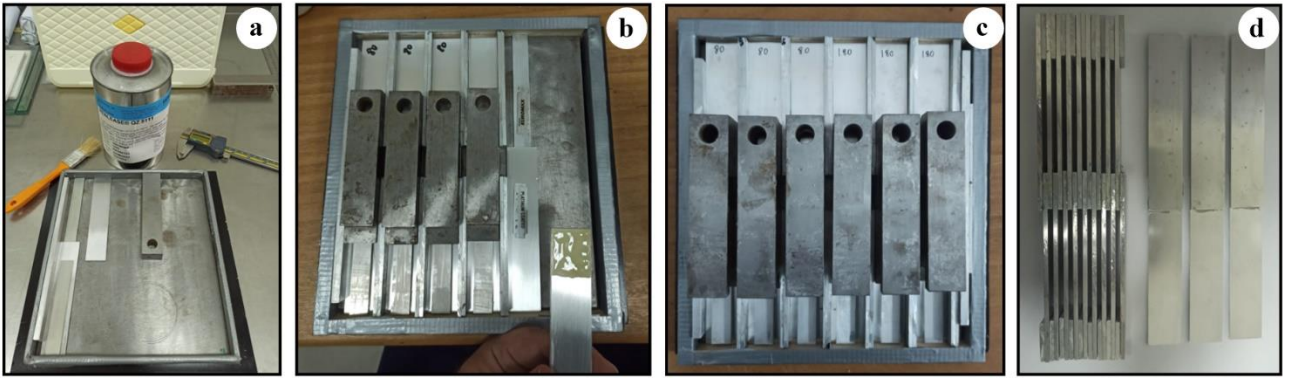
gibi numuneler saf su ve etil alkol ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Hazırlanan tüm numunelerin pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) PCE-RT 2000 marka pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Numunelerin yüzeyi üzerinde oksit tabakası oluşmaması için 48 saat içerisinde yapıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla hazırlanan tüm numuneler yapıştırma işlemine kadar desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Pürüzlülük ölçümü ve numunelerin muhafaza edilmesi



Şekil 4. Tek tesirli bindirme bağlantısının geometrisi



Şekil 5. Tek tesirli bindirme bağlantılarının üretim aşamaları

Yapıştırma bağlantıları üretilirken yapıştırıcının kalınlığını ve bindirme uzunluğunu Şekil 4'de belirtilen ölçülerde ayarlamak için özel olarak hazırlanmış bir kalıp kullanılmıştır (Şekil 5a). Numunelerin kalıptan kolay ayrılabilmesi için yapıştırma işlemi öncesinde kalıp ve kalıp aparatları üzerine silikon kalıp ayırıcı uygulanmıştır. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarını elde edebilmek için; numunenin işlem görmüş yüzeyine yapıştırıcı sürülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığını tüm bağlantılarda 0,2 mm olacak şekilde aparat yardımıyla ayarlanmıştır (Şekil 5b). Yapıştırılan numunelerde bulunan fazla yapıştırıcının eşit miktarda taşmasını sağlamak amacıyla her bağlantı üzerine eşit ağırlıklar yerleştirilmiştir (Şekil 5c). Hazırlanan numunelere fırın içerisinde kurluşma işlemi uygulanmıştır. Epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantı numuneleri 60°C'de 75 dk sürede kurluşturulurken, akrilik yapıştırıcı kullanılarak

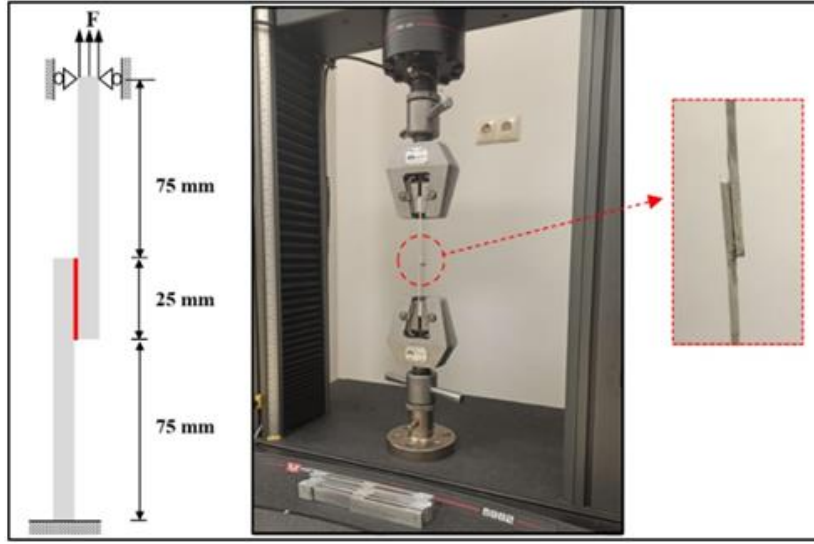
### 2.2.2. Tek tesirli bindirme bağlantılarının üretimi

Yapılan çalışmada, AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı yüzey işlemlerinin yapışma dayanımına etkisini incelemek amacıyla, epoksi ve akrilik esaslı yapıştırıcılar kullanılarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretilmiştir. Üretilen tek tesirli yapıştırma bağlantısı numunelerinin geometrisi Şekil 4'de verilmiştir.

üretilen bağlantı numuneleri ise oda sıcaklığında kurluşturulmuştur. Kurluşan numuneler, soğuması için oda sıcaklığında bekletilmiştir. Bağlantı numunelerinden taşan fazla yapıştırıcılar temizlenerek çekme testi öncesi numuneler hazır hale getirilmiştir (Şekil 5d).

### 2.3. Çekme testi

Her parametre için üç adet çekme numunesi hazırlanmış ve tüm deney numuneleri INSTRON marka universal çekme cihazında 1 mm/dk hızla, 24°C ve %42 bağıl nem ortamında test edilmiştir. Tek tesirli bağlantı numunelerine uygulanan sınır şartları ile kuvvetler Şekil 6'da gösterilmiştir. Deneysel parametreler ise Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 6. Sınır şartları ve çekme testi

Tablo 3. Deneysel parametreler

Yapıştırıcı	Yüzey işlemleri	Parametre
Araldite 2011 (Epoksi)	P80	E-80
	P180	E-180
	P400	E-400
	P800	E-800
	P1200	E-1200
	S1 dağlama	E-S1
	S2 dağlama	E-S2
	S3 dağlama	E-S3
G-Force (Akrilik)	P80	A-80
	P180	A-180
	P400	A-400
	P800	A-800
	P1200	A-1200
	S1 dağlama	A-S1
	S2 dağlama	A-S2
	S3 dağlama	A-S3

Tablo 4. AA2024-T3 alüminyum alaşımlarının yüzey pürüzlülüğü değerleri

Yüzey işlemleri	Ra ( $\mu\text{m}$ )
P80	$1.15 \pm 0.06$
P180	$0.40 \pm 0.06$
P400	$0.20 \pm 0.1$
P800	$0.13 \pm 0.06$
P1200	$0.09 \pm 0.02$
S1 dağlama	$0.64 \pm 0.05$
S2 dağlama	$0.89 \pm 0.1$
S3 dağlama	$0.73 \pm 0.08$

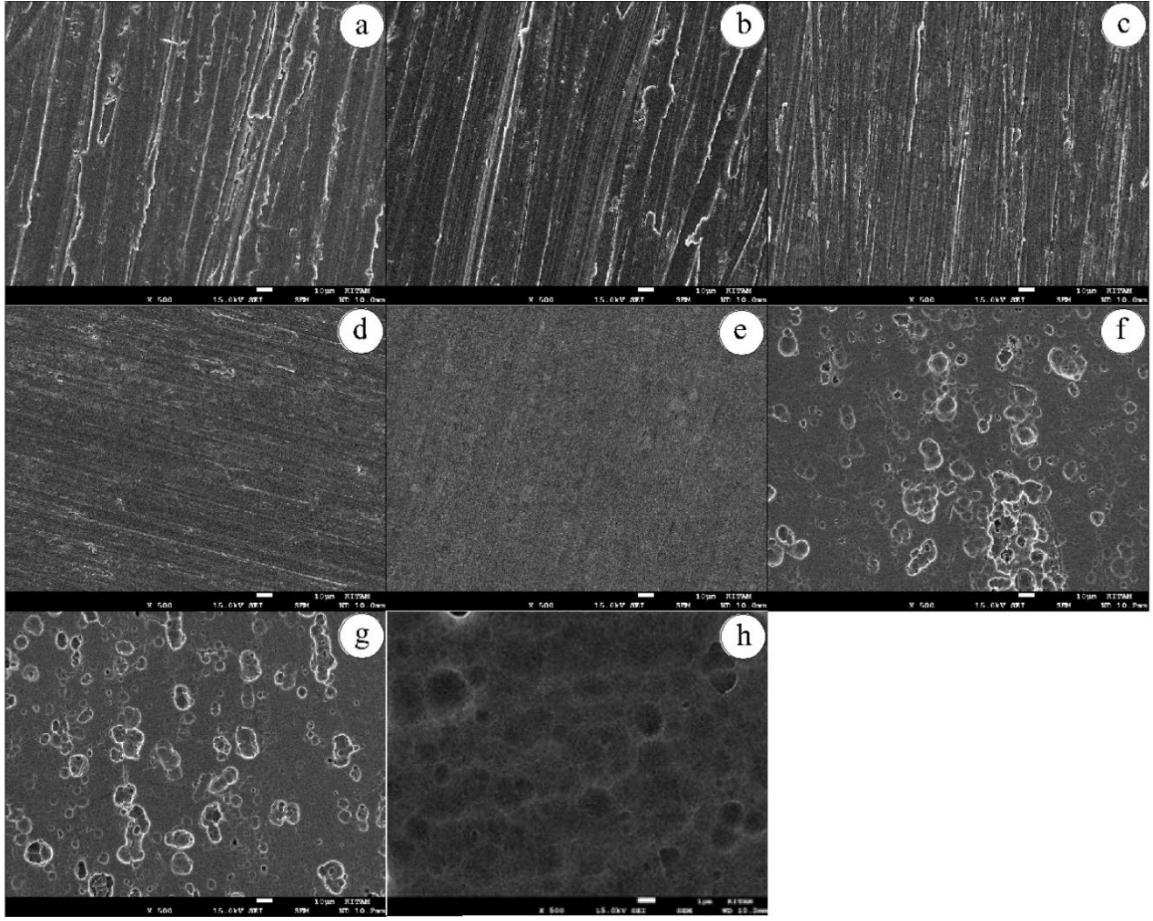
Tablo 4'te verilen sonuçlar incelendiğinde; mekanik olarak aşındırılmış yüzeyler daha büyük pürüzlülük değerleri gösterirken, yüzeylerinde ise düzensiz doğrultuda yönelimler göstermektedir (Şekil 7). Yüzey morfolojisinden de görüldüğü üzere (Şekil 7e) P1200 zımparalama işlemi ile en düşük pürüzlülük değeri ( $0,09 \mu\text{m}$ ) elde edilmiştir. Zımpara kağıdı numarası ile ters oranda artan pürüzlülük değerleri doğrultusunda, P80 zımparalama işlemi sonucu elde edilen yapılaşma yüzeyinde ise nispeten yüksek sayıda derin mikro düzensizlikler ve bunun sonucunda maksimum pürüzlülük değeri ( $1.15 \mu\text{m}$ ) elde edilmiştir. Bununla birlikte, dağlama işlemleri ile oluşan yüzeyler büyük oranda farklılıklar göstermektedir. Dağlanmış numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde; maksimum pürüzlülük değerinin elde edildiği P80 zımparalama işlemine göre nispeten düşük pürüzlülük değerleri gösteren dağlama işlemleri ile daha homojen ve düzgün dağılım gösteren yüzeyler elde edilmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1. Yüzey işlemlerinin AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına etkisi

AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı boyutlardaki zımparalama (P80, P180, P400, P800 ve P1200) ve üç farklı dağlama işlemi (sodyum dikromat/sülfürik asit (S1), optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfürik asit (S2) ve ferrik sülfat/sülfürik asit (S3) dağlama) sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4'te ve SEM görüntüleri ise Şekil 7'de verilmiştir.

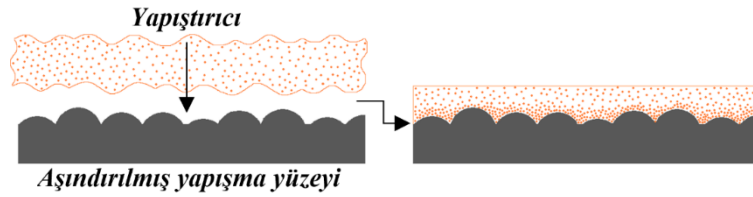




Şekil 7. SEM görüntüleri (a) P80, (b) P180, (c) P400, (d) P800, (e)P1200, (f) S1, (g) S2, (h) S3

Bunun yanı sıra, yapışma yüzeylerinde oluşan ve yapışma dayanımının artmasına önemli ölçüde katkı sağlayan gözenekli ince oksit tabakalar görülmektedir. Oluşan bu gözenekli oksit tabaka, ara yüzeydeki temas alanını ve yüzey enerjisini büyük oranda artırarak hidrofilik bir yüzey

oluşturmaktadır. Hidrofilik yüzey ise yapıştırıcı ve yüzey arasındaki kimyasal bağların ve ıslanabilirliğin artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede yapıştırıcı yüzeye daha etkili nüfuz ederek mekanik kilitlemeyi arttırmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Mekanik kilitleme mekanizması

Daha gözenekli ve homojen bir yapışma yüzeyi, temas alanını artırarak, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasında oluşan mekanik kilitlemeyi iyileştirmektedir. Bu durum da bağlantıların mekanik özelliklerine olumlu etki sağlamaktadır.

### 3.2. Yüzey işlemlerinin yapıştırma bağlantılarının hasar yüküne etkisi

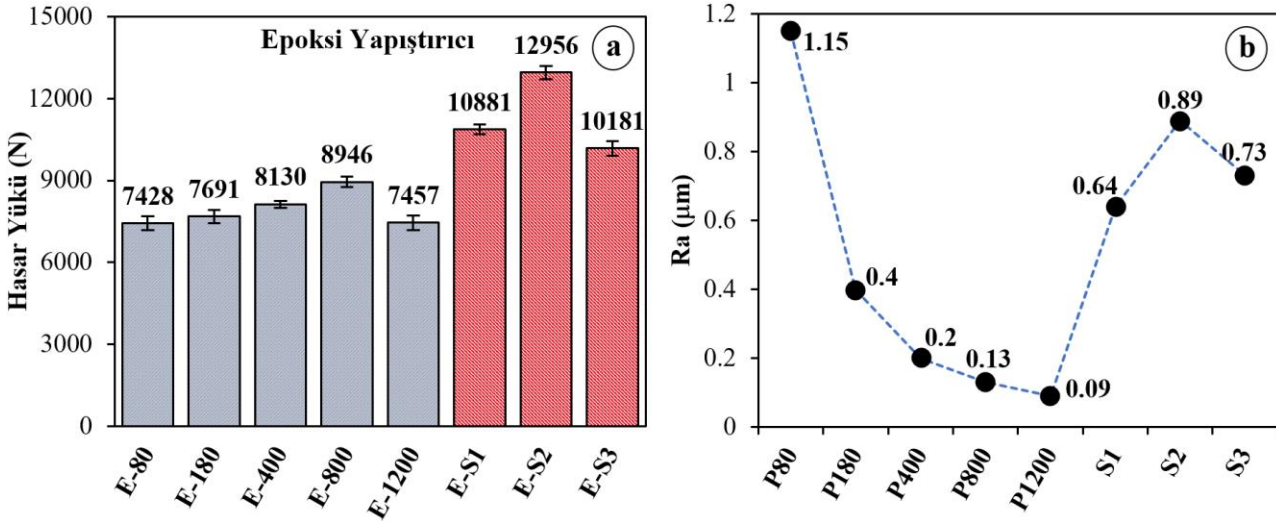
Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı türünün ve uygulanan farklı yüzey işlemlerinin, hasar yüküne

olan etkisini incelemek amacıyla her bir parametreden 3 adet numune test edilmiş ve elde edilen ortalama hasar yükleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

Epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantı numunelerinin ortalama hasar yükleri Şekil 9'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yapıştırılan malzemelere uygulanan farklı yüzey işlemlerine bağlı olarak hasar yükünün önemli miktarda değiştiği görülmektedir. Farklı boyutta

zımpara kağıtları ile aşındırılarak hazırlanan bağlantı numunelerinin (E-80, E-180, E-400, E-800 ve E-1200) çekme testi sonuçları incelendiğinde, maksimum hasar yükünün  $0,13 \mu\text{m}$  Ra pürüzlülük değerinde elde edildiği görülmektedir. Elde edilen ortalama hasar yükü  $1.15 \mu\text{m}$  Ra pürüzlülük değerine sahip numuneler ile birleştirilmiş yapıştırma bağlantıları ile kıyaslandığında hasar yükü yaklaşık %20 oranında artmıştır. Benzer şekilde  $0.40 \mu\text{m}$  ve  $0.20 \mu\text{m}$  Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip numuneler ile kıyaslandığında ise hasar yükü sırasıyla %16 ve %10 oranında artış göstermiştir.  $0.09 \mu\text{m}$  Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip AA2024-T3 alüminyum alaşımlarıyla birleştirilmiş yapıştırma

bağlantılarının ortalama hasar yükü  $7457 \text{ N}$  olup,  $0.13 \mu\text{m}$  Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip numunelere kıyasla hasar yükünde %17 oranında azalma görülmüştür. Bağlantı numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük değeri arttıkça, ara yüzeydeki temas alanı artmaktadır. Ancak, yüzeyin aşırı pürüzlü olması durumunda yapıştırıcının gözeneklere nüfuz etmesi zorlaşmakta ve böylece yüzeyi tam olarak ıslatamamaktadır. Bu durum bağlantıların mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Mekanik yüzey hazırlama yöntemi kullanılarak üretilen bağlantılarda, optimum  $0.13 \mu\text{m}$  Ra pürüzlülük değeri, ideal bir kilitlenme mekanizması olmaktadır.



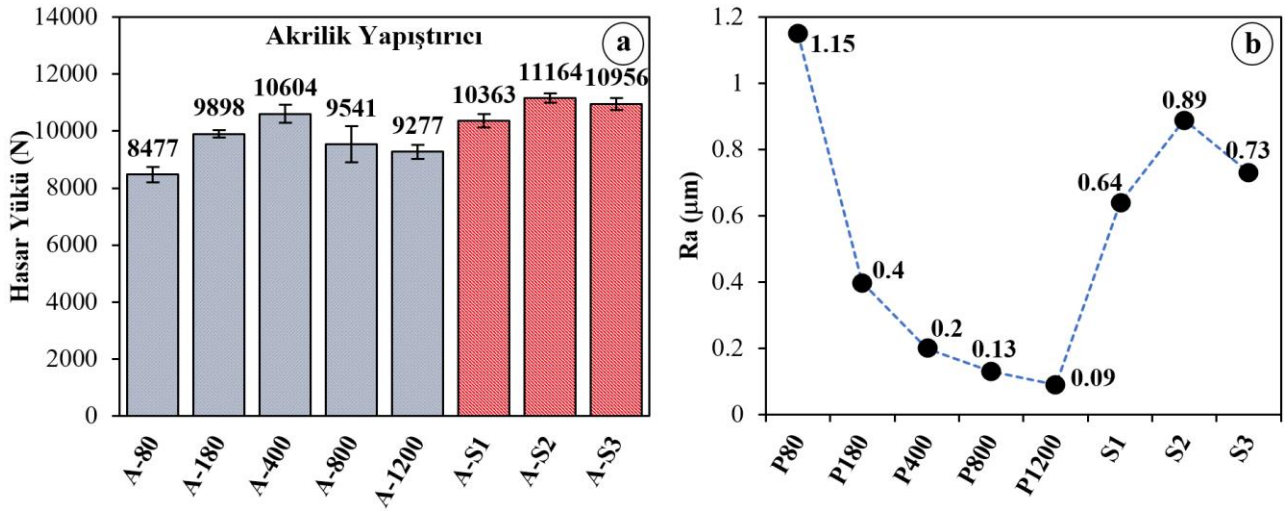
**Şekil 9.** (a) Epoksi yapıştırıcı (Araldite 2011) ile birleştirilmiş bağlantıların ortalama hasar yükleri, (b) Yüzey pürüzlülük değerleri

Farklı kimyasal dağlama işlemleri ile hazırlanan (E-S1, E-S2 ve E-S3) bağlantı numunelerinin ortalama hasar yükleri incelendiğinde ise, optimize edilmiş sodyum dikromat sülfürik asit (S2) ile dağlama işlemi sonucunda yapışma yüzeyinde oluşan  $0.89 \mu\text{m}$  Ra pürüzlülüğü ile  $12956 \text{ N}$  maksimum ortalama hasar yükü değeri elde edilmiştir. Bu hasar yükü değerinin, sodyum dikromat/sülfürik asit (S1) çözeltisi ile dağlanan numuneler ile kıyaslandığında ( $0.64 \mu\text{m}$  Ra) %19 oranında artış, ferrik sülfat/sülfürik asit (S3) çözeltisi ile dağlanan numuneler ile kıyaslandığında ise ( $0.73 \mu\text{m}$  Ra) %27 oranında artış sağladığı gözlemlenmiştir.

Tüm yüzey işlemlerinin sonuçları analiz edildiğinde, maksimum ortalama hasar yükü değeri  $0.89 \mu\text{m}$  Ra (S2 çözeltisi) yüzey pürüzlülüğü değerine sahip yapıştırma bağlantılarında elde

edilmiştir. Maksimum hasar yükü değeri, farklı boyutta zımpara kağıtları ile elde edilen  $1.15 \mu\text{m}$ ,  $0.40 \mu\text{m}$ ,  $0.20 \mu\text{m}$ ,  $0.13 \mu\text{m}$ ,  $0.09 \mu\text{m}$  Ra pürüzlülük değerlerine sahip yapıştırma bağlantılarının ortalama hasar yükleriyle karşılaştırıldığında sırasıyla %74, %68, %59, %45 ve %74 oranlarında artış sağlanmıştır. Dağlama işlemleri sonrasında yüzeyde oluşan homojen gözenekli yapı ve ince oksit tabaka sayesinde, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında iyi bir tutunma gerçekleşmiştir. Bu durum, bağlantıların hasar yükünü önemli ölçüde artırmıştır.

Akrilik esaslı yapıştırıcı (G-Force) kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantı numunelerinin ortalama hasar yükleri Şekil 10'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yapıştırılan malzemelere uygulanan farklı yüzey işlemlerinin, bağlantıların hasar yükünü önemli miktarda değiştirdiği görülmektedir.



**Şekil 10.** (a) Akrylic yapıştırıcı (G-Force) ile birleştirilmiş bağlantıların ortalama hasar yükleri, (b) Yüzey pürüzlülük değerleri

Akrylic yapıştırıcı ile üretilen tek tesirli bağlantılarda, farklı boyutlardaki zımpara kağıtları ile aşındırılarak üretilen numunelerinin (A-80, A-180, A-400, A-800 ve A-1200) çekme testi sonuçları incelendiğinde (Şekil 10), maksimum hasar yükünün 0.20 µm Ra pürüzlülük değerinde elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu ortalama hasar yükü değerinin, 1.15 µm Ra (P80) ve 0.40 µm Ra (P180) pürüzlülük değerine sahip bağlantı numunelerinden elde edilen ortalama hasar yükleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %25 ve %7 oranında artış sağlandığı gözlemlenmiştir. 0,20 µm Ra pürüzlülük değerine kadar artış gösteren hasar yükü değerleri daha sonrasında azalma eğilimi göstermiştir. Maksimum yüzey pürüzlülüğüne sahip (1.15 µm Ra) numuneler ile üretilen bağlantı numunelerinin ortalama hasar yükü, minimum yüzey pürüzlülüğüne sahip (0.09 µm Ra) numunelerin ortalama hasar yükü ile kıyaslandığında ise %9 oranında artış sağlandığı gözlemlenmiştir.

Kimyasal dağlama işlemleri uygulanarak üretilen tek tesirli bağlantı numunelerinin hasar yükleri göz önüne alındığında, 11164 N ortalama hasar yükü maksimum değer olup, S2 çözeltisi ile dağlama işlemi uygulanan 0.89 µm Ra pürüzlülük değerlerine sahip bağlantı numunelerinde elde edilmiştir. Bu değer; S1 ve S3 dağlama işlemi sonrası elde edilen 0.64 ve 0.73 µm Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip numuneler kullanılarak üretilen bağlantıların ortalama hasar yükü ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık %5 ve %2 oranında artış göstermiştir.

Mekanik ve kimyasal yüzey işlemleri birlikte değerlendirildiğinde; maksimum hasar yükünün elde edildiği S2 dağlama işlemi, zımparalanmış

numunelerin 1.15 µm 0.40 µm, 0.20 µm, 0.13 µm, 0.09 µm Ra pürüzlülük değerlerinde elde edilen ortalama hasar yükleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık %32, %13, %5, %17 ve %20 oranlarında artış sağlamıştır.

Her iki yapıştırıcı ile üretilen tüm bağlantı numunelerinin sonuçları incelendiğinde, yapıştırma bağlantılarında en iyi sonucun optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfirik asit dağlama işlemi (S2) uygulanarak üretilen bağlantılarda olduğu görülmektedir. Mekanik ve kimyasal yüzey işlemleri farklı yüzey morfolojileri oluşturmaktadır. Mekanik yüzey işlemleri, yapışma yüzeyinde oluşan, yapıştırıcı ile yüzeyin temasında arada engel işlevi gören oksit tabakanın kaldırılmasında yeterince etkili olamazlar. Yüzeyden oksit tabakanın kaldırılarak onun yerine daha ince ve aktif bir tabakanın yerleştirilmesinde dağlama işlemleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yüzden, dağlama işlemleri ile elde yapıştırma bağlantıları mekanik yüzey işlemlerine kıyasla daha yüksek yapışma dayanımı sergilemektedirler.

Ayrıca, mekanik yüzey hazırlığı uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ve hasar yükleri incelendiğinde, yapıştırıcının epoksi veya akrilik olmasına bağlı olarak, optimum pürüzlülük değeri farklılık göstermektedir. Safari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da farklı yapıştırıcıları kullanılmış ve optimum yüzey pürüzlülüğünün yapıştırıcıya bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir (Safari vd., 2020). Epoksi yapıştırıcılarda 0.13 µm Ra değeri optimum pürüzlülük değeri iken, akrilik esaslı yapıştırıcılarda bu değer 0.20 µm Ra'dır. Yapıştırıcıların viskozite değerlerinin farklı değerlerde olması yüzey ıslatabilirliğini



etkilemektedir. Nispeten yüksek viskozite değerine sahip epoksi yapıştırıcı 0.13  $\mu\text{m}$  Ra değerinde yapışma yüzeyine daha iyi nüfuz ederken, düşük viskoziteye sahip akrilik yapıştırıcı ise 0.2  $\mu\text{m}$  Ra değerinde yapışma yüzeyini optimum oranda ıslatmaktadır.

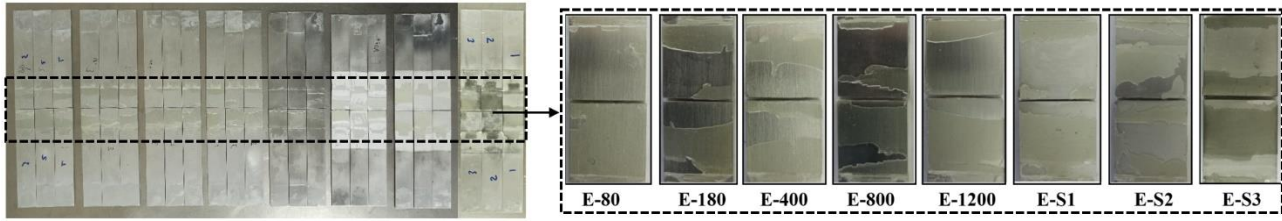
### 3.3. Hasar yüzeyleri

Çekme yüküne maruz kalan tek tesirli bağlantı numunelerinde eğilme momenti oluşarak yapışma bölgesinin uç kısımlarında soyulma gerilmeleri meydana getirir. Bağlantılarda oluşan bu soyulma gerilmeleri hasara sebep olmaktadır. Yapıştırma bağlantılarında meydana gelen hasar, bindirme bölgesinin uç kısımlarından başlayarak yapışma alanının ortasına doğru hareket ederek oluşmaktadır.

Epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların çekme deneyi sonrası hasar yüzeyleri Şekil 11'de verilmiştir. Hasar yüzeyleri incelendiğinde, her iki

yapışma yüzeyinde de farklı oranlarda yapıştırıcı bulunduğu görülmektedir. Elde edilen bu hasar çeşidi özel kohezif hasar olarak isimlendirilmektedir.

E-80 hasar yüzeyi incelendiğinde, yapıştırıcının neredeyse tamamının alt yüzeyde kaldığı görülmektedir. Yapıştırma bağlantısı, uygulanan yükü orta kısma doğru taşıyamamış ve kopma gerçekleşmiştir. Elde edilen fazla pürüzlü yüzey, epoksinin yüzeyde oluşan gözeneklere nüfuz etmesini engelleyerek, yapıştırıcının yüzeyi ıslatmasına engel olmaktadır. Dolayısıyla mekanik kilitleme mekanizması çalışmamış ve yapışma tam olarak gerçekleşmemiştir. Bu durum, en pürüzlü yüzeyin en yüksek dayanımı sergilemeyeceğinin bir göstergesidir. E-800 hasar yüzeyi incelendiğinde ise yapıştırıcının her iki yüzeyde de uç kısımlarda kaldığı ve hasar yükünün bağlantının orta kısmına taşındığı sonucuna ulaşılabılır. Bu sayede hasar yükünde artış sağlanmıştır.



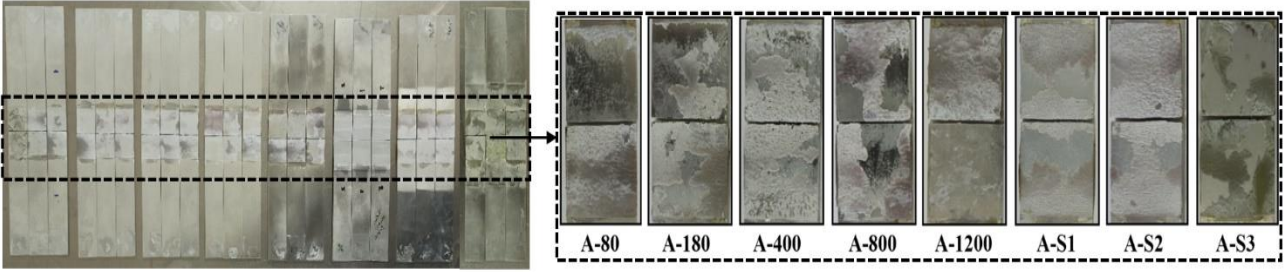
Şekil 11. Epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantıların hasar yüzeyleri

S2 dağlama işlemi ile üretilen ve optimum yüzey pürüzlülüğü ile maksimum hasar yükü değeri elde edilen tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar yüzeyini incelediğimizde ise, her iki yapışma yüzeyinin uç kısımlarının yapıştırıcı ile kaplandığı görülmektedir. Ayrıca, uygulanan dağlama işlemi sonrası yüzeyin gözenekli hale gelerek yapıştırıcının etki ettiği yapışma alanını artırması ve yapıştırıcının yüzeyi yüksek oranda ıslatabilmesinin bir sonucu olarak, hasara sebep olan çatlak, bindirme bölgesinin orta kısmına doğru bir noktada başlamıştır. Hasara sebep olan çatlakın orta kısma doğru ilerlemesi ile hasar yükünde maksimum değer elde edilmiştir. E-S1, E-S2 ve E-S3 hasar yüzeyleri birlikte incelendiğinde ise; dağlama çözeltilerinin yapışma yüzeylerinde oluşturdukları ince oksit tabakanın S2 çözeltisi ile daha aktif ve daha gözenekli bir yüzey oluşturması nedeniyle, yüzeyinin ıslanabilirliğinde artış

sağlanmış ve daha yüksek oranda yapışma gerçekleşmiştir.

Akrilik yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantıların hasar yüzeyleri Şekil 12'de verilmiştir. Hasar yüzeyleri incelendiğinde, epoksi kullanılarak üretilen bağlantılar ile benzer hasar yüzeyleri (özel kohezif hasar) gözlemlenmiştir.

Epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen bağlantılar ile benzer şekilde, A-80 hasar yüzeyinde yapıştırıcının çoğunlukla alt yüzeyde kaldığı görülmektedir. Uygulanan hasar yükünün orta kısma doğru taşıyamadan kopan bağlantı düşük yapışma dayanımı sergilemiştir. A-180 ve A-800 hasar yüzeyleri incelendiğinde ise, yaklaşık olarak aynı ortalama hasar yükü değerine sahip bu iki bağlantıda benzer hasar gözlemlenmiştir. Bu iki bağlantıda yapıştırıcının, A-80 numunesine kıyasla hasar yükünü bindirme bölgesinin ortasına daha yüksek oranda taşıdığı görülmektedir.



**Şekil 12.** Akrilik yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantıların hasar yüzeyleri

Akrilik yapıştırıcı ile üretilen tek tesirli bağlantılarda, farklı zımpara boyutlarında elde edilen optimum yüzey pürüzlülüğünün ( $0.20 \mu\text{m Ra}$ ) ve maksimum hasar yükünün ( $10604 \text{ N}$ ) elde edildiği A-400 bağlantısında, yapıştırıcının her iki yapışma yüzeyinde uç kısımlara tutunduğu görülmektedir. Bu nedenle A-400 tek tesirli bağlantı numunesinin uygulanan yükü bağlantının orta kısmına taşınmada ve ortalama hasar yükünü arttırmada diğer numunelere kıyasla daha başarılı olduğu ifade edilebilir. Dağlama işlemleri ile üretilen tek tesirli bindirme bağlantıları incelendiğinde, epoksi ile üretilen bağlantılarla benzer şekilde A-S2 hasar yüzeyinin büyük çoğunluğunun yapıştırıcı ile kaplandığı görülmektedir. Söz konusu durum, uygulanan üç farklı dağlama işlemi sonucunda elde edilen maksimum hasar yüküne sahip bu numunenin yüksek yapışma dayanımının bir göstergesidir. Tüm bağlantı numunelerinin hasar yüzeyleri ortalama hasar yükleri ile değerlendirildiğinde sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu ifade edilebilir.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

Yapılan çalışmada, farklı yüzey hazırlama işlemlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün yapıştırma bağlantılarının hasar yüküne etkisi incelenmiştir. Bu amaçla AA2024-T3 alüminyum alaşımlarının yapışma yüzeyine mekanik (beş farklı boyutta zımparalama) ve kimyasal yüzey (sodyum dikromat/sülfirik asit (S1), optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfirik asit (S2) ve ferrik sülfat/sülfirik asit (S3) dağlama) hazırlama işlemleri uygulanmıştır. Epoksi ve akrilik esash yapıştırıcılar ile hazırlanan numuneler kullanılarak tek tesirli bağlantı numuneleri üretilmiştir. Uygulanan farklı yüzey hazırlama işlemlerinin yapışma bağlantılarının mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, hazırlanan bağlantı numuneleri çekme yükü altında test edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Çift bileşenli epoksi ve akrilik yapısal yapıştırıcıları kullanılarak üretilen bağlantı numunelerinin hasar yükü, AA2024-T3 alaşımlarına uygulanan yüzey hazırlama methoduna ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişmektedir.
- Epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen yapıştırma bağlantılarında; P800 zımparalama işlemi ile elde edilen  $0.13 \mu\text{m Ra}$  pürüzlülük değerinde  $8946 \text{ N}$  maksimum hasar yükü değeri elde edilmiştir. Kimyasal yüzey hazırlama yönteminde ise; optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfirik asit çözeltisi (S2) ile yapılan dağlama işlemi ile elde edilen  $0.89 \mu\text{m Ra}$  yüzey pürüzlülüğüne sahip numuneler kullanılarak üretilen bağlantılarda  $12956 \text{ N}$  maksimum hasar yükü değeri elde edilmiştir. Epoksi yapıştırıcılarla birleştirilmiş bağlantılarda etkili yüzey hazırlama yönteminin optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfirik asit çözeltisi (S2) ile yapılan dağlama işlemi olduğu sonucuna varılabilir.
- Akrilik yapıştırıcı kullanılarak üretilen yapıştırma bağlantılarının hasar yükleri incelendiğinde ise; mekanik yüzey hazırlama işlemleri sonucu  $0.2 \mu\text{m Ra}$  pürüzlülük değerinde (P400) maksimum hasar yükü elde edilirken, kimyasal yüzey hazırlama işlemi ise  $0.89 \mu\text{m Ra}$  pürüzlülük değerinde (S2) maksimum hasar yükü elde edilmiştir.
- Her iki yapıştırıcı ile üretilen tüm bağlantı numunelerinin sonuçları incelendiğinde, yapıştırma bağlantılarında en iyi sonucun optimize edilmiş sodyum dikromat/sülfirik asit dağlama işlemi (S2) ile üretilen bağlantılarda olduğu görülmektedir.
- Mekanik yüzey hazırlığı uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ve hasar yükleri incelendiğinde, yapıştırıcının epoksi veya akrilik olmasına bağlı olarak, optimum pürüzlülük değeri farklılık göstermektedir. Epoksi yapıştırıcılarda  $0.13 \mu\text{m}$

Ra değeri optimum pürüzlülük değeri iken, akrilik esaslı yapıştırıcılarda bu değer 0.2  $\mu\text{m}$  Ra'dır.

- Hasar yüzeyleri incelendiğinde tüm bağlantılarda özel kohezif hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. Tüm bağlantı numunelerinin hasar yüzeyleri ortalama hasar yükleri ile değerlendirildiğinde sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

- Adin, H. ve Turgut, A. (2013). The effects of width on the strength of adhesively bonded z joints subjected to tensile loads. *The Journal of Adhesion*, 89(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/00218464.2012.725619>
- Adin, H. (2017). Effect of overlap length and scarf angle on the mechanical properties of different adhesive joints subjected to tensile loads. *Materials Testing*, 59(6), 536-546. <https://doi.org/10.3139/120.111031>
- Adin, M. Ş. ve Kılıçkap, E. (2021). Strength of double-reinforced adhesive joints. *Materials Testing*, 63(2), 176-181. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0024>
- Boutar, Y., Naïmi, S., Mezlini, S. ve Ali, M. B. S. (2016). Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints for automotive applications. *International Journal of Adhesion & Adhesive*, 67, 38-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.023>
- Cui, J., Wang, S., Wang, S., Chen, S. ve Li, G. (2020). Strength and failure analysis of adhesive single-lap joints under shear loading: effects of surface morphologies and overlap zone parameters. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.042>
- Ghumatkar, A., Sekhar, R. ve Budhe, S. (2017). Experimental study on different adherend surface roughness on the adhesive bond strength. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7801-7809. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.115>
- Golru, S.S., Attar, M. M. ve Ramezanzadeh, B. (2015). Effects of different surface cleaning procedures on the super ficial morphology and the adhesive strength of epoxy coating on aluminium alloy 1050. *Progress in Organic Coatings*, 87, 52-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.05.005>
- Grard, A., Belec, L. ve Perrin, F. X. (2020). Effect of surface morphology on the adhesion of silicone elastomers on AA6061 aluminum alloy. *International Journal of Adhesion and Adhesive*, 102, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102656>
- Gültekin, K., Akpınar, S. ve Özel, A. (2015) The effect of moment and flexural rigidity of adherend on the strength of adhesively bonded single lap joints. *The Journal of Adhesion*, 91(8), 637-650. <https://doi.org/10.1080/00218464.2014.953674>
- Hirulkar, N. S., Jaiswal, P. R., Alessandro, P. ve Reis, P. (2018). Influence of mechanical surface treatment on the strength of mixed adhesive joint. *Materials Today: Proceedings*, 5, 18776-18788. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.224>
- Jawade, S.A., Joshi, R.S. ve Desai, S. V. (2020). Comparative study of mechanical properties of additively manufactured aluminum alloy. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.096>
- Kanani, A.Y., Hou, X. ve Ye, J. (2020). A novel dissimilar single-lap joint with interfacial stiffness improvement. *Composite structures*, 252, 112741. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112741>
- Natalia, M. A., Goushegir, S. M., dos Santos, J. F., Canto, L. B. ve Amancio-Filho, S. T. (2016). Friction spot joining of aluminum alloy 2024-T3 and carbon-fiber-reinforced poly(phenylene sulfide) laminate with additional PPS film interlayer: Microstructure, mechanical strength and failure mechanisms. *Composites Part B*, 94, 197-208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.03.011>
- Özer, H. ve Erbayrak, E. (2016). Experimental investigation on the self-healing efficiency of Araldite 2011 adhesive reinforced with thermoplastic microparticles. Rudawska, A. (Ed.), *Adhesives: Applications and properties* (s. 169-185). London; IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/62603>
- Saalema, N., Sarkar, D. K., Paynter, R. W., Gallant, D. ve Eskandarian, M. (2012). A simple surface treatment and characterization of AA 6061 aluminum alloy surface for adhesive bonding applications. *Applied Surface Science*, 261, 742-748. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.08.091>
- Safari, A., Farahani, M. ve Ghabezi, P. (2020). Experimental study on the influences of different surface treatment processes and adhesive type on the aluminum adhesive-bonded joint strength. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1777876>

- Salstela, J., Suvanto, M. ve Pakkanen, T. T. (2016). Influence of hierarchical micro-micro patterning and chemical modifications on adhesion between aluminum and epoxy. *International Journal of Adhesion & Adhesive*, 66, 128–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.036>
- Saraç, İ., Adin, H. ve Temiz, Ş. (2018). Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles. *Composites Part B: Engineering*, 155, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.006>
- Singh, S.S. ve Kitey, R. (2017). Effect of interface profile and incident wave characteristics on aluminum/epoxy dynamic adhesion strength. *International Journal of Adhesion and Adhesive*, 79, 8–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.09.001>
- Wu, X., Zhan, L., Zhao, X., Wang, X. ve Chang, T. (2020). Effects of surface pre-treatment and adhesive quantity on interface characteristics of fiber metal laminates. *Composite Interfaces*, 27(9), 829–843. <https://doi.org/10.1080/09276440.2019.1707023>
- Xing, Y., Yang, S., Lu, S., Zhang, P., An, Y. ve Zhai, J. (2020). Effect of bonding parameters on compression mechanical properties of bi-directional corrugated honeycomb aluminum. *The Journal of Adhesion*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1834388>
- Xu, Y., Li, H., Shen, Y., Liu, S., Wang, W. ve Tao, J. (2016). Improvement of adhesion performance between aluminum alloy sheet and epoxy based on anodizing technique. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70, 74-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.05.007>
- Zhang, J. Zhao, X., Zuo, Y. ve Xiong, J. (2008). The bonding strength and corrosion resistance of aluminum alloy by anodizing treatment in a phosphoric acid modified boric acid/sulfuric acid bath. *Surface & Coatings Technology*, 202, 3149–3156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.10.041>

## Comparison of the effects of microwave and spark plasma sintering on the electrical, thermal, and mechanical properties of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites

*Mikrodalga ve kıvılcım plazma sinterlemenin Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitlerin elektriksel, ısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması*

Ege Anıl DİLER<sup>\*1,a</sup>

<sup>1</sup>Ege University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 35040, Izmir, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 23.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.09.2021

### Abstract

The effects of lanthanum hexaboride (LaB<sub>6</sub>) nano-particles on the electrical, thermal, and mechanical properties of copper-based nanocomposites (Cu-LaB<sub>6</sub>) produced using microwave sintering (MS) and spark plasma sintering (SPS) processes were investigated in this study. Nano LaB<sub>6</sub> particles reduced the electrical conductivity of Cu matrix nanocomposites produced via MS and SPS by 20% and 13%, respectively. Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites had lower thermal conductivity than unreinforced Cu. The electrical and thermal conductivities of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by the SPS process were higher than those of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by the MS process. An equation that takes particle volume ratio and porosity into account was developed to predict the thermal conductivity of nanocomposites from their electrical conductivity. The calculated thermal conductivity values for Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites were very close to the experimental results. Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites had much higher hardness and compressive strength by 49% and 38%, respectively, compared to those of unreinforced Cu. The hardness and compressive strength of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by SPS were higher than those of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite manufactured via MS. Although nano LaB<sub>6</sub> reinforcement particles reduced the electrical and thermal conductivities of Cu, Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite having high hardness and compressive strength were produced by combining the positive influences of nano LaB<sub>6</sub> reinforcement particles and the SPS process.

**Keywords:** Copper, Electrical and thermal conductivity, Microwave sintering, Nanocomposite, Nano-LaB<sub>6</sub>, Spark plasma sintering

### Öz

*Çalışmada, nano lantan heksaborid (LaB<sub>6</sub>) partiküllerinin, mikrodalga sinterleme (MS) ve kıvılcım plazma sinterleme (SPS) işlemleri kullanılarak üretilen bakır esaslı nanokompozitlerin (Cu-LaB<sub>6</sub>) elektriksel, ısı ve mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Nano LaB<sub>6</sub> partikülleri, MS ve SPS ile üretilen Cu matrisli nanokompozitlerin elektrik iletkenliğini sırasıyla % 20 ve % 13 oranında azalmasına neden olmuştur. Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitleri, takviyesiz Cu'dan daha düşük termal iletkenliğe sahip olmuştur. SPS metodu ile üretilen Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitinin elektriksel ve ısı iletkenlikleri, MS ile üretilen Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitinden daha yüksek olmuştur. Nanokompozitlerin ısı iletkenliğini elektriksel iletkenliklerinden hesaplayabilmek için partikül hacim oranını ve gözenekliliği dikkate alan bir denklem geliştirilmiştir. Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitler için hesaplanan ısı iletkenlik değerleri deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitleri, takviye edilmemiş Cu malzemelere göre sırasıyla % 49 ve % 38 oranında daha yüksek sertliğe ve basma dayanımına sahip olmuştur. SPS yöntemi ile üretilen Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitinin sertliği ve basma dayanımı, MS ile üretilen Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozitinden daha yüksek olmuştur. Nano LaB<sub>6</sub> partiküllerinin, Cu'nun elektriksel ve ısı iletkenliklerinin bir miktar düşmesine neden olmasına rağmen, nano LaB<sub>6</sub> partikülleri ile SPS işleminin olumlu etkileri biraraya getirilerek, yüksek sertlik ve basma dayanımına sahip Cu-LaB<sub>6</sub> nanokompozit üretilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Bakır, Elektriksel ve ısı iletkenlik, Mikrodalga sinterleme, Nanokompozit, Nano-LaB<sub>6</sub>, Kıvılcım plazma sinterleme

\*a Ege Anıl DİLER; ege.anil.diler@ege.edu.tr; Tel: (0232) 311 51 28; orcid.org/0000-0002-1667-5737



## 1. Introduction

Copper is one of the most common metallic materials used in a variety of applications such as electronics and machinery due to its high electrical and thermal conductivities and remarkable mechanical properties (Schipper et al., 2018; Li et al., 2020). Although copper has such good properties, its high thermal expansion and low wear resistance restrict its use in some applications. Copper (Cu) matrix composites are potential materials for overcoming these drawbacks of copper and allowing it to be used in applications such as brushes of DC motor and fusion heat sinks (Raj et al., 2018; Tejado et al., 2018).

Cu matrix composites have been developed by reinforcing Cu with various reinforcement particles such as TiB<sub>2</sub> (Ren et al., 2019), TiC (Afzal and Harish, 2020), WC (Dias et al., 2019), ZrO<sub>2</sub> (Fathy et al., 2019), SiC (Somani et al., 2018), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Strojny-Nędza et al., 2018), and NbC (Bian et al., 2021). The electrical, thermal, and mechanical properties of Cu matrix composites vary depending on factors such as reinforcement particles and production processes. For example, the hardness, tensile strength, and wear resistance of Cu matrix composites are improved by adding reinforcement particles to the Cu matrix and increasing their volume or weight fractions (Singh et al., 2019; Shaik and Golla, 2020; Yin et al., 2020). However, due to the low electrical conductivity of reinforcement particles, the electrical conductivity of Cu matrix composites decreases. Satishkumar et al. produced Cu matrix composites by adding WC and SiC particles at the volume fractions ranging from 2.5 to 7.5% and suggested that the electrical conductivity of Cu-WC/SiC composites decreased as the amount of WC/SiC particles increased due to the non-conducting effect of the reinforcement particles (Satishkumar et al., 2021). Kumar et al. studied the electrical and mechanical properties of Cu-TiB<sub>2</sub> composites and reported that adding TiB<sub>2</sub> particles to the Cu matrix improved the strength of Cu-TiB<sub>2</sub> composites by up to 5 wt.% TiB<sub>2</sub>, whereas the electrical conductivity of Cu-TiB<sub>2</sub> composites decreased as the weight fraction of TiB<sub>2</sub> particles increased (Kumar et al., 2017). In a study on Cu matrix composites reinforced with ZrO<sub>2</sub> particles, it was found that increasing the weight fraction of ZrO<sub>2</sub> increased the hardness of the Cu-ZrO<sub>2</sub> composites while decreasing their electrical resistivity (Fan et al., 2019). The thermal conductivity of Cu-matrix composites was found to behave similarly to electrical conductivity with regards to the effects of reinforcement volume or weight fractions (Wang et al., 2011).

Cu matrix composites are manufactured using a variety of methods such as casting and powder metallurgy (Sridhar et al., 2020). During the production of these conventional methods, porosity or undesirable interface reactions might occur, resulting in an additional decrease in the electrical and thermal conductivities and mechanical properties of Cu matrix composites. Microwave sintering and spark plasma sintering (SPS) outperform conventional methods in improving the properties of metal matrix composites. Microwave sintering has benefits such as enhanced diffusion and lower sintering temperatures (Oghbaei and Mirzaee, 2010), while SPS has advantages such as high densification and restriction of undesired reactions. (Cavaliere et al., 2019). Chmielewski et al. compared the effect of SPS with the influence of conventional hot pressing method on the thermal conductivity of Cu matrix composites reinforced with 5, 10, 15, 20, and 25 vol.% of SiC. It was found that while the thermal conductivities of Cu-SiC composites manufactured by SPS and hot pressing methods decreased with an increase in the amount of SiC particles, the thermal conductivity of specimens produced by the SPS method was higher than that of specimens produced by the hot pressing method (Chmielewski et al., 2017). Ayyappadas et al. investigated the effects of microwave-assisted sintering versus conventional sintering on the electrical conductivity and hardness of Cu-SiC composites (2.5, 5, and 7.5 wt.%) (Ayyappadas et al., 2017). It was reported that as the weight fraction of SiC particles increased, hardness increased but electrical conductivity decreased, and it was shown that the electrical conductivity and hardness of Cu-SiC composites produced by microwave sintering were higher than those of conventional sintering specimens.

Nano-sized reinforcement particles are much more efficient in enhancing the mechanical properties of Cu matrix composites than micro-sized particles (Panda et al., 2014). However, reducing the size of the reinforcement particles lowers the electrical and thermal conductivities of Cu matrix composites (Kargul et al., 2018). While maintaining the positive effect of nanoparticles on mechanical properties, their negative effect on electrical and thermal conductivity can be eliminated by using reinforcement particles with higher conductivity. As compared to other types of reinforcement particles used in Cu matrix composites, lanthanum-based particles such as LaB<sub>6</sub> and La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> have a high electrical conductivity. For this reason, recent studies on Cu matrix composites have focused on lanthanum-based



particle reinforced Cu matrix composites (Cong et al., 2019; Solodkyi et al., 2020).

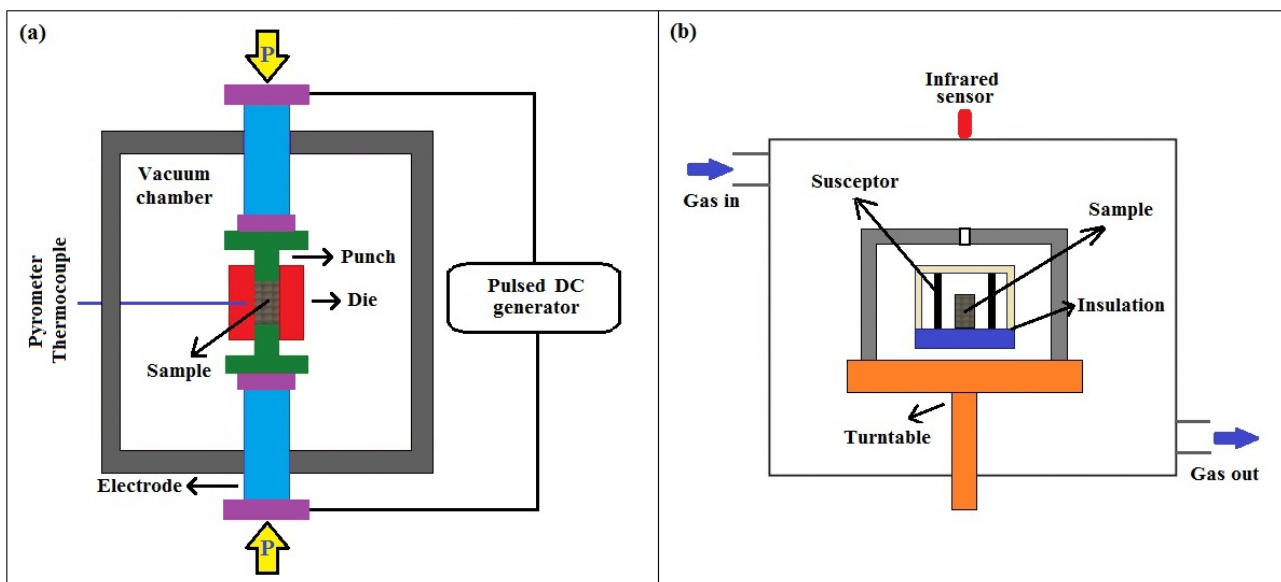
Considering the positive effects of nano-sized particles, LaB<sub>6</sub> particle, and microwave sintering and SPS on the mechanical and electrical and thermal conductivities of Cu matrix composites, in this study, Cu matrix nanocomposites were produced by reinforcing with nano-sized LaB<sub>6</sub> particles using microwave and SPS methods, and electrical, thermal, and mechanical properties of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites were investigated.

## 2. Materials and methods

Copper (Cu) ( $33\pm 7\ \mu\text{m}$ ) with a purity of 99.1% and lanthanum hexaboride (LaB<sub>6</sub>) particles (45 nm) were used to produce Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites.

Taking into consideration the amount of ceramic reinforcement particles in which the maximum

(better) values of physical and mechanical properties of Cu matrix composites, such as electrical conductivity and compressive strength, were obtained in the studies found in the literature (Taha and Zawrah, 2017; Lakshmanan et al., 2019; Moustafa and Taha, 2021), the volume fraction of nano-LaB<sub>6</sub> reinforcement particles in this study was determined to be 2%. To distribute the nano-LaB<sub>6</sub> particles uniformly in Cu powders, a mechanical milling process was performed in a high-energy ball milling machine at a rotational speed of 350 rpm, a ball/powder ratio of 30:1, and an argon atmosphere, for 24 hours. Milling balls and jars were made of 304 stainless steel. Stearic acid was used as a process control agent to avoid excessive cold welding and bonding between powders and balls, and also to minimize powder agglomeration during the high-energy ball milling process.



**Figure 1.** Schematic figures of (a) spark plasma sintering (SPS) and (b) microwave sintering (MS)

Mechanically milled Cu-LaB<sub>6</sub> powders were consolidated using microwave sintering (MS) and spark plasma sintering (SPS) to produce specimens with a diameter of about 13 mm and a height of about 25 mm (Figure 1). According to a literature review (Ngai et al., 2013; Ayyappadas et al., 2017; Sathish et al., 2019; Pellizzari and Cipolloni, 2020), in this study, the optimum values for the production parameters in MS and SPS methods used to produce ceramic particle-reinforced Cu matrix composites were determined, and these values were taken as high as possible in order to achieve higher density, which leads to better mechanical and physical properties such as compressive strength and electrical conductivity,

as well as to avoid excessive grain growth, which has a negative effect on the properties of the materials. Prior to the microwave sintering process, powders were pressed at a pressure of 400 MPa in a steel mold. The compacted specimens were sintered in a microwave furnace (2.45 GHz) to 900 °C at a heating rate of 25 °C/min, a holding time of 30 min, and a 95%N<sub>2</sub>-5%H<sub>2</sub> atmosphere. SiC susceptor (microwave-absorbing element) was used to assist heating and sintering of the compacted specimens. Prior to the SPS process, powders were pressed at a pressure of 40 MPa in a steel mold. Because of the high number, large, and non-uniform distribution of the voids between the powders, loose powders poured into the die cavity

cause the current not to be homogeneously distributed in the powder sample throughout the SPS process, resulting in a temperature gradient during discharging. Inhomogeneous temperature distribution can also cause local discrepancies in Joule heating (Leich et al., 2020). However, in a compact structure formed by pre-compaction, this can make discharging and Joule heating more efficient during the SPS process since the contact points and areas of powders with each other will increase (Balice et al., 2021). For all of these reasons, in this study, pre-compaction was applied to the powders in order to make the powders more compact and then perform more effectively in the SPS process. Following the pre-compaction process of the powders, the SPS process was applied to the pre-compacted powders in a graphite die, at a compaction pressure of 50 MPa, a temperature of 900 °C, and a heating rate of 100°C/min under vacuum for 5 min. After dwelling at maximum temperatures for a set period of time in the SPS and MS processes, the specimens were cooled at a rate of 25 °C/min.

Since pores and voids in the microstructure have a significant impact on the electrical and thermal conductivities, and the mechanical properties of the materials, both experimental and theoretical densities of the specimens were determined in this study. The experimental density ( $\rho$ ) of specimens was measured according to Archimedes' principle using a high accuracy balancer ( $\pm 0.01$  mg). The theoretical density was calculated using the following equation:  $\rho_{th} = V_m \cdot \rho_m + V_r \cdot \rho_r$  (where  $V_m$  and  $V_r$  are the volume fractions of the matrix and the reinforcement particles, respectively, and  $\rho_m$  and  $\rho_r$  are the densities of the matrix and the reinforcement particles, respectively). Theoretical densities of Cu and LaB<sub>6</sub> were assumed to be 8.96 g/cm<sup>3</sup> and 4.72 g/cm<sup>3</sup>, respectively. The porosity percentage of the specimens was calculated as follows: Porosity (%) =  $(\rho_{th} - \rho) / \rho_{th}$ . The thermal conductivity ( $\lambda$ ) of the specimens was determined using the following equation:  $\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot C_p$ , where  $\alpha$  is the thermal diffusivity,  $\rho$  is the density, and  $C_p$  is the specific heat capacity.  $\alpha$  and  $C_p$  were measured using a laser flash apparatus (NETZSCH-LFA 467 HyperFlash). The electrical resistivity of the specimens was measured by utilizing a high-precision micro-ohmmeter (Omega-CL8400). The measured electrical resistivity was then converted into the international annealed copper standard conductivity (%IACS) unit. The thermal conductivity, electrical conductivity, and density of the specimens were measured at room temperature. Measurements for electrical and thermal conductivities were repeated

five times for each specimen to obtain a more accurate result, and an average value was taken. Hardness testing of the specimens was conducted using a Vickers hardness tester (Shimadzu HMV-2) with a load of 0.3 kgf (2.942 N) for a dwell time of 10 s. Compression tests of the specimens were conducted at room temperature at a strain rate of 0.005 min<sup>-1</sup> (Shimadzu AG-IS-100 kN). The elemental analyses of the specimens were determined by XRD (X-ray diffraction) and XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) analysis. SEM (scanning electron microscopy) was used to show the microstructures and the fracture surfaces of the specimens.

### 3. Results and discussion

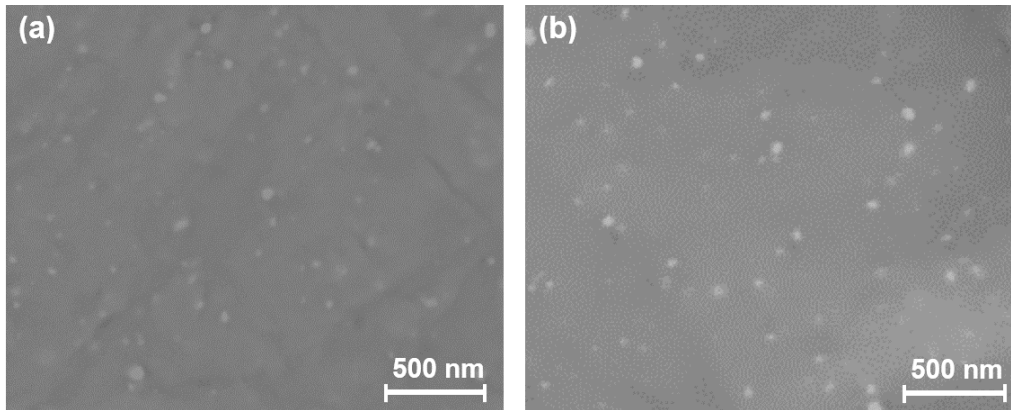
#### 3.1. Microstructure

Figure 2 shows the microstructures of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using microwave sintering (MS) and spark plasma sintering (SPS) processes. As seen in Figure 2, nano Cu-LaB<sub>6</sub> reinforcement particles were distributed uniformly in the copper matrix through the high-energy ball milling process. XRD analysis of a Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite specimen is shown in Figure 3. Three peaks were detected at  $2\theta$  values of 43.7°, 50.8°, and 74.4° degrees corresponding to (111), (200), and (220) of copper, respectively, while two peaks were identified at  $2\theta$  values of 20.7° and 30.2° degrees corresponding to (100) and (110) of LaB<sub>6</sub>, respectively.

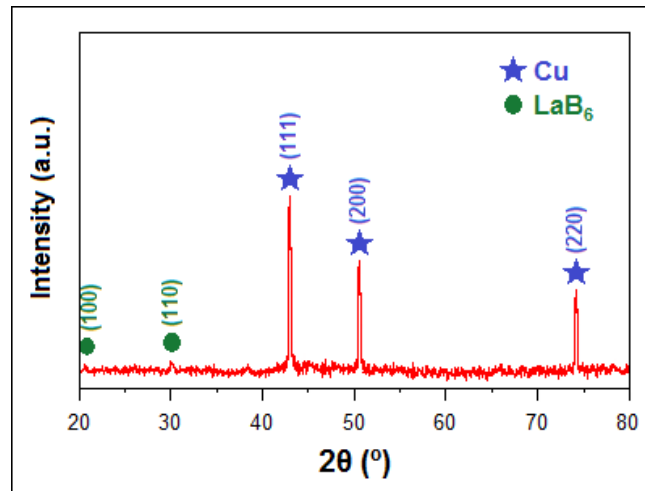
Table 1 shows the elemental compositions of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using MS and SPS methods. In addition to the elements Cu, La, and B, XPS analyses revealed the elements C and O in relatively considerable amounts and Fe, Cr, and Ni in trace amounts in the specimens. It can be attributed to the following reasons. The elements of C, Fe, Cr, and Ni may have contaminated the powders during the high-energy ball milling process due to jar and ball wear. Because of the abrasive impact of reinforcement particles, this may have been more active in Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites; therefore, the amount of these contaminants was higher in Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites than in unreinforced Cu, as seen in Table 1. It should be noted that stearic acid, which was used in the high-energy ball milling process, may have caused a significant amount of C to be found in the specimens. The O contamination found in the specimens may have been resulted from the oxidation of powders before and during the manufacturing processes (particularly the high-energy ball milling process).

A higher amount of O in the specimens produced using the MS method, which can be attributed to the longer processing time in the MS method compared to the SPS method. These contaminants

may have an influence on material properties such as electrical conductivity (Ayyapadas et al., 2017; Degroh and Balachandran, 2018).



**Figure 2.** SEM images of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using (a) microwave sintering (MS) and (b) spark plasma sintering (SPS) processes



**Figure 3.** XRD analysis of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite

**Table 1.** XPS elemental compositions (wt.%) of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using MS and SPS

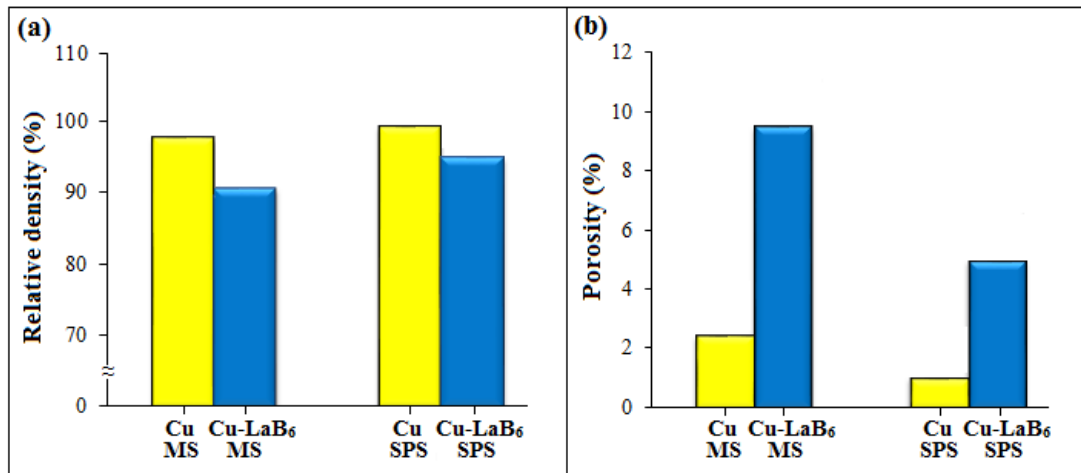
	Weight (%)							
	Cu	La	B	C	O	Fe	Cr	Ni
<b>Microwave sintering</b>								
Cu	Bal.	–	–	0.10	0.05	<0.01	<0.01	<0.01
Cu-LaB <sub>6</sub>	Bal.	0.69	0.32	0.09	0.04	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Spark plasma sintering</b>								
Cu	Bal.	–	–	0.08	0.03	<0.01	<0.01	<0.01
Cu-LaB <sub>6</sub>	Bal.	0.71	0.33	0.09	0.03	<0.01	<0.01	<0.01

Compared to MS and SPS processes with each other, while the only temperature is efficient on pre-compacted specimens during MS, the

simultaneous application of temperature and pressure in the SPS process results in higher density. For all of these reasons, the relative density

of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by SPS was higher than that of manufactured through the MS process (Figure 4a);

in other words, the porosity level in the specimens produced by SPS was lower as seen in Figure 4b.

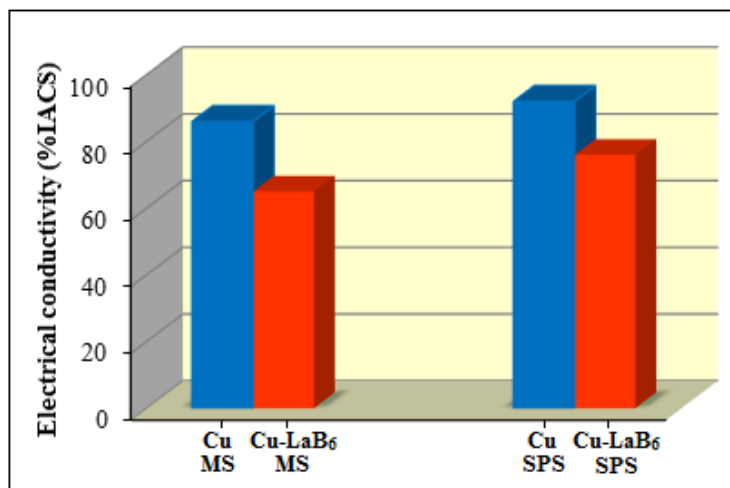


**Figure 4.** Relative densities and porosities of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using MS and SPS

### 3.2. Electrical conductivity

Figure 5 shows the electrical conductivities of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites. The electrical conductivities of nanocomposites produced by MS and SPS were 20% and 13% lower, respectively, than those of unreinforced Cu manufactured using MS and SPS. The electrical

conductivity of unreinforced Cu produced through SPS was 8% higher than that of the specimen produced via MS. Similar behaviour was observed in Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites. The electrical conductivity of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite manufactured using the SPS method was 14% higher than that of the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced through MS.



**Figure 5.** Electrical conductivities of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by MS and SPS

Electrical conductivity in a metallic material is determined by the mobility of charge carriers such as electrons, which is highly influenced by pores and voids in the microstructure. Pore and void can restrict the movement of charge carriers. In SPS, the DC pulse discharge generates spark plasma, spark impact pressure, Joule heating, and an

electrical field diffusion (Suárez et al., 2013). The formation of plasma during SPS has a direct impact on powder sintering. Spark discharge occurs in the space between the powders, which increases the diffusion rate due to the melting formed on powder surfaces, resulting in high density in SPS method (Saheb, 2013). It should also be noted that, as

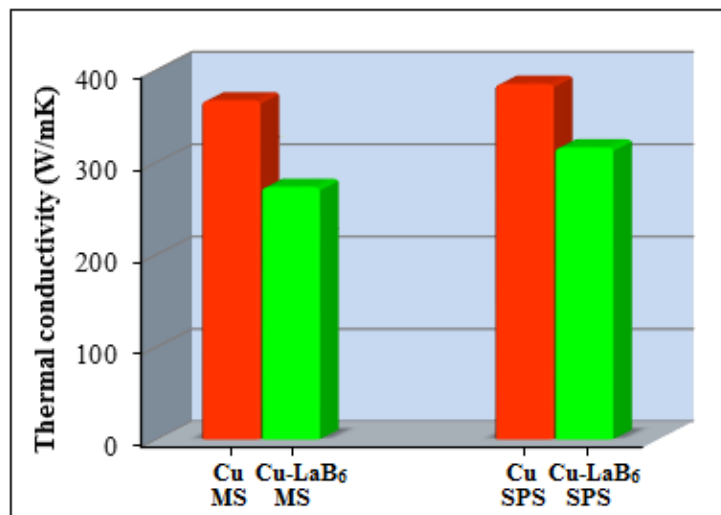
mentioned above, depending on the production method, the porosity level in the specimens produced by SPS was lower than that in the specimens manufactured through MS (Figure 4b), resulting in higher electrical conductivity in the specimens produced using the SPS (Figure 5).

The electrical conductivity of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites was lower than that of unreinforced Cu, as seen in Figure 5. It can be due to a number of factors caused by the addition of reinforcement particles. First, ceramic-based reinforcement particles such as LaB<sub>6</sub> have low electrical conductivity than metals such as Cu. Second, hard reinforcement particles resist the densification of powders during the compaction process. Third, if a mechanical milling process is applied to the powders prior to MS and SPS, this process will harden the powders, which leads to retarding the compaction of powders during pressing. The second and third factors result in a reduction in electrical conductivity by causing pores to form in the microstructure. In addition to these factors, elements found in copper metal, such as C and O, may tend to enhance the scattering rate of conducting electrons, resulting in a reduction in the electrical conductivity of the copper (Li et al., 2016; Ayyapadas et al., 2017; Degroh and Balachandran, 2018). Although the amount of Fe, Cr, and Ni contaminants in this study was insufficient to alter the electrical conductivity, C and O may have had a modest effect on the

reduction of electrical resistance. Furthermore, as seen in Table 1, the amount of O in the specimens produced using the MS method was higher than that in the specimens manufactured through the SPS method due to the longer processing time in the MS method. When compared to the SPS method, the relatively high amount of contaminants formed in the specimens produced by the MS method may have contributed to the reduction in electrical conductivity of the specimens. For all of these reasons (ceramic LaB<sub>6</sub> particles, pores, and contaminations), the electrical conductivity of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced using the MS method was lower than that of the SPS method.

### 3.3. Thermal conductivity

Thermal conductivities of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites are shown in Figure 6. Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites had lower thermal conductivity than unreinforced Cu. Nano LaB<sub>6</sub> particles reduced the thermal conductivity of the specimens manufactured through MS and SPS as compared to that of unreinforced Cu specimens produced using the same processes. Heat in ceramics is only conducted by phonons while thermal conduction in metals is provided by both phonons and free electrons. This is one of the reasons why the thermal conductivity of LaB<sub>6</sub> particle reinforced nanocomposites was lower than that of unreinforced Cu specimens.



**Figure 6.** Thermal conductivities of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by MS and SPS

Unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by SPS had higher thermal conductivity than those manufactured through MS, which could be attributed to lower porosity in the specimens produced by SPS. It should be also noted that in

addition to negative effects of pore and reinforcement particles with low thermal conductivity, the interface between matrix and reinforcement is another factor that resists heat flow due to the scattering of phonons and electrons



in this region. Thermal conductivity of ceramic-particle reinforced metal matrix composites such as Cu-LaB<sub>6</sub> composite can further decrease as a result of these interfaces, which can be more important in nano-particle reinforced composites due to the greater number of nano-particle interfaces.

The Wiedemann-Franz law given in Equation (1) describes the relationship between the thermal conductivity ( $\lambda$ ) and the electrical conductivity ( $\sigma$ ) of a material containing freely moving electrons.

$$\frac{\lambda}{\sigma} = L T \tag{1}$$

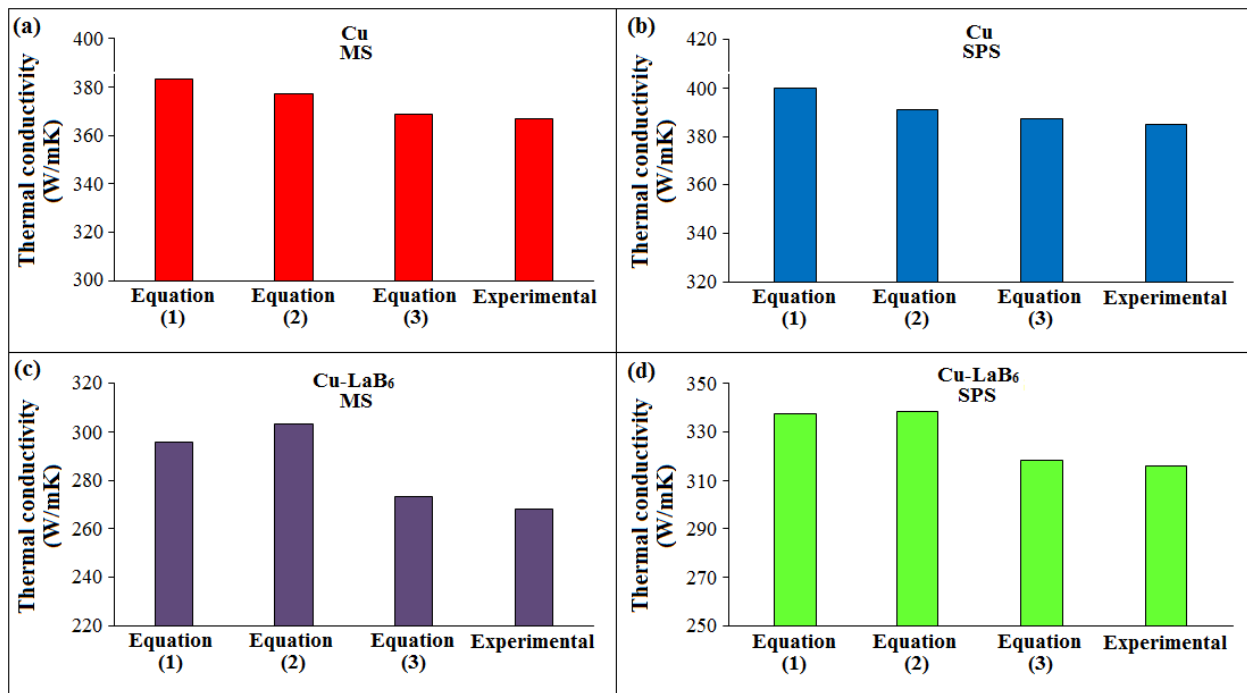
where  $L$  is the Lorenz number and  $T$  is the temperature. By taking into account phonons, which transport thermal energy but not electrical energy, the relationship between  $\lambda$  and  $\sigma$  can be altered by using a constant nonmetallic part ( $k$ ) of the thermal conductivity as follows (Raab et al., 2016):

$$\lambda = k + \sigma L T \tag{2}$$

However, as the porosity in the specimens increases, the reliability of Equation (2) decreases. The amount of porosity in metal matrix composites varies depending on the manufacturing process and also the reinforcements used and their proportions, particularly nano-sized particles. Ceramic-based reinforcement particles have very low conductivity and may cause an increase in porosity, which results in a reduction in conductivity. In this study, Equation (2) has been modified to account for the volume fraction of reinforcement particles and the porosity levels in the composite specimens in order to determine the relationship between thermal conductivity and electrical conductivity in particle-reinforced metal matrix composites as follows:

$$\lambda = (1-V-P) (k + \sigma L T) \tag{3}$$

where  $V$  is the volume fraction of reinforcement particles and  $P$  is the fraction of the pores.



**Figure 7.** Prediction of thermal conductivities from experimental electrical conductivities with different approaches (equations) and comparison with experimental thermal conductivities of (a) and (b) unreinforced Cu produced by MS and SPS respectively, and (c) and (d) Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites manufactured through MS and SPS, respectively.

Figure 7 shows thermal conductivities calculated from experimental electrical conductivities using various methods (Equations (1)-(3)). The constant  $k$  was assumed to be 53.1 W/mK in Equations (2) and (3) by using the linear fitted value found in a study (Raab et al., 2016). The Lorenz numbers were  $2.07 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$  (Raab et al., 2016) and

$2.45 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$  (White and Tainsh, 1960) for Equation (1) and Equations (2) and (3), respectively. In comparison to Equations (1) and (2), Equation (3) developed for particle-reinforced metal matrix composites predicted results that were very close to the experimental results, as seen in Figure 7. These findings indicate that the negative

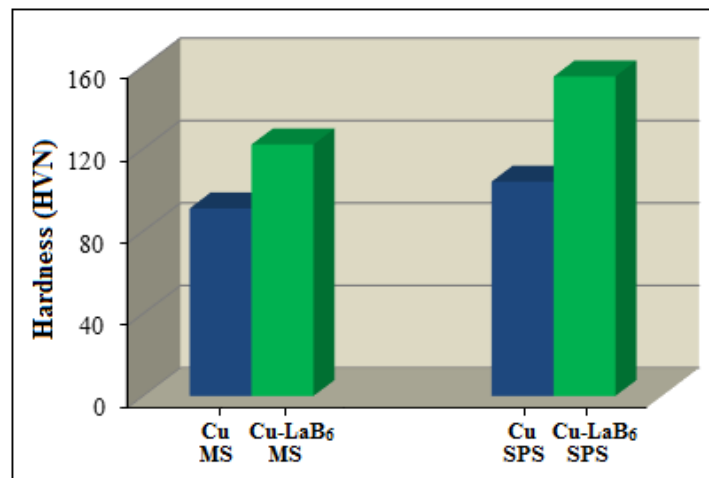


effects of porosity and reinforcement particle volume ratios are highly effective on the thermal conductivity of particle-reinforced metal matrix composites such as Cu-LaB<sub>6</sub>, and that these factors must be considered when calculating (predicting) thermal conductivity from experimental electrical conductivity.

### 3.3. Hardness and compressive strength

The hardness values of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced using MS and SPS were 34% and 49% higher, respectively than that of unreinforced Cu manufactured with MS and SPS (Figure 8). Reinforcement particles have significant effects on

the hardening of the metal matrix to which they are added, both directly and indirectly. Firstly, the hardness of LaB<sub>6</sub> particles is greater than that of Cu. Secondly, reinforcement particles in metal matrix composites inhibit the movement of dislocations in the matrix (Lin et al., 2021). Thirdly, dislocation density increases due to the mismatch of thermal expansion coefficients between matrix and reinforcement particles (Matvienko et al., 2021), resulting in additional inhibition of dislocation movements. For all of these factors, Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites were harder than unreinforced Cu.

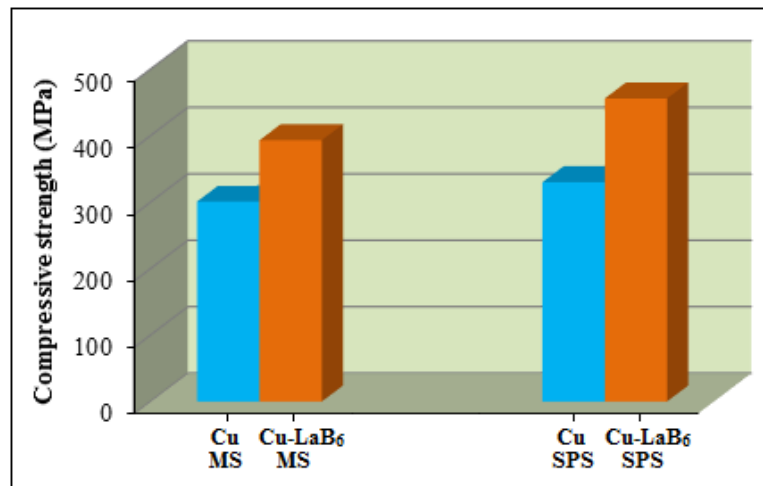


**Figure 8.** Hardness of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites manufactured through MS and SPS

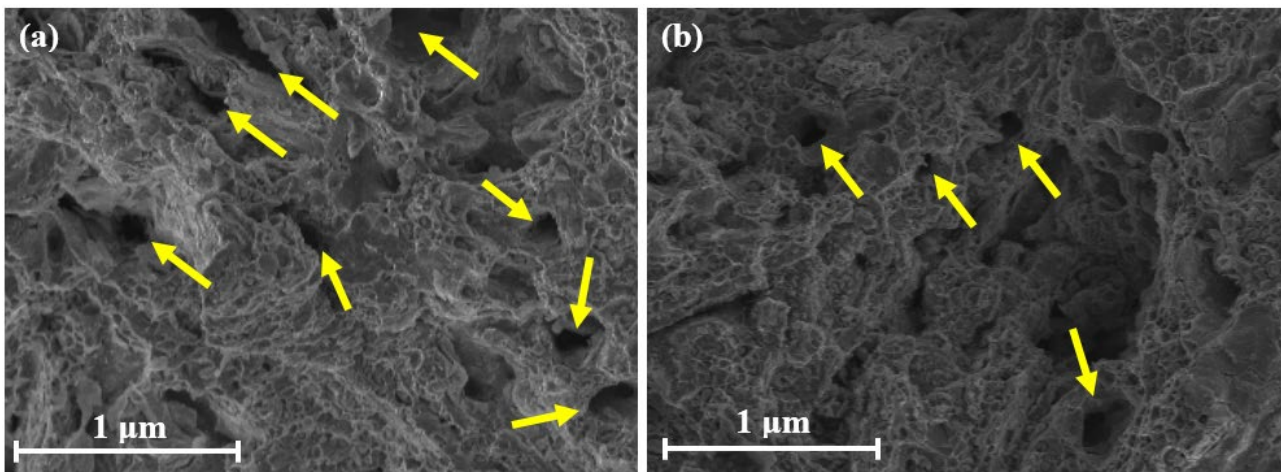
The hardness of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by MS was lower than that produced by SPS. This is due to the higher porosity of specimens manufactured through the SPS compared to those produced with the MS because porosity has a negative influence on the hardness of particle-reinforced metal matrix composites (Hossein et al., 2014).

Figure 9 shows the compressive strengths of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites. The addition of reinforcement particles into a metal matrix improves mechanical properties such as compressive strength due to the following strengthening mechanisms (Ye et al., 2018): (I) load-bearing effect of reinforcement particles, (II) grain boundary strengthening (Hall-Petch), (III) Orowan strengthening, and (IV) enhanced dislocation-based strengthening mechanisms resulted from the mismatches of thermal expansion coefficients and elastic modulus between the reinforcement particles and the metal matrix. The

addition of nano LaB<sub>6</sub> particles in the Cu matrix increased the compressive strength of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced by SPS by 38% as compared to unreinforced Cu specimen produced using the same method (Figure 9). Nano LaB<sub>6</sub> particle reinforced Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite manufactured through MS had a 29% higher compressive strength than unreinforced Cu specimens produced by MS. These findings clearly showed that nano LaB<sub>6</sub> particles and SPS had a strong influence in improving the compressive strength of Cu matrix nanocomposites. Porosity, on the other hand, had a negative effect on the compressive strength of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites, depending on the manufacturing process, with a greater negative influence in the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced using the MS process. As seen in Figure 10, the pores formed in the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite manufactured via MS were more numerous and greater than those formed in the Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite specimen produced with SPS, resulting in lower compressive strength.



**Figure 9.** Compressive strengths of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by MS and SPS



**Figure 10.** SEM images of fracture surfaces of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by (a) MS and (b) SPS

#### 4. Conclusions

Copper was reinforced with nano LaB<sub>6</sub> particles using microwave sintering and spark plasma sintering to produce Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites, and the electrical, thermal, and mechanical properties of unreinforced Cu and Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites were investigated. The nano LaB<sub>6</sub> particles reduced the electrical conductivities of Cu. Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced with MS and SPS had lower electrical conductivity than unreinforced Cu by 20% and 13%, respectively. Similarly, Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites had lower thermal conductivity than unreinforced Cu. The electrical and thermal conductivities of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite manufactured through SPS were higher than those of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite produced using MS since lower porosity was achieved in production with the SPS process. To calculate the thermal conductivity of nanocomposites from their electrical conductivity, an equation that takes particle volume ratio and porosity into account was

developed. The predicted thermal conductivities of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites were very close to the experimental results. Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced via MS and SPS had much higher hardness by 34% and 49%, respectively, compared to those of unreinforced Cu manufactured using the same processes. The compressive strength of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites produced by MS and SPS were 29% and 38% higher than those of unreinforced Cu manufactured through MS and SPS. SPS process had a greater positive effect on the electrical, thermal, hardness, and compressive strength of Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposites than MS process. In conclusion, despite the fact that nano LaB<sub>6</sub> reinforcement particles reduced the electrical and thermal conductivities of Cu, Cu-LaB<sub>6</sub> nanocomposite having high hardness and compressive strength were produced by combining the positive influences of nano LaB<sub>6</sub> reinforcement particles and the SPS process.

## References

- Afzal, S. R. and Harish, S. (2020). Synthesis and characterization of titanium carbide reinforced copper based metal matrix composite. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(7), 2451-2457.
- Ayyappadas, C., Annamalai, A. R., Agrawal, D. K. and Muthuchamy, A. (2017). Conventional and microwave assisted sintering of copper-silicon carbide metal matrix composites: a comparison. *Metallurgical Research & Technology*, 114(5), 506(1-10).  
<https://doi.org/10.1051/metal/2017033>
- Balice, L., Cologna, M., Audubert, F. and Hazemann, J. L. (2021). Densification mechanisms of UO<sub>2</sub> consolidated by spark plasma sintering. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(1), 719-728.  
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.07.002>
- Bian, Y., Ni, J., Wang, C., Zhen, J., Hao, H., Kong, X., Chen, H., Li, J., Li, X., Jia, Z., Luo, W. and Chen, Z. (2021). Microstructure and wear characteristics of in-situ micro/nanoscale niobium carbide reinforced copper composites fabricated through powder metallurgy. *Materials Characterization*, 172(110847), 1-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110847>
- Cavaliere, P., Sadeghi, B. and Shabani, A. (2019). Spark plasma sintering: Process fundamentals. P. Cavaliere (Ed.) *Spark Plasma Sintering of Materials Advances in Processing and Applications* (pp. 3-20). Cham: Springer Nature.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-05327-7>
- Chmielewski, M., Pietrzak, K., Strojny-Nędza, A., Kaszyca, K., Zybała, R., Bazarnik, P., Lewandowska, M. and Nosewicz, S. (2017). Microstructure and thermal properties of Cu-SiC composite materials depending on the sintering technique. *Science of Sintering*, 49, 11-22.  
<https://doi.org/10.2298/SOS1701011C>
- Cong, D., Huimin, L., Shan, F., Yuan, Q., Qilong, H. and Jiachen, J. (2019). Effect of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on copper matrix composites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles. *Materials Research Express*, 6(10), (1-9).  
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3eff>
- Degroh, H. C. and Balachandran, U. B. (2018). Conductivity of copper-carbon covetic composite. *NASA STI Program*, 219790 (pp 11).
- Dias, M., Pinhão, N., Faustino, R., Martins, R. M. S., Ramos, A. S., Vieira, M. T., Correia, J. B., Camacho, E., Fernandes, F. M. B., Nunes, B., Almeida, A., Mardolcar, U. V. and Alves, E. (2019). New WC-Cu composites for the divertor in fusion reactors. *Journal of Nuclear Materials*, 521, 31-37.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.04.026>
- Fathy, A., Wagih, A. and Abu-Oqail, A. (2019). Effect of ZrO<sub>2</sub> content on properties of Cu-ZrO<sub>2</sub> nanocomposites synthesized by optimized high energy ball milling. *Ceramics International*, 45(2:A), 2319-2329.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.10.147>
- Fan, X., Huang, X., Liu, Q., Ding, H. Wang, H. and Hao, C., (2019). The microstructures and properties of in-situ ZrB<sub>2</sub> reinforced Cu matrix composites. *Results in Physics*, 14(102494), 1-6.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102494>
- Hossein, A., Reza, E. and Baghchesara, M. A. (2014). Investigation of microstructure and mechanical properties of nano MgO reinforced Al composites manufactured by stir casting and powder metallurgy methods: A comparative study. *Composites Part B: Engineering*, 56, 217-221.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.023>
- Kargul, M., Borowiecka-Jamrozek, J. and Konieczny, M. (2018). The effect of reinforcement particle size on the properties of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 461(012035), 1-6.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/461/1/012035>
- Kumar, M., Gupta, G. K., Modi, O. P., Prasad, B. K., Khare, A. K. and Sharma, M. (2017). Effect of separate and combined milling of Cu and TiB<sub>2</sub> powders on the electrical and mechanical properties of Cu-TiB<sub>2</sub> composites. *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, 56(1), 58-66.  
<https://doi.org/10.1080/00084433.2016.1247129>
- Lakshmanan, P., Dharmaselvan, S., Paramasivam, S., Kumar Kirubanandan, L. and Vigneshi R. (2019). Tribological properties of B<sub>4</sub>C nano particulates reinforced copper matrix nanocomposites. *Materials Today: Proceedings*, 16, 584-591.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.132>
- Leich, L., Röttger, A., Kuchenbecker, R. and Theisen, W. (2020). Electro-discharge sintering of nanocrystalline NdFeB magnets: process parameters, microstructure, and the resulting magnetic properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 20431-20443. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04562-6>
- Li, J., Li, Y., Wang, Z., Bian, H., Hou, Y., Wang, F., Xu, G., Liu, B. and Liu, Y. (2016). Ultrahigh oxidation resistance and high electrical conductivity in copper-silver powder. *Scientific*

- Reports, 6(39650), 1-10.  
<https://doi.org/10.1038/srep39650>
- Li, X., Wang, Y., Yin, C.-R. and Yin, Z. (2020). Copper nanowires in recent electronic applications: progress and perspectives. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(3), 849-872.  
<https://doi.org/10.1039/C9TC04744A>
- Lin, H., Guo, X., Song, K., Feng, J., Li, S. and Zhang, X. (2021). Synergistic strengthening mechanism of copper matrix composite reinforced with nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and micro-SiC whiskers. *Nanotechnology Reviews*, 10(1), 62-72.  
<https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0006>
- Matvienko, O., Daneyko, O., Kovalevskaya, T., Khrustalyov, A., Zhukov, I. and Vorozhtsov, A. (2021). Investigation of stresses induced due to the mismatch of the coefficients of thermal expansion of the matrix and the strengthening particle in aluminum-based composites. *Metals*, 11(279), 1-20.  
<https://doi.org/10.3390/met11020279>
- Moustafa, E. B. and Taha, M. A. (2021). Evaluation of the microstructure, thermal and mechanical properties of Cu/SiC nanocomposites fabricated by mechanical alloying. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(3), 475-486. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2176-z>
- Ngai, T. L., Zheng, W. and Li, Y. (2013). Effect of sintering temperature on the preparation of Cu-Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> metal matrix composite. *Progress in Natural Science: Materials International*, 23(1), 70-76.  
<https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2013.01.011>
- Oghbaei, M. and Mirzaee, O. (2010). Microwave versus conventional sintering: A review of fundamentals, advantages and applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 494, 175-189.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.01.068>
- Panda, S., Dash, K. and Ray, B. C. (2014). Processing and properties of Cu based micro- and nano-composites. *Bulletin of Materials Science*, 37(2), 227-238. <https://doi.org/10.1007/s12034-014-0643-8>
- Pellizzari, M. and Cipolloni, G. (2020). Spark plasma sintering of copper matrix composites reinforced with TiB<sub>2</sub> particles. *Materials*, 13(2602), 1-14.  
<https://doi.org/10.3390/ma13112602>
- Raab, S. J., Guschlbauer, R., Lodes, M. A. and Körner, C. (2016). Thermal and electrical conductivity of 99.9% pure copper processed via selective electron beam melting. *Advanced Engineering Materials*, 18(9), 1661-1666.  
<https://doi.org/10.1002/adem.201600078>
- Raj, S. S., Elavarasan, E., Arundeva, S., Devaraj, S., Gokulraj, E. and Govindharasu. C. (2018). Tribological test on copper based hybrid composite material, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ICITMSEE*, 6(10), 1-4.
- Ren, J., Liang, S., Jiang, Y. and Du, X. (2019). Research on the microstructure and properties of in situ (TiB<sub>2</sub>-TiB)/Cu composites. *Acta Metallurgica Sinica*, 55(1), 126-132.  
<https://doi.org/10.11900/0412.1961.2017.00532>
- Saheb, N. (2013). Spark plasma and microwave sintering of Al6061 and Al2124 alloys. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20(2), 152-159.  
<https://doi.org/10.1007/s12613-013-0707-6>
- Sathish, T., Chandramohan, D., Vijayan, V. and Sebastian, P. J. (2019). Investigation on microstructural and mechanical properties of Cu reinforced with SiC composites prepared by microwave sintering process. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, 22, 5-9.  
<https://doi.org/10.14447/jnmes.v22i1.a02>
- Satishkumar, P., Mahesh, G., Meenakshi, R. and Vijayan, S. N. (2021). Tribological characteristics of powder metallurgy processed Cu-WC/SiC metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 37, 459-465.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.449>
- Schipper, B. W. Lin, H. –Ch. Meloni, M. A. Wansleben, K. Heijungs, R. and Van der Voet, E. (2018). Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 28-36.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.004>
- Shaik, M. A. and Golla, B. R. (2020). Two body abrasion wear behaviour of Cu-ZrB<sub>2</sub> composites against SiC emery paper. *Wear*, 450-451(203260), 1-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203260>
- Singh, M. K., Gautam, R. K. and Ji, G. (2019). Mechanical properties and corrosion behavior of copper based hybrid composites synthesized by stir casting. *Results in Physics*, 13(102319), 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102319>
- Solodkyi, I., Bezdorozhev, O. and Loboda, P. (2020). High electrical conductive copper matrix composites reinforced with LaB<sub>6</sub>-TiB<sub>2</sub> eutectic particles. *Vacuum*, 177(109407), 1-4.  
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109407>
- Somani, N., Sharma, N., Sharma, A., Gautam, Y. K., Khatri, P. and Solomon, J. A. A. (2018). Fabrication of Cu-SiC composites using powder metallurgy technique. *Materials Today:*

- Proceedings*, 5(14:2), 28136-28141. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.055>
- Sridhar, M. M. J., Ravichandran, M. and Meignanamoorthy, M. (2020). Influence of different reinforcements on properties of copper matrix composites: A review. *AIP Conference Proceedings*, 2283(020129), 1-10. <https://doi.org/10.1063/5.0029257>
- Strojny-Nędza, A., Pietrzak, K., Gładki, A., Nosewicz, S., Jarzabek, D. M. and Chmielewski, M. (2018). The effect of ceramic type reinforcement on structure and properties of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, 66(4), 553-560. <https://doi.org/10.24425/124271>
- Suárez, M., Fernández, A., Menéndez, J. L., Torrecillas, R., Kessel, H. U., Hennicke, J., Kirchner, R. and Kessel, T. (2013). Challenges and opportunities for spark plasma sintering: a key technology for a new generation of materials. B. Ertug (Ed.), *Sintering Applications* (pp 319-342). London: IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/53706>
- Taha, M. A. and Zawrah, M. F. (2017). Effect of nano ZrO<sub>2</sub> on strengthening and electrical properties of Cu-matrix nanocomposites prepared by mechanical alloying. *Ceramics International*, 43(15), 12698–12704. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.06.153>
- Tejado, E., Müller, A. V., You, J.-H. and Pastor, J. Y. (2018). The thermo-mechanical behaviour of W-Cu metal matrix composites for fusion heat sink applications: The influence of the Cu content. *Journal of Nuclear Materials*, 498, 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2017.08.020>
- Wang, C., Min, G. and Kang, S. (2011). Thermal conducting property of SiCp-reinforced copper matrix composites by hot pressing. *Journal of Composite Materials*. 45(18), 1849-1852. <https://doi.org/10.1177/0021998310387685>
- White, G. K. and Tainsh, R. J. (1960). Lorenz number for high-purity copper. *Physical Review Journals Archive*, 119(6), 1869-1871. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.119.1869>
- Ye, X. -P., Li, Y. -L., Weng, J. -D., Cai, L. -C. and Liu, C. -L. (2018). Research status on strengthening mechanism of particle-reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Engineering*, 46(12), 28-37. <https://doi.org/10.11868/j.issn.1001-4381.2016.001214>
- Yin, J., Zhou, P., Liang, H., Yao, D., Xia, Y., Zuo, K. and Zeng, Y. (2020). Microstructure and mechanical properties of Cu matrix composites reinforced by TiB<sub>2</sub>/TiN ceramic reinforcements. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 33, 1609-1617. <https://doi.org/10.1007/s40195-020-01100-5>

## Termal ısınma-soğuma döngülerine maruz bırakılan mermerlerde soğuma şeklinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması

*Investigation of the effect of cooling type on physical and mechanical properties of marbles exposed to thermal heating-cooling cycles*

Engin ÖZDEMİR\*<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 11.05.2021

• Düzeltiletilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2021

### Öz

Doğal taşların kullanım alanları belirlenirken yalnız fiziksel ve mekanik özelliklerine değil aynı zamanda maruz kalacağı ortamın da dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle, ani hava değişimi yaşanan bölgelerde doğal taşların parçalanması ve ayrışma mekanizmalarını anlamak için termal değişikliklerin etkisinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, ani ve yavaş gelişen ısı değişimlerinin Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerine ait fiziko-mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Öncelikle üç test grubu oluşturulmuş ve bunlardan birincisi doğal, ikincisi havada yavaş soğuma sonucusuna ise ani soğuma çevrimlerine tabi bırakılmıştır. Bu amaçla, termal döngülere (ani ve yavaş soğuma) maruz kalan mermerlerin ağırlık kaybı, ağırlıkça-hacimce su emme ve nokta yükleme dayanım değerlerinde meydana gelen değişimler belirlendi. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, her iki mermer için, ani soğumanın yavaş soğumaya nazaran daha fazla tahrip ettiği tespit edildi. Fakat termal döngüler sonrasında Hazar petrol yeşili mermerindeki dayanım kaybı Elazığ vişneye nazaran daha olduğu tespit edildi. Benzer olarak, Hazar petrol yeşili mermerindeki porozite ve su emme artışı Elazığ vişne mermerinden daha fazladır.

**Anahtar kelimeler:** Elazığ vişne mermeri, Hazar petrol yeşili, Nokta yükleme dayanımı, Termal döngü

### Abstract

While determining the usage areas of natural stones, not only physical-mechanical properties but also environment to which it will be exposed should be taken into account. Especially, to understand the mechanisms of rock breakdown and weathering in regions with sudden air changes, the effect of thermal changes on natural stones should be investigated. In this study, physico-mechanical changes of sudden and slow temperature changes of Elazığ Rosso Levanto and Hazar Verde Antico marbles were investigated. First of all, three test groups were formed, the first of which was natural, the second was slow cooling in air and the last was sudden cooling cycles. For this purpose, changes in weight loss, weight-volume water absorption and point load strength values of marbles exposed to thermal cycles (sudden and slow cooling) were determined. When findings were evaluated, it was determined that for both marbles, sudden cooling damaged more than slow cooling. However, after thermal cycles, it was determined that strength loss in Hazar Verde Antico marble was higher than in Elazığ Rosso Levanto. Similarly, the increase in porosity and water absorption in Hazar Verde Antico marble is higher than Elazığ Rosso Levanto.

**Keywords:** Elazığ rosso levanto, Hazar verde antico, Point load strength, Thermal cycle

\*a Engin ÖZDEMİR; ozdemir.engin@inonu.edu.tr, Tel: (0422) 377 47 32, orcid.org/ 000-0002-6043-0403



## 1. Giriş

Alp-Himalaya kuşağında yer alan Türkiye, dünya tarihinin en eski doğal taş işletmeciliği yapan ülkelerden birisidir. Doğal taş üretimi ve ihracatı bakımından dünya sıralamasında ilk 10 ülke arasında yer alarak Türkiye'nin cari açığının kapanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Uysal, 2018). Doğal taşlar hem fiziko-mekanik özellikleri hem de estetik görünümünden dolayı inşaat ve yapı malzemesi olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda, dış cephe kaplamacılığı, heykeltçilik, dekorasyon, süs eşyalarının yapımı, mezarlıklar vb. sektörler başta olmak üzere birçok alanda doğal taş kullanımı yaygın bir artış göstermiştir. Dış mekânlarda kullanılacak doğal taşlar belirlenirken dayanıklılık parametresi dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Fakat, doğal taşlar için kullanım alanları belirlenirken sadece fiziksel ve mekanik özelliklerin dikkate alınması ve çeşitli doğrudan veya dolaylı çevresel faktörlerin etkisinin (ıslanma-kuruma, yüksek sıcaklık, donma-çözünme, tuz kristalleşmesi, asit yağmurları vb.) göz ardı edilmesi yapıda zamanla çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmalara neden olmaktadır (Chen vd., 2004; Cantisani, 2009; Türkmenoğlu vd., 2020). Doğal taşların bozulma dereceleri, uğradığı kötü çevresel etki veya etkilere ek olarak bünyesinde var olan mikro ya da makro yapıli gözeneklere de bağlıdır. Kayaçların mühendislik özellikleri termal etkilerle değişmektedir. Bu etkiler, doğal çevresel koşullardan (nem, iklim vb.) kaynaklı olabildiği gibi insan kaynaklı olaylar (yangın, asit yağmurları vb.) sonucunda da gelişebilir. Koca vd., (2006), Mithatpaşa Teknik ve Anadolu Lisesinde (İzmir-Konak) meydana gelen yangın sonrasında, alt kattaki iki mermer sütunun yoğun ısıya maruz kaldıkları için yangın sonrası yük taşıma kapasitelerindeki meydana gelen değişimin büyüklüğü deneysel olarak araştırmışlardır. Yangın sırasında doğrudan alevlerin çarptığı mermer kolonların yüzeyindeki sıcaklığı, sağlam karot numuneleri kullanılarak gözeneklilik ve sıcaklık arasında ampirik olarak kurulmuş bir ilişki kullanılarak 500 °C civarında olduğunu tahmin etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, mermer kolonlarının %23 dayanım kaybına rağmen hala önemli bir yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ersoy vd., (2021), yüksek gözenekli kalkerli kayaçların mühendislik davranışları logaritmik/üssel ısınma oranları ve gerçek bir yangında olduğu gibi farklı maruz kalma süreleri dikkate alınarak değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, 400 °C sıcaklığına kadar yoğunluk ve ağırlık kaybı değerlerinde önemli bir değişiklik

olmadığını, 400 ile 600 °C arasındaki sıcaklıklarda ağırlık kaybı değerleri artmaya başlarken, yoğunluk değerlerinde azalma olduğunu ve 600 °C'ye kadar her sıcaklık seviyesinde P-dalgası hız değerleri düştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, 600 °C sıcaklıktan sonra tüm bu özellikler önemli ölçüde değişirken en yüksek hasarın 800 °C'den sonra olduğunu tayin etmişlerdir. Ersoy vd., (2021b), 200 ile 1000 °C arasındaki sıcaklıklara maruz bırakılan killi kayaçlarda ısıli işlem ve maruz kalma süresinin, numunelerin mineralojik ve yapısal değişiklikleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi deneysel olarak araştırmışlardır. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları 600 °C'ye kadar artarken, artan sıcaklık değerleri ile azalmaya başladığını belirlemişlerdir. P dalga hızının her sıcaklık artışına bağlı olarak azaldığını, birim hacim ağırlığının ise 600 °C'ye kadar azalırken, artan sıcaklık değerleri ile neredeyse sabit kaldığını tayin etmişlerdir. Genel olarak değerlendirildiğinde, insan ve çevresel kaynaklı etmenler kayacın gözenekliliğini artırırken buna bağlı olarak dayanımını ise azaltmaktadır. Bu nedenle, doğal taşların doğal veya insan kaynaklı çevresel faktörlerden nasıl etkilendiklerini anlamak yapının uzun ömürlü olması açısından oldukça önem arz etmektedir (Royer-Carfagni, 1999; Vazquez vd., 2012; Careddu ve Marras, 2013; Özgüven ve Özçelik, 2014).

Bazı araştırmacılar termal şok ve termal yaşlandırma uygulamasının doğal taşları nasıl etkilediklerini araştırmışlardır. Mutlutürk vd., (2004), 10 farklı kayaç kullanarak donma-çözünme ve termal şok döngüsü sayısına bağlı olarak kayaçların mekanik dayanımlarını tahmin etmek için bir bozunma fonksiyon modeli geliştirmişlerdir. Termal şok döngüsü için, kayaçları 100 °C'de iki saat ısınma işlemine tabi tuttukten sonra oda sıcaklığında ani soğumaya bırakmıştır. Donma çözünme döngüsü için suda doymun hale getirdiği numuneleri -20 °C'de iki saat donma işlemine tabi tuttukten sonra oda sıcaklığındaki suyun içine bırakmıştır. Sousa vd., (2005), farklı petrografik ve fiziksel özelliklere sahip dokuz granitinin fiziko-mekanik özellikleri ve dayanıklılığı üzerinde gözeneklilik ve fisürasyonun etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, laboratuvar koşullarında termal şok ve tuz kristalleşmesi deneyleri yaparak kayaçların petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, tuz kristalleşmesi döngülerinden ziyade termal şok döngülerinin etkin porozite değerini daha fazla arttırdığını, benzer olarak P dalga hızındaki düşmenin porozite ile ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Yavuz vd.,

(2006), 12 farklı karbonat kökenli kayaçların 20 döngü sonrası donma-çözülme ve termal şok etkisinden kaynaklanan fiziksel ayrışmaya bağlı fiziko-mekanik özelliklerindeki değişiminin belirlenmesinde kullanılacak bir model geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla, doğal koşullarda, donma-çözülme ve termal şok sonrasında kayaçların P-dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertliği değerlerini belirlemişlerdir. Termal şok döngüleri için sıcaklık değerini 100 °C'de 18 saat seçerken, donma-çözülme için -20 °C'de 2 saat olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, döngü sayıları arttıkça kayaçların P-dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt sertliği değerlerinde düşmeler olduğunu tespit etmişler ve bu üç girdi parametresine bağlı olarak çoklu regresyon modeli geliştirmişlerdir. Yavuz (2011), termal şok ve donma çözünme olaylarının andezitin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Donma çözülme döngüsünde numuneleri -20 °C'de 6 saat dondurduktan sonra oda sıcaklığındaki suda 18 saat bekletirken, termal şok döngüsünde 105 °C'de 18 saat etüvde ısınma işleminden sonra oda sıcaklığındaki suya 6 saat bırakılarak bir döngü işlemini gerçekleştirmiştir. Her bir döngü için 5'er adet numune kullanılarak her 10 döngünün sonunda fiziko-mekanik testler gerçekleştirmiştir. 50 döngü sonunda ise deneysel çalışmayı sonlandırmıştır. Termal şok ve donma çözünme olaylarının döngü sayılarındaki artışa bağlı olarak, andezitin P-dalga hızı, Schmidt çekici sertliği ve basınç dayanımında düşümlere, gözeneklilik ve su emme değerlerinde ise artışa neden olduğu tayin etmiştir. Akbay vd., (2012), 6 farklı doğal taş kullanarak donma çözünme ve termal şok döngü sayısına bağlı olarak numunelerdeki kütle kaybı ve parlaklık değerlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar, iki test grubu için 200x100x20 mm ebatlarına sahip plaka numuneler kullanmıştır. Donma çözünme döngülerinde, doymuş hale getirilen numuneler -20 °C'de 6 saat

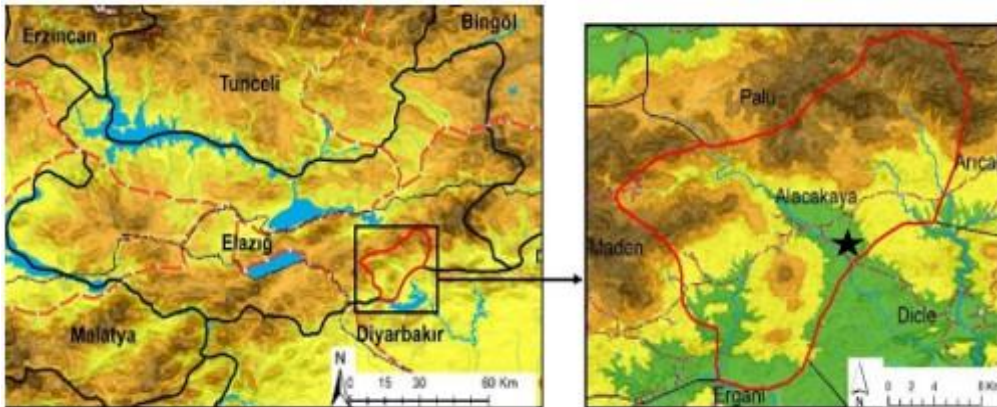
dondurulduktan sonra oda sıcaklığındaki saf suda 18 saat bekletmişlerdir. Termal şok döngülerinde ise 105 °C'de 18 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığındaki suya daldırılarak 6 saat bekletilmiştir. Her iki test için her 5 döngüde bir ölçüm alınmış ve 40 döngü sonunda deneysel çalışma sonlandırılmıştır. Donma çözülme döngülerine bağlı ağırlık kaybı daha fazla iken, yüzey parlaklığı termal şok döngülerinde daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Sarıç ve Özdemir (2017), Doğu Anadolu Bölgesinde üretilen 6 farklı doğal taşın termal şok ve termal yaşlandırma uygulamasının numunelerin pürüzlülük ve renk değişimleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, 105 °C'de 18 saat etüvde ısınmaya bırakılan numunelerin yarısı oda koşullarında havada diğer yarısı ise oda koşullarında su içerisine bırakılarak ani sıcaklık değişimine maruz bırakılmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda her iki termal işlem sonucunda, numunelerin pürüzlülük ve renk değişimlerinde önemli bir etki bırakmadıklarını tayin etmişlerdir.

Bu çalışmada, Elazığ Vişne ve Petrol Yeşili mermerlerinin termal döngüler sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Bu amaçla, 20 kez ani ve yavaş gelişen ısı değişimlere maruz bırakıldıktan sonra kütle kaybı, ağırlıkça-hacimce su emme ve nokta yükleme dayanım indeks değerlerindeki değişimler belirlenerek yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Malzeme

Deneysel çalışmada, Elazığ-Alacakaya ilçesi Altıoluk köyü civarında bulunan Elazığ Vişne (Rosso Levanto) ve Petrol Yeşili (Verde Antico) mermerleri kullanılmıştır. Şekil 1'de, örneklerin alındığı lokasyona ait yer bulduru haritası, Şekil 2'de ise sahalara ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası (Demiroğlu, 2018)



**Şekil 2.** Örnek alınan sahaların görünümü; **a)** Elazığ vişne mermer ocağı **b)** Petrol yeşili mermer ocağı

Her iki ocak birbirlerine oldukça yakın olup ocaklar arası mesafe yaklaşık 1.5-2.0 km civarındadır. Kullanılan örneklerin temel fiziko-mekanik özellikleri tayin etmek için 50x50x50 mm ebatlarına sahip her bir mermer için 5 adet numune kullanılmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlıkları TS EN 1936, Mohs sertlik değerleri TS 6809 ve tek eksenli basınç dayanımları ise TS EN 1926

standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu fiziksel ve mekanik özellikleri TS standartlarına göre belirlenmiş ve Tablo 1’de sunulmuştur. Termal döngüler için ise her bir mermer türünden 30’ar adet 3x4x4 cm ebatlarına sahip olmak üzere toplam 60 numune derlenmiştir. Ayrıca X-Işını Floresans (XRF) sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Örneklerin bazı fiziksel-mekanik özellikleri

	Elazığ vişne mermeri			Petrol yeşili mermeri		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	26.55	26.62	26.58	25.67	25.74	25.70
Doygun birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	26.63	26.70	26.66	25.77	25.83	25.80
Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	26.44	26.53	26.48	25.58	25.65	25.61
Mohs sertliği	4	4	4	4	4	4
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	87.2	101.2	94.5	74.9	90.3	82.2

**Tablo 2.** Numunelerin XRF analizi sonuçları

	Elazığ vişne mermeri (%)	Petrol yeşili mermeri (%)
SiO <sub>2</sub>	23.18	25.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.34	8.62
CaO	20.71	18.7
MgO	26.25	25.4
Na <sub>2</sub> O	<0.014	0.05
K <sub>2</sub> O	<0.0012	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.328	0.26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.361	0.07
ZnO	0.004	0.01
SrO	0.012	0.06
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.022	0.01
Kızdırma Kaybı	20.30	20.30



## 2.2. Termal işlemler

Aynı sıcaklık değerinde ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) ısıtılan fakat farklı soğuma şekline (havada yavaş soğuma ve suda ani soğuma) maruz bırakılan mermerlerin fiziko-mekanik özelliklerinde (ağırlık kaybı, ağırlıkça-hacimce su emme ve nokta yüklenme dayanımı) meydana gelen değişimleri belirleyebilmek için laboratuvar ortamında termal döngüler oluşturulmuştur. Alacakaya Mermer A.Ş fabrikası tarafından temin edilen  $3 \times 40 \times 60$  cm plakalar, nokta yüklenme dayanımı test numunesi ( $3 \times 4 \times 4$  cm) hazırlama işlemlerinde taş kesme testeresi kullanılarak her bir kaya türünden 30'ar adet olmak üzere toplam 60 adet numune deney için hazırlanmıştır. Termal işlemlerin mermerlerin fiziko-mekanik özelliklerine etkisini belirlemek için numuneler üç guruba ayrıldı. Birinci grup numuneler herhangi bir termal işleme maruz bırakılmadan, ikincisi havada soğutulmuş ve son grup ise suda ani soğutulmuş deneysel işleme tabi bırakıldı. Ani suda soğuma işlemi için [TS EN](#)

14066'da belirtilen standart dikkate alınmıştır. Bu standarda göre numuneler  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 18 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığındaki saf su içerisine 6 saat süreyle bırakılarak termal döngü işlemine tutulmuştur. Bu işlem 20 kez tekrarlandıktan sonra numunelerin ağırlık kayıpları (w), ağırlıkça su emme (Aw) ve hacimce su emme değerleri (Hw) değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra dayanım deneyi olan nokta yüklenme indeks değerleri tayin edilmiştir. Havada soğuma muamelesi için ise [Lam dos Santos vd., 2011](#)'de belirtilen yöntemle göre yapılmıştır. Numuneler ilk olarak  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 18 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığına alınarak 6 saat süreyle soğumaya bırakılmıştır. 20 döngü sonunda öncelikli olarak yıkıcı olmayan testler (ağırlık kaybı, ağırlıkça ve hacimce su emme) belirlendikten sonra nokta yüklenme dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan numuneler ve ekipmanlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. a) Deneysel numuneleri, b) Nokta yüklenme test cihazı, c) Etüv, d) Termal işlemler

## 2.3. Fiziksel ve mekanik testler

Termal döngüye başlamadan önce kuru ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri belirlenmiştir. Daha sonra termal döngüye tabii

tutulmuştur. Döngüler tamamlandıktan sonra, mermerlerin termal işlem sonrası ağırlık kayıplarını tayin etmek için  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 24 saat süreyle kurutulmuş ve son kütle değerleri tespit edilmiştir. Başlangıçtaki ağırlık ile döngülerin

sonundaki ağırlık değerleri arasındaki kayıp yüzdesel olarak hesaplanarak ağırlık kaybı olarak kaydedilmiştir. Termal işlemler sonunda ağırlık kayıpları Eşitlik 1'deki formül ile hesaplanmıştır.

$$w = \frac{ms - mi}{mi} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

w: Ağırlık kaybı (%)

ms: Döngülerin sonundaki numunelerin kütlesi (gr)

mi: Döngüler öncesindeki numunelerin kütlesi (gr)

Mermerlerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri ise TS 699'da belirtilen standarda göre tayin edildi. Bu amaçla, termal işlemler tamamlandıktan sonra numunelerin kuru ve doymun ağırlıkları ve hacimleri tespit edildi. Termal işlemler sonunda mermerlerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri Eşitlik 2-3'teki formül ile hesaplanmıştır.

$$Aw = \frac{md - mk}{mk} \times 100 \quad (2)$$

$$Hw = \frac{md - mk}{V} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

Aw: Ağırlıkça su emme (%)

Hw: Ağırlıkça su emme (%)

md: Döngülerin sonundaki numunelerin doymun kütlesi (gr)

mk: Döngüler öncesindeki numunelerin kuru kütlesi (gr)

V: Hacim (cm<sup>3</sup>)

Mermerlerin nokta yükleme dayanım değerleri ISRM 2007'de belirtilen standarda göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, her bir muamele ve kaya türü için 10 adet numune nokta yükleme testine tabii tutulmuştur. Mermerlerin nokta yük dayanım değerleri Eşitlik 4-7'deki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Is = \frac{F}{De^2} \quad (4)$$

$$De^2 = 4A/\pi \quad (5)$$

$$F = (De/50)^{0.45} \quad (6)$$

$$Is_{(50)} = F \times Is \quad (7)$$

Burada;

Is: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa)

De: Eşdeğer numune boyutu (mm)

A: konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğe ait en küçük kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

F: Düzeltme faktörü

Is<sub>(50)</sub>: Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi (MPa)

### 3. Bulgular ve tartışma

Elazığ vişne ve petrol yeşili mermerlerinin termal döngüler sonrası ağırlık kayıpları (w), ağırlıkça su emme (Aw), hacimce su emme (Hw) ve nokta yükleme dayanımı (Is<sub>(50)</sub>) değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3. incelendiğinde termal döngüler sonrası Elazığ vişnenin petrol yeşili mermerine nazaran daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Herhangi bir döngüsel işleme tabii bırakılmamış nokta yükleme dayanım değerleriyle kıyaslandığında, Elazığ vişne mermeri havada soğuma muamelesi sonrasında %9.18 iken petrol yeşili mermeri %15.59, suda ani soğuma muamelesi sonrasında Elazığ vişne mermeri %17.86 ve petrol yeşili mermeri %27.32 dayanım düşüşü belirlenmiştir. Mermerlerin ağırlık kaybı, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri incelendiğinde ise Hazar petrol yeşili mermerindeki artış Elazığ vişne mermerine nazaran daha fazla olduğu görülmüştür. Tablo 3. genel olarak incelendiğinde, ağırlık kayıpları, ağırlıkça-hacimce su emme değerleri artıka nokta yükleme dayanım değerlerinde düşüşler söz konusudur. Bunun ana nedeni ise, termal işlemler sonucunda mermerlerin bünyesinde bulunan mikro yapıli çatlak veya gözeneklerin makro boyuta ulaşması veya yeni mikro ya da makro çatlakların meydana gelmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu varsayımın nedeni ise porozite ve su emme değerlerindeki artışa bağlı olduğu söylenebilir.

### 4. Tartışma ve sonuçlar

Nokta yükleme dayanım deneyi, ucuz, pratik, taşınabilir, numune hazırlama kolaylığı hem laboratuvar hem de arazi koşullarında yapılabilir olması, kayaçların tek eksenli basma ve çekme dayanım değerlerini dolaylı olarak tahmininde kullanılması avantajları nedeniyle oldukça tercih edilen bir testtir. Bu çalışma Elazığ bölgesine ait iki farklı mermerin termal döngüler sonrası ağırlık kaybı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme ve nokta yükleme dayanım değerlerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Termal işlemler sonrası numunelerin fiziko-mekanik özellikleri

No	Kuru halde			Termal yaşlandırma sonrası				Termal şok sonrası				
	Aw (%)	Hw (%)	Is <sub>(50)</sub> (MPa)	w (%)	Aw (%)	Hw (%)	Is <sub>(50)</sub> (MPa)	w (%)	Aw (%)	Hw (%)	Is <sub>(50)</sub> (MPa)	
Vişne mermeri	1	0.324	0.882	6.17	0.136	0.469	1.295	5.37	0.248	0.758	1.980	4.92
	2	0.341	0.913	5.99	0.147	0.478	1.298	5.49	0.237	0.744	1.887	5.04
	3	0.338	0.891	6.11	0.142	0.471	1.291	5.48	0.238	0.741	1.887	5.08
	4	0.351	0.927	5.82	0.156	0.489	1.381	5.27	0.251	0.779	2.078	4.79
	5	0.348	0.912	5.87	0.159	0.491	1.395	5.18	0.239	0.742	1.890	4.91
	6	0.339	0.894	5.93	0.147	0.477	1.297	5.38	0.238	0.739	1.885	4.97
	7	0.358	0.928	5.74	0.138	0.468	1.292	5.41	0.241	0.743	1.892	4.91
	8	0.332	0.885	6.09	0.132	0.458	1.184	5.72	0.246	0.752	1.974	4.89
	9	0.327	0.884	6.12	0.144	0.473	1.291	5.54	0.249	0.763	1.997	4.85
	10	0.333	0.885	6.07	0.139	0.469	1.297	5.58	0.252	0.771	2.058	4.79
Ort.	<b>0.339</b>	<b>0.900</b>	<b>5.99</b>	<b>0.14</b>	<b>0.474</b>	<b>1.302</b>	<b>5.44</b>	<b>0.24</b>	<b>0.753</b>	<b>1.953</b>	<b>4.92</b>	
Petrol yeşili	1	0.689	2.518	5.71	0.175	1.115	2.971	4.89	0.381	1.551	3.902	4.09
	2	0.691	2.521	5.78	0.187	1.118	2.973	4.77	0.388	1.548	3.981	4.05
	3	0.683	2.507	5.87	0.181	1.111	2.969	4.99	0.386	1.537	3.965	4.08
	4	0.701	2.523	5.55	0.232	1.201	3.001	4.56	0.381	1.567	3.917	4.14
	5	0.699	2.522	5.57	0.231	1.215	3.012	4.58	0.384	1.541	3.943	4.11
	6	0.680	2.506	5.73	0.191	1.117	2.972	4.71	0.372	1.431	3.858	4.26
	7	0.679	2.506	5.91	0.182	1.112	2.971	4.77	0.378	1.502	3.889	4.11
	8	0.677	2.501	5.89	0.177	1.004	2.967	5.01	0.371	1.425	3.851	4.27
	9	0.702	2.523	5.43	0.186	1.116	2.971	4.97	0.382	1.527	3.901	4.09
	10	0.693	2.521	5.67	0.184	1.112	2.969	4.99	0.377	1.505	3.874	4.27
Ort.	<b>0.689</b>	<b>2.515</b>	<b>5.71</b>	<b>0.19</b>	<b>1.122</b>	<b>2.978</b>	<b>4.82</b>	<b>0.38</b>	<b>1.513</b>	<b>3.908</b>	<b>4.15</b>	

- Termal ısınma ve farklı soğuma (havada ve suda) döngülerine maruz kalan her iki mermer için dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. Fakat suda ani şok ile soğuyan numuneler, havada soğumaya bırakılanlara nazaran daha fazla tahribata uğramışlardır.
- Fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimler kıyaslandığında, Elazığ vişne mermerinin termal işlemler sonrasında petrol yeşili mermerine nazaran daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Petrol yeşili mermerinin termal döngüler sonrasında dayanım kaybının daha fazla olmasının nedeni porozite ve su emme değerlerindeki artışa bağlı olduğu düşünülmektedir.
- Başlangıçtaki nokta yükleme dayanımı değeri baz alındığında, Elazığ vişne mermerinin havada soğuma döngüleri sonrasında %9.18, Hazar petrol yeşili mermerinin ise %15.59 dayanım kaybı söz konusudur.
- Ani soğuma döngüleri sonrasında Elazığ vişne mermeri başlangıç nokta yükleme dayanımı

değerinin %17.86'sını, Hazar petrol yeşili mermeri ise %27.32'sini kaybetmiştir.

- Suda ani şok ile soğuyan numunelerin ağırlık kaybı, ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerindeki artış havada soğuyanlara nazaran daha fazladır. Bu artışın Hazar petrol yeşili mermerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen deneysel verilere dayanarak, her iki mermerinde özellikle suda ani şok ile soğuma döngüsüne maruz kalmayacak ortamlarda kullanılmasının daha uygun olduğu görülmektedir. Mermerler, 20 döngü sonunda %17-27 arasında dayanım kaybı yaşamıştır. Döngü sayısındaki artışa bağlı olarak bu kaybın miktarında artış kaçınılmaz olacaktır. Böylesi termal döngülere maruz kalınabilecek ortamlarda kullanılan mermerlerin dayanım testlerine ek olarak termal etkileri içeren dayanım kaybı değerlerinin bilinmesinde fayda vardır. Aksi takdirde, beklenen ömründen ziyade daha erken zamanda yıpranmalar meydana gelir ve yenileme çalışmaları yapılması halinde ek maliyet oluşturabileceği anlamına gelmektedir.



**Kaynaklar**

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N. ve Demirdağ, S. (2012). Donma-çözülme ve termal şok koşullarının bazı mermerler üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *MERSEM'2012 Uluslararası 8. Mermer ve Doğaltaş Kongresi* (ss.215-226). Afyon.
- Cantisani, E., Pecchioni, E., Fratini, F., Garzonio, C.A., Malesani, P. ve Molli, G. (2009). Thermal stress in the Apuan marbles: Relationship between microstructure and petrophysical characteristics. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.06.005>
- Careddu, N. ve Marras, G. (2013). The effects of solar UV radiation on the gloss values of polished stone surfaces. *Construction and Building Materials*, 49, 828-834. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.010>
- Chen, T.C., Yeung, M.R. ve Mori, N. (2004). Effect of water saturation on deterioration of welded tuff due to freeze-thaw action. *Cold Regions Science and Technology*, 38, 127-36. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2003.10.001>
- Demiroğlu, İ. (2018). *Alacakaya ilçesi (Elazığ) ve yakın çevresinin yeraltı kaynakları ve bunların kullanım durumu*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ersoy, H., Atalar, C., Sünnetci, M.O., Kolaylı, H., Karahan, M. ve Ersoy, A.F. (2021). Assessment of damage on geo-mechanical and micro-structural properties of weak calcareous rocks exposed to fires using thermal treatment coefficient. *Engineering Geology*, 284(2021), 106046. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106046>
- Ersoy, H., Karahan, M., Kolaylı, H. ve Sünnetci, M.O. (2021b). Influence of mineralogical and micro-structural changes on the physical and strength properties of post-thermal-treatment clayey rocks. *Rock Mechanics And Rock Engineering*, 54, 679-694. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02282-1>
- Koca, M.Y., Ozden, G., Yavuz, A.B., Kincal, C., Onargan, T. ve Kucuk, K. (2006). Changes in the engineering properties of marble in fire-exposed columns. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 520-530. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.09.007>
- Lam dos Santos, J.P., Rosa, L.G. ve Amaral P.M. (2011). Temperature effects on mechanical behavior of engineered Stones. *Construction and Building Materials*, 25, 171-174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.042>
- Mutlutürk, M., Altindag, R. ve Türk, G. (2004). A decay function model for the integrity loss of rock when subjected to recurrent cycles of freezing-thawing and heating-cooling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 237-244. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(03\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00095-9)
- Özgülven, A. ve Özcelik, Y. (2014). Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. *Engineering Geology*, 83, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.10.006>
- Royer-Carfagni, G.F. (1999). On the thermal degradation of marble. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 119-126.
- Sarıcı, D.E. ve Özdemir E. (2017). Determination of effects of thermal changes on color and surface roughness at marbles. *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 38(1), 57-70.
- Sousa, L.M.O., Suarez del Rio, L.M., Calleja, L., Ruiz de Argondona, V.G. ve Rey, A.R. (2005). Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, 77, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.001>
- TS 6809. (2012). *Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini*. TSE. Ankara.
- TS 699. (2009). *Tabii yapı taşları-muayene ve deney metotları*. TSE. Ankara.
- TS EN 14066. (2004). *Doğal taşlar-deney metotları termal şok etkisiyle yıpranmaya direncin tayini*. TSE. Ankara.
- TS EN 1926. (2007). *Doğal Taşlar-Deney Metotları-Basınç Dayanımı Tayini*. TSE. Ankara.
- TS EN 1936. (2010). *Doğal taşlar-deney metotları gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk toplam ve açık gözeneklilik tayini*. TSE. Ankara.
- Türkmenoğlu Z. F., Özvan A., Erdeve Özvan E., Türkmenoğlu M., Akkaya İ., Varol O. O., Tapan M. ve Kahraman E. (2020). Yüksek Sıcaklığın Doğal Taşların Petrografik, Parlaklık ve Pürüzlülük Özelliklerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 937-947. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.868785>

- Uysal, M. (2018). The use of waste maroon marble powder and ironoxide pigment in the production of coloured self-compacting concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1-10 <https://doi.org/10.1155/2018/8093576>
- Vázquez, P., Luque, A., Alonso, F.J. ve Carlota M.G. (2012). Surface changes on crystalline stones due to salt crystallisation. *Environ Earth Science*, 69, 1237–1248. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2003-6>
- Yavuz, H. (2011). Effect of freeze–thaw and thermal shock weathering on the physical and mechanical properties of an andesite stone. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 187–192. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0302-2>
- Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I. ve Sengun, N. (2006). Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 767–775. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.12.004>

## Smarandache curves of Anti-Salkowski curve according to the spherical indicatrix curve of the unit darboux vector

*Anti-Salkowski eğrisinin birim darboux vektöründen elde edilen smarandache eğrileri*

Süleyman ŞENYURT<sup>\*1,a</sup>, Melek UZUN<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Ordu University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 52200, Ordu-Turkey

• Geliş tarihi / Received: 26.04.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2021

### Abstract

In this paper, we have defined special Smarandache curves according to Sabban frame formed by the unit Darboux vector of Anti-Salkowski curve. Next, the Sabban frame belonging to these curves have been constituted. Last, the geodesic curvatures of these Smarandache curves have been calculated and an example for each curve has been illustrated.

**Keywords:** Anti-Salkowski curve, Sabban frame, Smarandache curves, Unit darboux vector

### Öz

*Bu çalışmada, Sabban çatısına göre anti-Salkowski eğrisinin birim Darboux vektörlerinden elde edilen özel Smarandache eğrileri tanımlandı. Daha sonra her bir Smarandache eğrisinin Sabban çatısı oluşturuldu. Son olarak bu Smarandache eğrilerinin geodezik eğrilikleri hesaplandı ve her bir eğriye ait grafikler çizildi.*

**Anahtar kelimeler:** Anti-Salkowski eğrisi, Saban çatısı, Smarandache eğrisi, Birim darboux vektörü

<sup>\*a</sup> Süleyman ŞENYURT; senyurtsuleyman52@gmail.com; Tel: (0452) 2265200; orcid.org/0000-0003-1097-5541

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1598-1345

**1. Introduction**

In 1909, Erich Salkowski defined curve families with non-constant  $\tau$  and constant curvature  $K$  in (Salkowski, 1909). Later J. Monterde constructed a method for closed curves and the properties of Salkowski and anti-Salkowski curve used in (Monterde, 2008). In 1990, the geodesic curve of a spherical curve is calculated by J. Koenderink with the Sabban frame of the spherical indicatrix curves in (Koenderink, 1990).

Then the Smarandache curves obtained from Sabban frame are defined and geodesic curvatures of these curves are given in (Gür and Şenyurt,2010; Şenyurt and Öztürk, 2018a,b; Uzun and Şenyurt, 2020).

In this study, Smarandache curves are defined according to the Sabban frames belonging to the spherical indicatrix curves of each of the  $\{T, N, B\}$ , Frenet vectors of the anti-Salkowski curve. The geodesic curvatures of these curves are then calculated.

**2. Materials and methods**

Let  $\alpha : I \rightarrow E^3$  be a unit speed curve, we defined the quantities of the Frenet apparatus and Frenet formulae, respectively (Sabuncuoğlu, 2006),

$$C_\alpha = \sin(\theta)T_\alpha + \cos(\theta)B_\alpha, \quad \cos(\theta) = \frac{\kappa_\alpha}{\sqrt{\kappa_\alpha^2 + \tau_\alpha^2}}, \quad \sin(\theta) = \frac{\tau_\alpha}{\sqrt{\kappa_\alpha^2 + \tau_\alpha^2}} \tag{1}$$

where  $\sphericalangle(B, W) = \theta$  (Fenchel, 1951).

Let  $\gamma : I \rightarrow S^2$  be a unit speed spherical curve. We denote  $s$  as the arc-length parameter of  $\gamma$ . Let us denote by

$$\gamma(s) = \gamma(s), \quad t(s) = \gamma'(s), \quad d(s) = \gamma(s) \wedge t(s) \tag{2}$$

$\{\gamma(s), t(s), d(s)\}$  frame is called the Sabban frame of  $\gamma$  on  $S^2$ . Then we have the following spherical Frenet formulae of  $\gamma$

$$\gamma'(s) = t(s), \quad t'(s) = -\gamma(s) + \kappa_g^\gamma(s)d(s), \quad d'(s) = -\kappa_g^\gamma(s)t(s) \tag{3}$$

where  $\kappa_g$  is called the geodesic curvature of the curve  $\gamma$  on  $S^2$  which is

$$\kappa_g^\gamma(s) = \langle t'(s), d(s) \rangle \text{ (Koenderink,1990).}$$

$$T_\alpha = \alpha', \quad N_\alpha = \frac{\alpha''}{\|\alpha''\|}, \quad B_\alpha = T_\alpha \wedge N_\alpha$$

$$T'_\alpha = \kappa_\alpha N_\alpha, \quad N'_\alpha = -\kappa_\alpha T_\alpha + \tau_\alpha B_\alpha, \quad B'_\alpha = -\tau_\alpha N_\alpha.$$

If the Frenet vectors are computed as arbitrary parameter, we can write

$$T_\alpha = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \quad N_\alpha = T_\alpha \wedge B_\alpha, \quad B_\alpha = \frac{\alpha' \wedge \alpha''}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|},$$

$$\kappa_\alpha = \frac{\|\alpha' \wedge \alpha''\|}{\|\alpha'\|^3}, \quad \tau_\alpha = \frac{\det(\alpha', \alpha'', \alpha''')}{\|\alpha' \wedge \alpha''\|^2},$$

(Sabuncuoğlu, 2006). The Frenet–Serret axis system, moving with the point, has an angular velocity. Dividing this by the (signed) point speed, that is, taking the derivative of the angular position of the axis system with respect to the path position, gives the Darboux vector,  $W_\alpha$  which is given in value by

$$W_\alpha = \tau_\alpha T_\alpha + \kappa_\alpha B_\alpha.$$

The unit Darboux vector is

**Definition 2.1** (Anti-Salkowski curve) For any  $m \neq \pm \frac{1}{\sqrt{3}}, 0$  with  $n = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}, m \in \mathbb{R}$ , let us define the space curve

$$\beta_m(t) = \begin{pmatrix} \frac{n}{2(4n^2-1)m} (n(1-4n^2+3\cos(2nt))\cos(t) + (2n^2+1)\sin(t)\sin(2nt)), \\ \frac{n}{2(4n^2-1)m} (n(1-4n^2+3\cos(2nt))\sin(t) - (2n^2+1)\cos(t)\sin(2nt)), \\ \frac{n^2-1}{4n} (2nt + \sin(2nt)) \end{pmatrix} \tag{4}$$

(Salkowski,1909). Frenet apparatus are

$$\begin{cases} T = -\left( \cos(t)\sin(nt) - n\sin(t)\cos(nt), \sin(t)\sin(nt) + n\cos(t)\cos(nt), \frac{n}{m}\cos(nt) \right) \\ N = n\left( \frac{\sin(t)}{m}, -\frac{\cos(t)}{m}, 1 \right) \\ B = \left( -\cos(t)\cos(nt) - n\sin(t)\sin(nt), -\sin(t)\cos(nt) + n\cos(t)\sin(nt), \frac{n}{m}\sin(nt) \right) \\ \kappa = \tan(nt), \tau = 1, \|\beta'_m(t)\| = \frac{\cos(nt)}{\sqrt{1+m^2}} \end{cases} \tag{5}$$

(Monterde, 2008).

### 3. Results and discussion

If we take  $\kappa = \tan(nt)$  and  $\tau = 1$ , from the equation (1) we can write

$$\begin{aligned} C(t) &= \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} T + \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} B \\ &= \frac{1}{\sqrt{\tan^2(nt) + 1}} T + \frac{\tan(nt)}{\sqrt{\tan^2(nt) + 1}} B \end{aligned}$$

$$C(t) = \cos(nt)T + \sin(nt)B. \tag{6}$$

(6) using the equation (5), we get

$$C(t) = \begin{pmatrix} -2\sin(nt)\cos(nt)\cos(t) + n\sin(t)\cos(2nt), \\ -2\sin(nt)\cos(nt)\sin(t) - n\cos(t)\cos(2nt), -\frac{n}{m}\cos(2nt) \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Let  $S^2$  be a unit sphere in Euclidean 3-space and suppose that the unit speed regular curve  $\alpha_C(t) = C(t)$  lying fully on  $S^2$ . Differentiating the equation (6), with respect to  $S$ , we have

$$\frac{d\alpha_C(s)}{ds} \frac{ds}{dt} = -n\sin(nt)T + \cos(nt)T' + n\cos(nt)B + \sin(nt)B'$$

$$T_C \frac{ds}{dt} = n(-\sin(nt)T + \cos(nt)B)$$

where  $\frac{ds}{dt} = n$ . Thus, the tangent vector of curve  $\alpha_C$  is to be

$$T_C = -\sin(nt)T + \cos(nt)B. \tag{8}$$

From the equation (5), we can write

$$T_C = \left( \begin{array}{l} -\cos(t)\cos(2nt) - 2n\sin(nt)\sin(t)\cos(nt), \\ -\sin(t)\cos(2nt) + 2n\cos(t)\cos(nt)\sin(nt), \frac{2n}{m}\cos(nt)\sin(nt) \end{array} \right). \tag{9}$$

Differentiating the equation (8) with respect to  $s$ , we get

$$T_C' = -\cos(nt)T - \frac{\sec(nt)}{n}N - \sin(nt)B. \tag{10}$$

Considering the equations (6) and (8), it easily seen that

$$C \wedge T_C = -N = -n \left( \frac{\sin(t)}{m}, -\frac{\cos(t)}{m}, 1 \right) \tag{11}$$

From the equation (10) and (11), the geodesic curvature of  $\alpha_C$  is

$$\begin{aligned} K_g &= \langle T_C', C \wedge T_C \rangle, \\ K_g &= \left\langle -\cos(nt)T - \frac{\sec(nt)}{n}N - \sin(nt)B, -N \right\rangle \\ K_g &= \frac{\sec(nt)}{n}. \end{aligned} \tag{12}$$

Let  $\alpha_C(t) = C(t)$  be a unit speed spherical curve. We denote  $s$  as the arc-length parameter of  $\alpha_C$ . Let us denote by  $C = C(t)$ ,  $T_C = C'(t)$ ,  $C \wedge T_C = C(t) \wedge T_C(t)$ .  $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$  from is called Sabban frame of  $\alpha_C$  on unit sphere. Then equation (3) we have following spherical Sabban formulae of  $\alpha_C$  curve

$$C' = T_C, \quad T_C' = -C + \kappa_g(C \wedge T_C), \quad (C \wedge T_C)' = -\kappa_g T_C, \tag{13}$$

$$C' = T_C, \quad T_C' = -C + \frac{\sec(nt)}{n}(C \wedge T_C), \quad (C \wedge T_C)' = -\frac{\sec(nt)}{n}T_C, \tag{14}$$



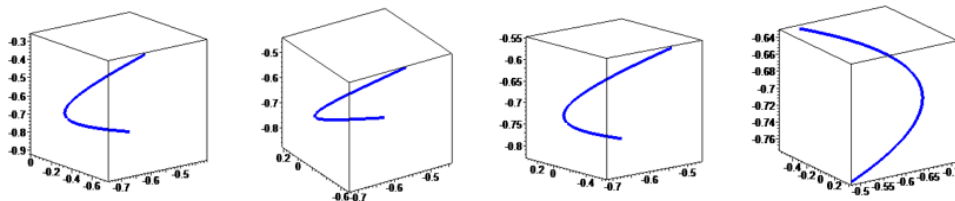
$$\begin{cases} C' = -\sin(nt)T + \cos(nt)B, \\ T_C' = -\cos(nt)T - \frac{\sec(nt)}{n}N - \sin(nt)B, \\ (C \wedge T_C)' = \frac{1}{n}(\tan(nt)T - B). \end{cases} \tag{15}$$

**Definition 3.1.** Let  $\alpha_c(t) = C(t)$  be an anti-Salkowski indicatrix curve and  $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$  be the Sabban frame of this curve. Then  $\beta_1(t)$ -Smarandache curve is given by

$$\beta_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(C + T_C). \tag{16}$$

Substituting  $C$  and  $T_C$  vectors into the equations (7) and (9), we get the curve  $\beta_1(t)$  as follow (Figure 1.):

$$\beta_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos(2nt)(n \sin(t) - \cos(t)) - 2 \sin(nt) \cos(nt)(\cos(t) + n \sin(t)), \\ -\cos(2nt)(n \cos(t) + \sin(t)) + 2 \sin(nt) \cos(nt)(-\sin(t) + n \cos(t)), \\ \frac{n}{m}(2 \sin(nt) \cos(nt) - \cos(2nt)) \end{pmatrix} \tag{17}$$



**Figure 1.**  $\beta_1(t)$ -Smarandache curves for  $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ , respectively.

**Theorem 3.1.** The geodesic curvature  $K_g^{\beta_1}$  according to  $\beta_1(t)$ -Smarandache curve is

$$K_g^{\beta_1} = \frac{\sqrt{2}(\sec(nt) + 4n^2 \cos(nt) + 4n^4 \cos^3(nt) + 2n^5 \cos^2(nt) \sin(nt) + n^3 \sin(nt))}{\cos^2(nt)(2n^2 \cos^2(nt) + 1)\sqrt{(2n^2 + \sec^2(nt))}} \tag{18}$$

**Proof:** Differentiating the equation (16), with respect to  $s$ , we have

$$\frac{d\beta_1}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}}(C' + T_C'),$$

$$T_{\beta_1} \frac{ds}{dt} = \frac{-C + T_C + K_g(C \wedge T_C)}{\sqrt{2}},$$

$$T_{\beta_1} = \frac{-C + T_C + K_g (C \wedge T_C)}{\sqrt{2 + K_g^2}} \tag{19}$$

where  $\frac{ds}{dt} = \frac{\sqrt{2 + K_g^2}}{\sqrt{2}}$ . If again derivative is taken, we get

$$T'_{\beta_1} \frac{ds}{dt} = \frac{(-C + T_C + K_g (C \wedge T_C))' \sqrt{2 + K_g^2} - (\sqrt{2 + K_g^2})' (-C + T_C + K_g (C \wedge T_C))}{2 + K_g^2},$$

$$T'_{\beta_1} = \frac{\sqrt{2} \left( (-2 - K_g^2 + K_g K'_g) C - (2 + K_g^4 + 3K_g^2 + K_g K'_g) T_C + (2K_g + K_g^3 + 2K'_g) (C \wedge T_C) \right)}{(2 + K_g^2)^2} \tag{20}$$

Using the equations (6) and (19), we easily find

$$C \wedge T_{\beta_1} = \frac{-K_g T_C + C \wedge T_C}{\sqrt{2 + K_g^2}}. \tag{21}$$

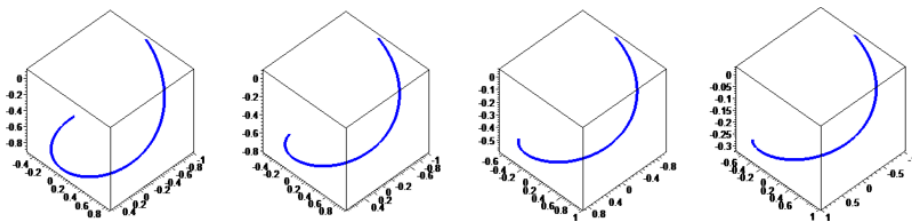
From the equation (12), (20) and (21), the geodesic curvature of  $\beta_1(t)$  is completed.

**Definition 3.2.** Let  $\alpha_c(t) = C(t)$  be an anti-Salkowski indicatrix curve and  $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$  be the Sabban frame of this curve. Then Smarandache curve is given by

$$\beta_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} (T_C(t) + (C \wedge T_C)(t)). \tag{22}$$

Substituting  $T_C$  and  $T_C$  vectors into the equations(9) and (11) we get the curve  $\beta_2(t)$  as follow (Figure 2.):

$$\beta_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -\cos(t)\cos(2nt) - 2n\sin(nt)\sin(t)\cos(nt) - \frac{n}{m}\sin(t), \\ -\sin(t)\cos(2nt) + 2n\cos(t)\cos(nt)\sin(nt) + \frac{n}{m}\cos(t), \frac{2n}{m}\cos(nt)\sin(nt) - n \end{pmatrix}. \tag{23}$$



**Figure 2.**  $\beta_2(t)$ -Smarandache curves for  $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ , respectively.

**Theorem 3.2.** The geodesic curvature  $K_g^{\beta_2}$  according to  $\beta_2(t)$  Smarandache curve is

$$K_g^{\beta_2} = \frac{4\sqrt{2}(\sec^5(nt) + n^2) + \sqrt{2}(2\sin(nt) + \cos^2(nt))}{\cos^3(nt)(n^2 + 2\sec^2(nt))^{\frac{5}{2}}} \tag{24}$$

**Proof:** If we take the derivative of (22) with respect to  $s$ , we have

$$\begin{aligned} \frac{d\beta_2}{ds} \frac{ds}{dt} &= \frac{1}{\sqrt{2}}(T'_C + (C \wedge T)'), \\ T_{\beta_1} \frac{ds}{dt} &= \frac{-C - \kappa_g T_C + \kappa_g (C \wedge T_C)}{\sqrt{2}}, \\ T_{\beta_1} &= \frac{-C - \kappa_g T_C + \kappa_g (C \wedge T_C)}{\sqrt{1 + 2\kappa_g^2}} \end{aligned} \tag{25}$$

where  $\frac{ds}{dt} = \frac{\sqrt{1 + 2K_g^2}}{\sqrt{2}}$ . If again derivative is taken, we get

$$\begin{aligned} \frac{dT_{\beta_1}}{ds} \frac{ds}{dt} &= \frac{(-C - \kappa_g T_C + \kappa_g (C \wedge T_C))' \sqrt{1 + 2\kappa_g^2} - (\sqrt{1 + 2\kappa_g^2})' (-C - \kappa_g T_C + \kappa_g (C \wedge T_C))}{1 + 2\kappa_g^2} \\ T'_{\beta_1} &= \frac{\sqrt{2}((2K_g^3 + K_g + 2K_g K'_g)C - (2K_g^4 + 3K_g^2 + K'_g + 1)T_C + (-2K_g^4 - K_g^2 + K'_g)(C \wedge T_C))}{(1 + 2K_g^2)^2} \end{aligned} \tag{26}$$

Using the equations (6) and (25), we easily find

$$C \wedge T_{\beta_2} = -\frac{K_g (T_C + C \wedge T)_C}{\sqrt{1 + 2K_g^2}}. \tag{27}$$

From the equation (12), (26) and (27), the geodesic curvature of  $\beta_2(t)$  is completed.

**Definiton 3.3.** Let  $\alpha_c(t) = C(t)$  be an anti-Salkowski indicatrix curve and  $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$  be the Sabban frame of this curve. Then Smarandache curve is given by

$$\beta_3(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(C(t) + (C \wedge T_C)(t)) \tag{28}$$

Substituting  $C$  and  $C \wedge T_C$  vectors into the equations (7) and (11), we get the curve  $\beta_3(t)$  as follow (Figure 3.):

$$\beta_3(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -2 \sin(nt) \cos(nt) \cos(t) + n \sin(t) \cos(2nt) - \frac{n}{m} \sin(t), \\ -2 \sin(nt) \cos(nt) \sin(t) - n \cos(t) \cos(2nt) + \frac{n}{m} \cos(t), -\frac{n}{m} \cos(2nt) - n \end{pmatrix}. \quad (29)$$

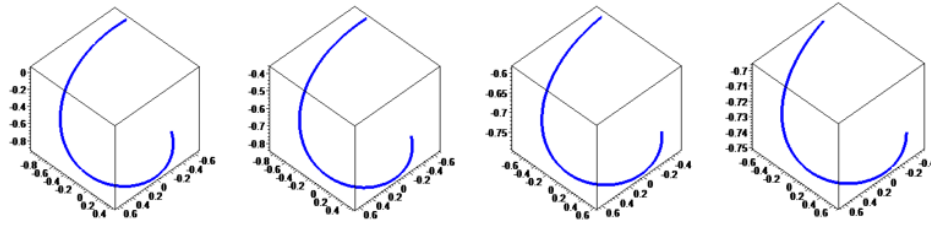


Figure 3.  $\beta_3(t)$ -Smarandache curves for  $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ , respectively.

**Theorem 3.3.** The geodesic curvature  $K_g^{\beta_3}$  according to  $\beta_3(t)$  Smarandache curve is

$$K_g^{\beta_3} = \frac{\sqrt{2} \sec(nt)}{n - \sec(nt)} \quad (30)$$

**Proof:** If we take the derivative of (28) with respect to  $S$ , we have

$$\frac{d\beta_3}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} (C' + (C \wedge T_C)'),$$

$$T_{\beta_3} \frac{ds}{dt} = \frac{1 - \kappa_g}{\sqrt{2}} T_C,$$

$$T_{\beta_1} = T_C \quad (31)$$

where  $\frac{ds}{dt} = \frac{1 - K_g}{\sqrt{2}}$ . If again derivative is taken, we get

$$T'_{\beta_3} = \frac{\sqrt{2} (-C + K_g C \wedge T_C)}{1 - K_g}. \quad (32)$$

Using the equations (6) and (32), we easily find

$$C \wedge T_{\beta_3} = C \wedge T_C. \quad (33)$$

From the equation (12), (32) and (33), the geodesic curvature of  $\beta_3(t)$  is completed.

**Definiton 3.4.** Let  $\alpha_c(t) = C(t)$  be an anti-Salkowski indicatrix curve and  $\{C, T_C, C \wedge T_C\}$  be the Sabban frame of this curve. Then Smarandache curve is given by

$$\beta_4(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} (C(t) + T_C(t) + (C \wedge T_C)(t)) \quad (34)$$

Substituting  $C$ ,  $T_C$  and  $C \wedge T_C$  vectors into the equations (7), (9) and (11) we get the curve  $\beta_4(t)$  as follow (Figure 4.):

$$\beta_4(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \cos(2nt)(n \sin(t) - \cos(t)) - 2 \sin(nt) \cos(nt) (\cos(t) + n \sin(t)) - \frac{n}{m} \sin(t), \\ -\cos(2nt)(n \cos(t) + \sin(t)) + 2 \sin(nt) \cos(nt) (-\sin(t) + n \cos(t)) + \frac{n}{m} \cos(t), \\ \frac{n}{m} (2 \sin(nt) \cos(nt) - \cos(2nt)) - n \end{pmatrix}. \tag{35}$$

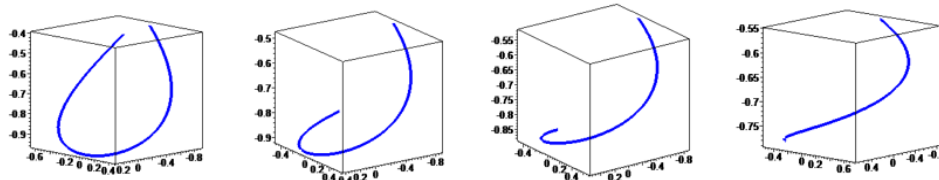


Figure 4.  $\beta_4(t)$ -Smarandache curves for  $m = \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ , respectively.

**Theorem 3.4.** The geodesic curvature  $K_g^{\beta_4}$  according to  $\beta_4(t)$  Smarandache curve is

$$K_g^{\beta_4} = \frac{\sqrt{6} (2 \sec^5(nt) - 4n \sec^4(nt) + 6n^2 \sec^3(nt) - 4n^3 \sec^2(nt) + 2n^4 \sec(nt))}{4(n^2 - n \sec(nt) + \sec^2(nt))^{\frac{5}{2}}} + \frac{\sqrt{6} (n^5 \tan(nt) (\sec^3(nt) - \sec^2(nt) + \sec(nt)))}{4(n^2 - n \sec(nt) + \sec^2(nt))^{\frac{5}{2}}} \tag{36}$$

**Proof:** If we take the derivative of (34) with respect to  $S$ , we have

$$\begin{aligned} \frac{d\beta_4}{ds} \frac{ds}{dt} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (C' + T_C' + (C \wedge T_C)'), \\ T_{\beta_4} \frac{ds}{dt} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (-C + (1 - K_g) T_C + K_g (C \wedge T_C)) \\ T_{\beta_4} &= \frac{1}{\sqrt{2 - 2K_g + 2K_g^2}} (-C + (1 - K_g) T_C(t) + K_g (C \wedge T_C)(t)) \end{aligned} \tag{37}$$

where  $\frac{ds}{dt} = \frac{\sqrt{2 - 2K_g + 2K_g^2}}{\sqrt{3}}$ . If again derivative is taken, we get

$$\frac{dT_{\beta_4}}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{(-C + (1 - K_g)T_C + K_g(C \wedge T_C))' \sqrt{2 - 2K_g + 2K_g^2}}{2 - 2K_g + 2K_g^2}$$

$$- \frac{(\sqrt{2 - 2K_g + 2K_g^2})' (-C + (1 - K_g)T_C + K_g(C \wedge T_C))}{2 - 2K_g + 2K_g^2}$$

$$T'_{\beta_4} \frac{ds}{dt} = \frac{2K_g^3 - 4K_g^2 + 2K_g K'_g - K'_g + 4K_g - 2}{2\sqrt{2}(1 - K_g + K_g^2)^{\frac{3}{2}}} C$$

$$+ \frac{-2K_g^4 + 2K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K'_g - K'_g + 2K_g - 2}{2\sqrt{2}(1 - K_g + K_g^2)^{\frac{3}{2}}} T_C$$

$$+ \frac{-2K_g^4 + 4K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K'_g + 2K'_g + 2K_g}{2\sqrt{2}(1 - K_g + K_g^2)^{\frac{3}{2}}} C \wedge T_C$$

$$T'_{\beta_4} = \frac{\sqrt{3}(2K_g^3 - 4K_g^2 + 2K_g K'_g - K'_g + 4K_g - 2)}{4(1 - K_g + K_g^2)^2} C$$

$$+ \frac{\sqrt{3}(-2K_g^4 + 2K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K'_g - K'_g + 2K_g - 2)}{4(1 - K_g + K_g^2)^2} T_C$$

$$+ \frac{\sqrt{3}(-2K_g^4 + 4K_g^3 - 4K_g^2 - K_g K'_g + 2K'_g + 2K_g)}{4(1 - K_g + K_g^2)^2} C \wedge T_C$$

Using the equations (6) and (36), we easily find

$$C \wedge T_{\beta_4} = \frac{-K_g T_C + (1 - K_g)(C \wedge T_C)}{\sqrt{2}\sqrt{1 - K_g + K_g^2}} \tag{38}$$

From the equation (12), (37) and (38), the geodesic curvature of  $\beta_4(t)$  is completed.

**References**

Fenchel, W. (1951). On the differential geometry of closed space curves. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 57, 44-54.

Gür, S. and Şenyurt, S. (2010). Frenet vectors and geodesic curvatures of spherical indicators of Salkowski curve in  $E^3$ . *Hadronic Journal*, 33(5), 485.

Koenderink, J. (1990). *Solid shape*. MIT Press, ISBN 978-0-262-11139-3, 715 p.

Monterde, J. (2009). Salkowski curves revisited: a family of curves with constant curvature and non-constant torsion *Computer Aided Geometric Design*, 26, 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2008.10.002>

Sabuncuoğlu, A. (2006). *Diferensiyel geometri*. Nobel yayınları 258, ISBN 975-591-237- 1, Ankara – Türkiye, 440s.



- Salkowski, E.L. (1909). Zur transformation von raumkurven. *Mathematisch Annalen*, 4(66), 517-557.
- Şenyurt, S. and Öztürk, B. (2018). Smarandache curves of Salkowski curve according to Frenet frame. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 10, 190-201.
- Şenyurt, S. and Öztürk, B. (2018). Smarandache curves of anti-Salkowski curve according to Frenet frame. *Proceedings of the International Conference on Mathematical Studies and Applications (ICMSA)*, October 2018, Karaman, Turkey, pp.132-143.
- Uzun, M. and Şenyurt, S. (2020). Smarandache curves according to Sabban frame generated by the spherical indicatrix curves of the unit darboux vector of Salkowski curve. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1966-1974. <https://doi.org/10.21597/jist.703495>

## Improved performance of CdS powder-based hybrid solar cells through surface modification

*Yüzey modifikasyonu yardımıyla CdS toz bazlı hibrit güneş pillerinde performans artışı*

Ahmet ÜNVERDİ<sup>1,a</sup>, Salih YILMAZ<sup>\*2,b</sup>, Murat TOMAKİN<sup>3,c</sup>, İsmail POLAT<sup>4,d</sup>, Emin BACAKSIZ<sup>5,e</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Faculty of Science, Istanbul University, Vezneciler, 34134, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, 01250, Adana, Turkey

<sup>3</sup> Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Recep Tayyip Erdogan University, Rize, Turkey

<sup>4</sup> Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

<sup>5</sup> Department of Physics, Faculty of Sciences, Karadeniz Technical University, 61080, Trabzon, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 12.03.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 23.08.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 02.10.2021

### Abstract

The effects of surface modification of CdS through organic Eosin-Y, indoline D205, and Ru-based complex N719 and N3 dyes on CdS-based hybrid solar cells were studied. Chemical bath deposition (CBD) and doctor blade methods were in turn employed to fabricate the CdS specimens on Indium-Tin Oxide (ITO) covered glass substrates. P3HT material with and without dye coatings was covered through a spin-coater on the surface of CdS specimens. Ag paste was then deposited on the surface of P3HT to obtain hybrid solar cells. Structural analysis indicated that CdS powders showed a cubic growth with the preferred orientation of (111). Morphological analysis demonstrated that CdS powders exhibited hierarchical morphology and the morphology turned to granular structure with some porosity upon deposition of both N3 dye and P3HT layers. Absorption plots indicated that Eosin-Y dye loading led to a rise in the absorbance values of CdS specimens. After dye loading, photoluminescence data of CdS-based heterostructure illustrated a decrement in the luminescence intensity, implying that effective exciton dissociation was obtained. Current density-voltage (J-V) characteristics of the hybrid solar cells depicted that the best overall efficiency was observed for Eosin-Y-modified cell as 0.135%. This proved that surface modification by Eosin-Y dye led to a better interfacial contact between CdS and P3HT bilayer due to the enhancement in the charge separation.

**Keywords:** CBD, CdS powder, Hybrid solar cells, P3HT, Surface modification

### Öz

*CdS-tabanlı hibrit güneş pillerinde, CdS'nin yüzey modifikasyon etkileri organik Eosin-Y, indolin D205 ve Ru bazlı N719 ve N3 boya ları vasıtasıyla incelendi. CdS örneklerini İndiyum-Kalay Oksit (ITO) kaplı cam altlıklar üzerinde büyütme için, sırasıyla kimyasal banyo çöktürme (CBD) ve doktor bıçak yöntemleri kullanıldı. Boya kaplamaları olan ve olmayan CdS örneklerinin yüzeyine P3HT materyali, spin kaplama (spin-coater) cihazı yardımıyla kaplandı. Devamında Ag pasta, hibrit güneş pillerini tamamlamak için P3HT yüzeyine çöktürüldü. Yapısal analiz, CdS tozlarının kübik yapıda ve (111) tercihli yönelime sahip olduğunu gösterdi. Morfolojik analiz, CdS tozlarının hiyerarşik morfolojide olduğunu ve morfolojinin hem N3 boyası hem de P3HT tabakasının çöktürülmesiyle birlikte taneli ve gözenekli yapıya döndüğünü gösterdi. Soğurma (absorbsiyon) grafikleri, Eosin-Y boya kaplamasının CdS örneklerinin soğurma değerinde bir artışa yol açtığını gösterdi. Boya kaplamasının, CdS tabanlı heteroyapının fotoluminesans şiddetinde azalma oluşturması, etkin bir eksiton ayrışması elde edildiğini ortaya koymaktadır. Hibrit güneş pillerinin akım yoğunluğu-voltaj (J-V) karakteristiklerinden, Eosin-Y modifikasyonlu güneş pilinin veriminin % 0,135 olarak en yüksek değerde olduğu tespit edildi. Bu durum, Eosin-Y boyası ile yapılan yüzey modifikasyonunun, yük ayrışmasında oluşturduğu iyileşmeden dolayı, CdS ve P3HT ikili yapısının arasında daha iyi bir ara yüzey teması sağladığını ispatlamaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** CBD, CdS tozu, Hibrit güneş pilleri, P3HT, Yüzey modifikasyonu

<sup>a</sup> Salih YILMAZ; slh\_yilmaz@yahoo.com.tr, Tel: (0322) 455 00 00 (2063), b orcid.org/0000-0002-3006-4473

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6144-1158

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-1887-848X

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-5134-0246

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0002-0041-273X

## 1. Introduction

A great interest has been gained on hybrid and organic solar cells for the use of photovoltaic applications over the last two decades due to their low charge mobility, simple deposition process and capacity for the low-cost electricity production as well as the continuous enhancement on their power conversion efficiency (PCE) values compared with the current inorganic semiconductor technology, based on energy with high-cost electricity production. As a result of combining by inorganic electron acceptor and organic electron donor layers, hybrid solar cells are formed. These solar cells merge flexibility of organic semiconductors with high electron mobility and excellent physical and chemical stability of inorganic-based ones (Cortina et al., Hu 2012; Kumar and Dutta, 2014). Various semiconductor nanoparticles such as CdSe (Greenham et al., 1997; Li et al., 2018), TiO<sub>2</sub> (Kang et al., 2018; Sun et al., 2014), PbS (Sonavane et al., 2018) and CdS (Kim et al., 2011; Yilmaz 2015) have been researched and among these, CdS nanostructures have demonstrated noticeable importance owing to their transport properties and high electron mobility (Yilmaz 2015). As an inorganic material, CdS is one of the most promising semiconductors due to its low resistivity, good photosensitivity, stability, moderate and direct band gap of 2.42 eV at room temperature (Xia et al., 2011). CdS powder can be produced through different methods such as electrostatic assisted aerosol jet deposition (EAAJD) method (Su et al., 2001), co-precipitation method (Liu et al., 2010), successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) (Ravichandran and Porkodi, 2018) and chemical bath deposition (CBD) technique (Yilmaz et al., 2019). Among these, CBD is a noncomplex method that provides low-cost production in a short time.

It is obvious that the impact of interfacial modification on the efficiency of hybrid solar cells is significant. Literature search shows that the population of reported studies on the surface or interfacial modification of CdS/P3HT hybrid solar cells is limited although there are plenty of works on ZnO (Ko et al., 2018; Pei et al., 2018; Tang et al., 2016) and TiO<sub>2</sub>-based hybrid solar cells (Lin et al., 2009; Xia et al., 2013). In this work, CdS powders were precipitated using CBD route. The obtained CdS powder was then used to attain a CdS paste and afterwards, this paste was synthesized by the doctor blade method on ITO coated glass slides. After the CdS samples were fabricated by doctor blade method, four different dyes which are N719 and N3 (Ru-based complex dyes), Eosin-Y

(organic dye) and D205 (indoline dye) were used as interfacial modification for CdS/P3HT heterostructures due to their improving character of the surface properties of CdS. A positive change in the chemical and physical properties of the surface of CdS is expected to be seen by obtaining further photocurrent with these dyes (Zhong et al., 2014).

## 2. Experimental procedure

### 2.1. Fabrication of CdS thin films

CdS powders were fabricated through CBD route first. Commercial cadmium chloride (CdCl<sub>2</sub>), thiourea (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S), ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl) salts, ammonium hydroxide (NH<sub>4</sub>OH) (Sigma-Aldrich Co.) and deionized water were used to prepare the essential solution. In the production process of CdS powders, 80 ml of 0.20 M thiourea and 80 ml of 0.08 M CdCl<sub>2</sub> were used as S<sup>2-</sup> and Cd<sup>2+</sup> origins, respectively. 80 ml of 0.20 M NH<sub>4</sub>Cl and 56 ml of NH<sub>4</sub>OH were employed as a complexing agent and buffer, respectively. After all solutions dissolved separately in the beakers, they were poured and mixed in a beaker and 4 ml of deionized water was added to form the final stock solution. The beaker was put in an ultrasonic bath and kept there 3 minutes to make sure that all materials were dissolved. The pH rate of the mixed solution was appeared as 11. Then, the beaker was put on a hot plate and the temperature was slowly increased to 75 °C and kept there until the solution fully evaporates. After the evaporation of solution, the CdS powders were obtained.

Commercial ITO substrates (7.5x5 cm<sup>2</sup>) were cut as 1.5x1.25 cm<sup>2</sup> and were in turn bathed ultrasonically dilute sulfuric acid, distilled water, and absolute ethyl alcohol as 10 minutes for each step and subsequently, the substrates were drained by flowing of dry nitrogen. Afterwards, the obtained CdS powders (0.4 g) were utilized to prepare a paste including 20 µl of acetyl acetone, 100 µl TX-100 and 8 ml deionized water. The prepared paste was stirred manually and constantly to get rid of bubbles. Then, the paste was deposited on ITO substrates by doctor blade method and the substrates were annealed at a temperature of 350 °C for 30 minutes on a hot plate to finalize CdS paste-based heterostructures.

### 2.2. Preparation of diverse dyes and surface modification

5 mM Eosin-Y and 0.3 mM D205 dye were dissolved in acetone and in a mixed solution of equimolar acetonitrile and tert-butyl alcohol,

respectively, while equimolar of 0.5 mM N719 and N3 dyes were dissolved in absolute ethyl alcohol. For each dye solution, CdS samples were immersed and kept there for 24 hours. After 24 hours, it was realized that the dye coatings on the surface of CdS thin films were deficient. Therefore, to overcome this issue, spin coating technique was utilized additionally for each dye to obtain well-coated dye on CdS specimens' surfaces. During spin coating process, the speed of rotation and the sum of repeats were set as 1000 rpm and 20 rounds; 1500 rpm and 15 rounds; 1000 rpm and 15 rounds; 1000 rpm and 10 rounds for Eosin-Y, D205, N3 and N719, respectively. Each coating step was applied for 1 min for each dye loading.

2.3. Production of CdS powder/P3HT hybrid solar cells

2 ml chlorobenzene was used as a solvent for 20 mg commercial P3HT material and the final solution was applied to each with and without dye-modified CdS-based heterostructures. This process was carried out by a spin-coater and the speed of rotation, sum of repeats and coating duration were set as 1000 rpm, 5 times and 1 minute, respectively. CdS/P3HT hybrid solar cells were finalized by employing Ag paste as back and front contacts with a contact area of  $8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ . The produced CdS samples (pristine, hybrid unmodified and surface modified through diverse dyes) were coded between D0–D5 after the fabrication processes were carried out and are stated in Table 1.

Table 1. Codes and names of the produced samples

Code	Sample
D0	ITO/CdS paste
D1	ITO/CdS paste/P3HT/Ag
D2	ITO/CdS paste/Eosin-Y/P3HT/Ag
D3	ITO/CdS paste/D205/P3HT/Ag
D4	ITO/CdS paste/N719/P3HT/Ag
D5	ITO/CdS paste/N3/P3HT/Ag

2.4. Characterization

The structural characterization of CdS specimens was carried out at room temperature by X-ray diffraction measurement (Rigaku SmartLab Unit) using  $\text{CuK}\alpha$  radiation with a step of  $0.01^\circ$  in the interval of  $20\text{--}60^\circ$ . Scanning electron microscopy (SEM, JEOL JSM 6610) was employed for the surface morphology of fabricated samples where energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS, Oxford Instruments) were used to analyze the elemental ingredients of the samples. To obtain absorption spectra measurements and optical

transmittance of specimens, UV-VIS spectrophotometer (SpectraMax M5) was employed in the wavelength between 400 and 1000 nm. To perform the photoluminescence (PL) analysis, Xenon flash lamb (Dongwoo Optron equipment) was employed at room temperature with a maximum capability of 450 W. PL measurements for CdS samples were carried out employing a 325 nm excitation wavelength, whereas a laser was used for the other samples with a 532 nm excitation wavelength. To measure the J (current density) – V (voltage) characteristics of produced CdS/P3HT hybrid solar cells, a source-meter (Keithley 2401) with a power output of  $93 \text{ mW/cm}^2$  was employed under a solar simulator (AM 1.5).

3. Results and discussion

Fig. 1 indicates the XRD curve of CdS powder. Reflection planes (111), (200), (220) and (311) show that CdS specimens have polycrystalline architecture that is assigned to cubic zincblende phase (JCPDS card no: 75-1546). Except for cubic CdS peaks, there seem few peaks that might be related to the ITO substrate. Also, it is observed from the literature studies that CdS samples, which were grown by chemical bath deposition (CBD), generally crystallize in cubic structure (Khallaf et al., 2008). The preferred orientation is along the (111) reflection plane and is quite strong. Lattice constant,  $a$  is determined from (111) plane and it is found to be 0.581 nm. The crystallite size (D) is calculated by Scherrer equation (Patterson, 1939) and it is found to be 16.3 nm, meaning that CdS powders exhibit nanocrystalline structure.

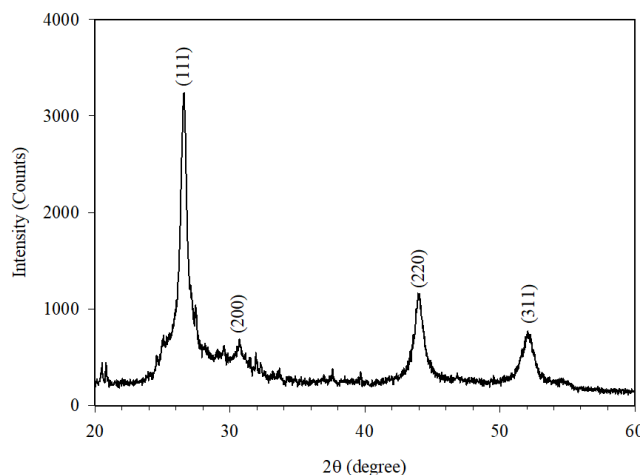
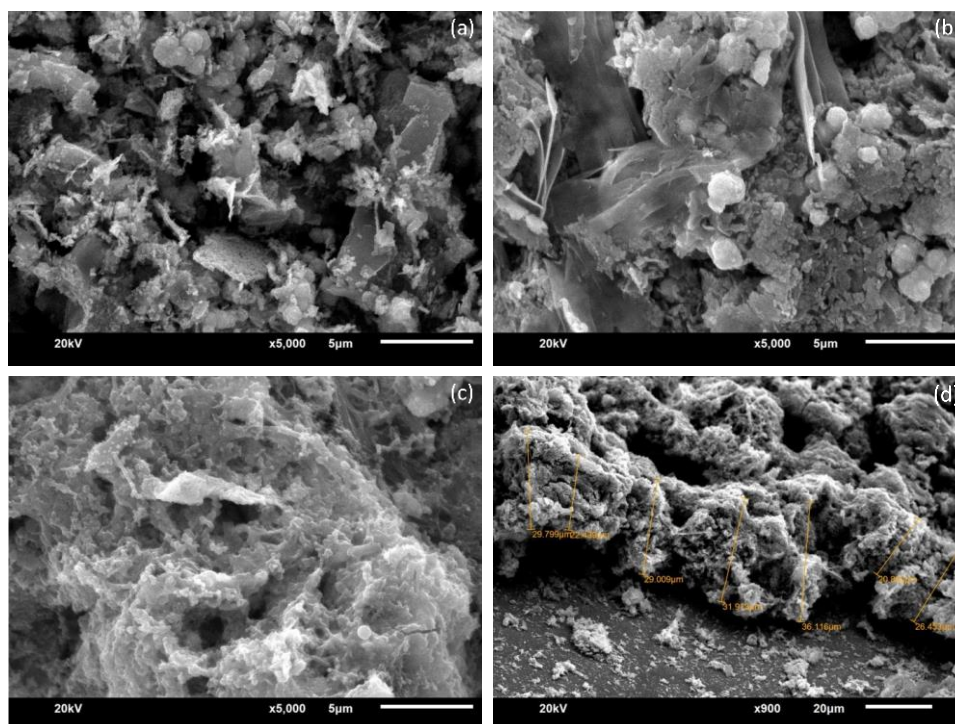


Figure 1. XRD curve of CdS powder

Fig. 2(a)-(c) show the SEM top view data of CdS powder, D1 and D4, respectively and Fig. 2(d) illustrates the cross-sectional view of D4. It is seen from Fig. 2(a) that CdS powders are formed in the hierarchical morphology with some voids. It is also appeared that CdS powders are composed of crystallites with a very small in size. Fig. 2(b) demonstrates that the voids in CdS powders are mostly filled by P3HT layer after the spin-coating of P3HT on the D0 structure while hierarchical morphology are almost preserved. Besides, a

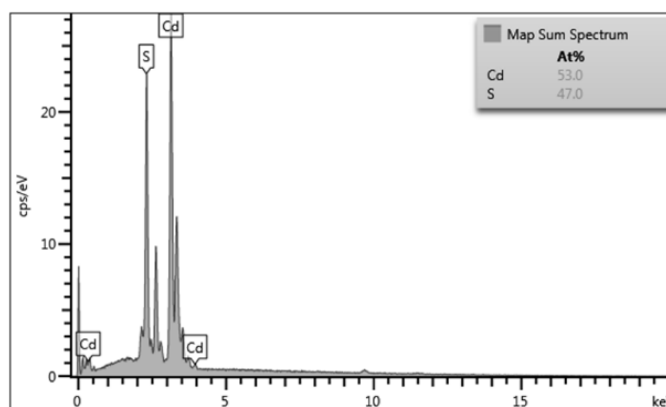
diverse surface morphology is gathered for D4. Fig. 2(c) shows a porous and granular morphology for P3HT thin film. This can be explained by the smoother P3HT thin film coating that is possible by N719 dye modification which is homogenizing the surface of CdS paste. However, P3HT surface is appeared to be rough. It is seen from Fig. 2(d) that the thickness of D4 heterostructure is about 28  $\mu\text{m}$ . High thickness value of the heterostructure is substantially due to the thickness of CdS paste. The other devices also showed similar thickness values.



**Figure 2.** SEM top view data of (a) CdS powder, (b) D1, (c) D4 and (d) shows the cross-sectional view of (c)

Fig. 3 depicts EDS survey spectrum of CdS powder. It is remarkable that there is no other ingredient except for Cd and S atoms in the spectrum. Also, Cd/S molar ratio which is about 1.13 can be seen from the inset of the figure.

However, nonstoichiometric CdS sample is occurred as a result of the creation of sulfur vacancies ( $V_S$ ) and cadmium interstitials ( $I_{Cd}$ ) defects (Yilmaz et al., 2019).

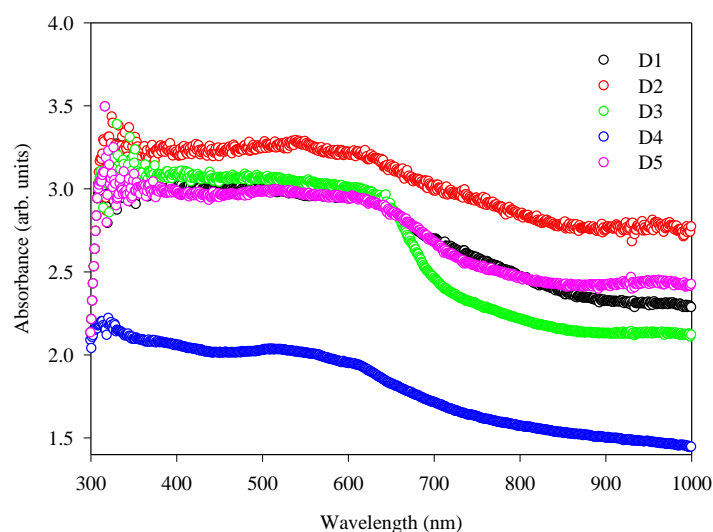


**Figure 3.** EDS survey spectrum of CdS powder



Fig. 4 indicates absorption curves of D1, D2, D3, D4 and D5 layers. It is realized that D1 layer shows a wide absorption in the wavelength interval between 300 and 650 nanometers, having the highest absorbance point for the wavelength of 615 nanometers that might be akin to the vibronic transition of P3HT material due to the intense chain interactions (Yilmaz et al., 2019). D2 shows a very similar characteristic to D1 except for its higher absorbance value through the curve. D3 structure exhibits an absorbance value between with and without Eosin-Y modified CdS/P3HT (D2 and D1) structures in the wavelength interval of 300-650 nm while it shows a lower value in the interval of 650-1000 nm. However, D4 structure shows the

same characteristics although its peak value is the lowest whereas D5 structure has the same characteristics with D1 in terms of its intensity and shape. The reason for the decrease of D4 in the intensity and a narrowing in the absorption band could be attributed to the less compatible interface between CdS paste and P3HT and less photon harvesting, respectively. Thus, it can be declared that D2 heterostructure shows the highest absorbance intensity, proving the positive effect of surface modification via Eosin-Y dye on CdS sample's surface due to intense  $\pi$ - $\pi$  interactions between P3HT polymer chains that leads to a rise in the spatial packing of P3HT as well as a better interface for D1 (Nan et al., 2013).

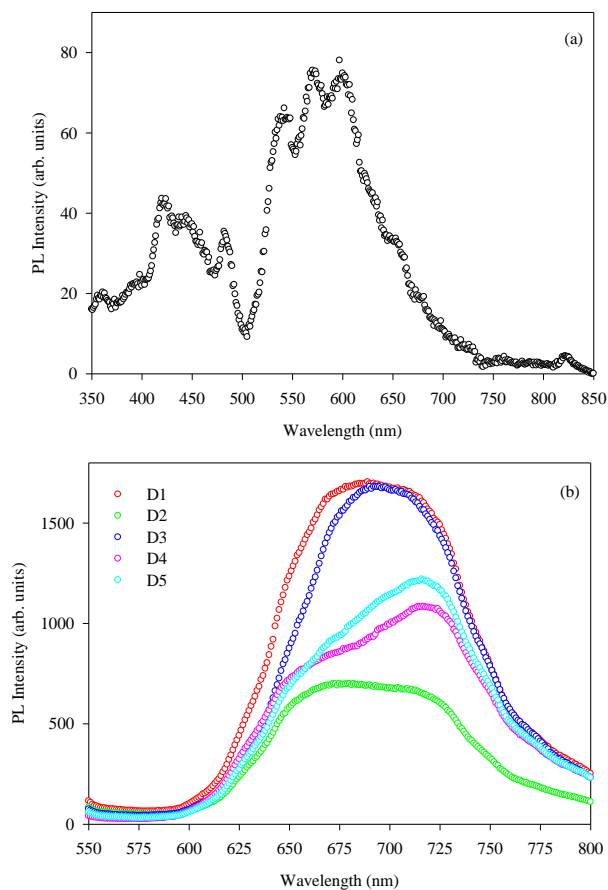


**Figure 4.** Absorption plots of D1, D2, D3, D4, D5

Fig. 5(a) and (b) illustrate the PL curves of CdS powder and D1, D2, D3, D4 and D5, respectively. The CdS powder sample exhibits three fundamental peaks corresponding to different regions that are 350-400 nm (UV), 400-500 nm (blue) and 500-750 nm (deep level emission), respectively and the strongest peak is seen at 570 nm. The root of this strong peak might be akin to the intrinsic defects that include  $I_{Cd}$ ,  $I_S$  and  $V_S$  that is caused by nonstoichiometric growth of CdS powders, which is in good agreement with the EDS conclusion (Yilmaz et al., 2017). The UV peak is associated with transitions between shallow and deep levels, while the blue peak is attributed to defect levels (Yilmaz et al., 2015). On the other hand, deep level emission is generally attributed to internal defects such as  $I_{Cd}$ ,  $V_S$  and  $V_{Cd}$  (Yilmaz et al., 2017). In Fig. 5(b), it is realized that D205 and Eosin-Y modified (D3 and D2) heterostructures

show similar curve, but different peak intensities with nonmodified one whereas N719 and N3 (D4 and D5) modified heterostructures show both different curve shape and peak intensities at 716 nm. This means that P3HT film dominates all the spectra. Diverse dye modified CdS-based heterostructures exhibit lower PL intensities than those of CdS/P3HT (D1), showing that PL intensity diminishes via surface modification due to an active electron transfer between CdS and P3HT layers, which improves the efficient exciton separation at the interface of D1 bilayer (Yilmaz et al., 2019; Zhong et al., 2012). Hence, dye modification causes the creation of a better interface for D1, which is consistent with optical absorption results discussed previously. Analogue results were obtained by Jabeen et al. for CdS/P3HT hybrid solar cells (Jabeen et al., 2018).

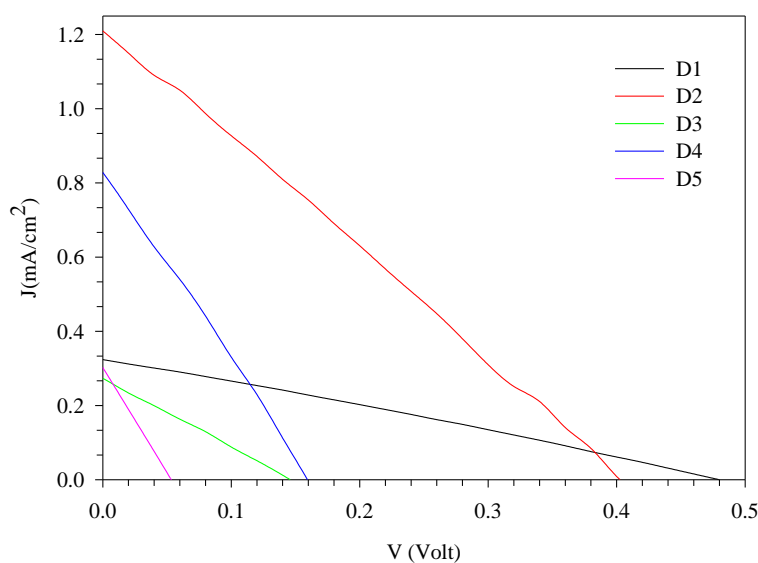




**Figure 5.** PL curve of (a) CdS powder and (b) PL data of D1, D2, D3, D4, D5

Fig. 6 and Table 2 represent J-V characteristics of D1, D2, D3, D4 and D5 hybrid solar cells and  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF and ( $\eta$ ) parameters of CdS-based hybrid solar cells, respectively. It is observed that each cell showed a photovoltaic response. It is noticed that

nonmodified (D1) hybrid solar cell displays a short circuit current density ( $J_{sc}$ ) of  $0.32 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ , open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of 0.48 V, fill factor (FF) of 0.28 and power conversion efficiency ( $\eta$ ) of 0.046% which is low. This is caused by the hydrophilic surfaces of P3HT and CdS, which leads to a weak interfacial contact area (Zhong et al., 2012). Another case of having a low PCE score might be attributed to PL data of CdS sample that has a defected structure, which was represented in Fig. 5(a) (Chen et al., 2011). Yılmaz and co-workers reported a lower PCE value of 0.015% for spray-deposited CdS based devices (Yılmaz et al., 2019). Unlikely nonmodified (D1) one, Eosin-Y modified (D2) hybrid solar cells show an increased  $J_{sc}$  value of  $1.21 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$  while a lower  $V_{oc}$  value of 0.40 is observed, which contributes a great enhancement in PCE score almost 3 times, that is, 0.135%. The increase in the  $J_{sc}$  value can be associated with the deposition of Eosin-Y dye molecules on CdS that gives rise to a better light absorption, which is also proved in Fig. 4, and the decrease in surface defects of CdS via Eosin-Y absorption (Lim et al., 2012; Luo et al., 2016). On the other hand, Eosin-Y dye modification leads to a decrement in the leakage currents by direct contact between CdS and Ag metal (Lim et al., 2013). However, the PCE values are even worse than that of pristine (D1) one via surface modification of the other D205, N719 and N3 (D3, D4 and D5) dyes, which can be seen in Table 1. This is in agreement with the absorption spectra presented in Fig. 4. That is, dye modification of CdS surfaces by D205, N719 and N3 dyes leads to a reduction in absorption curves so that the surfaces of CdS pastes are less coated with such dyes.



**Figure 6.** J-V characteristics of D1, D2, D3, D4 and D5

**Table 2.**  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF and ( $\eta$ ) parameters of CdS/P3HT hybrid solar cells

Cells	$J_{sc}$ (mA.cm <sup>-2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\eta$ (%)
D1	0.32	0.48	0.280	0.046
D2	1.21	0.40	0.260	0.135
D3	0.27	0.14	0.265	0.011
D4	0.83	0.16	0.264	0.038
D5	0.30	0.05	0.267	0.004

#### 4. Conclusions

CdS samples on ITO-coated glass substrates were produced by CDB and doctor blade methods. XRD data presented that CdS powders grew in the nanocrystalline structure. SEM conclusions showed that CdS powders exhibited hierarchical morphology whereas morphological structure became granular and porous by deposition of both N3 dye and P3HT layer. Absorbance plot indicated that CdS specimens modified via Eosin-Y (D2) dye showed the best absorption spectrum. Photoluminescence results displayed that CdS samples had a defected structure and the surface treatment via diverse dyes showed a decrement in the PL intensity, implying an enhancement in the ability of charge separation. J-V plot illustrated that in comparison with pristine (D1) one, a better result for PCE value, almost 3 times, was observed for D2 as 0.135%.

#### Acknowledgements

All the authors are very appreciated to TÜBİTAK (Scientific and Technological Research Council of Turkey) for its financial support to this study by a project number of 116F296.

#### References

Chen, F., Qiu W., Chen, X., Yang, L., Jiang, X., Wang, M. and Chen, H. (2011). Large-scale fabrication of CdS nanorod arrays on transparent conductive substrates from aqueous solutions. *Solar Energy*, 85(9), 2122-2129. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.05.020>.

Cortina, H., Pineda, E. and Hu, H. (2012). Measurement of charge carrier recombination rates in planar hybrid CdS/poly3-octylthiophene solar cells. *Solar Energy*, 86(4), 1004-1009. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.003>.

Greenham, N. C., Peng, X. and Alivisatos, A. P. (1997). Charge separation and transport in conjugated polymer/cadmium selenide nanocrystal composites studied by photoluminescence quenching and photoconductivity. *Synthetic Metals*, 84(1-3), 545-546. [https://doi.org/10.1016/s0379-6779\(97\)80852-1](https://doi.org/10.1016/s0379-6779(97)80852-1).

Jabeen, U., Adhikari, T., Pathak, D., Shah, S. M. and Nunzi, J. M. (2018). Structural, optical and photovoltaic properties of P3HT and Mn-doped CdS quantum dots based bulk heterojunction hybrid layers. *Optical Materials*, 78, 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.02.019>.

Kang, M., Kim, S. W. and Park, H. Y. (2018). Optical properties of TiO<sub>2</sub> thin films with crystal structure. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 123, 266-270. <https://doi.org/10.1016/j.jpccs.2018.08.009>.

Khallaf, H., Oladeji, I. O., Chai, G. and Chow, L. (2008). Characterization of CdS thin films grown by chemical bath deposition using four different cadmium sources. *Thin Solid Films*, 516(21), 7306-7312. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2008.01.004>.

Kim, J., Choi, H., Nahm, C., Moon, J., Kim, C., Nam, S., Jung, D. R. and Park, B. (2011). The effect of a blocking layer on the photovoltaic performance in CdS quantum-dot-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources*, 196(23), 10526-10531. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.08.052>.

Ko, Y., Kim, Y., Kong, S. Y., Kunnana, S. C. and Jun, Y. (2018). Improved performance of sol-gel ZnO-based perovskite solar cells via TiCl<sub>4</sub> interfacial modification. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 183, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.04.021>.

Kumar, N. and Dutta, V. (2014). Fabrication of polymer/cadmium sulfide hybrid solar cells [P3HT:CdS and PCPDTBT:CdS] by spray deposition. *Journal of Colloid and Interface Science*, 434, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.07.047>.

Li, C., Wang, F., Chen, Y., Wu, L., Zhang, J., Li, W., He, X., Li, B. and Feng, L. (2018). Characterization of sputtered CdSe thin films as the window layer for CdTe solar cells. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 83, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.04.022>.

Lim, E. L., Yap, C. C., Yahaya, M. and Salleh, M. M. (2012). ZnO nanorod arrays coated with Eosin-Y at different concentrations for inverted bulk heterojunction organic solar cells. *Advanced Materials Research*, 501, 214-218.

- <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.501.214>.
- Lim, E. L., Yap, C. C., Yahaya, M. and Salleh, M. M. (2013). Enhancement of ZnO nanorod arrays-based inverted type hybrid organic solar cell using spin-coated Eosin-Y. *Semiconductor Science and Technology*, 28, 045009-045015. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/28/4/045009>.
- Lin, Y. Y., Chu, T. H., Li, S. S., Chuang, C. H., Chang, C. H., Su, W. F., Chang, C. P., Chu, M. W. and Chen, C. W. (2009). Interfacial nanostructuring on the performance of polymer/TiO<sub>2</sub> nanorod bulk heterojunction solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131, 3644-3649. <https://doi.org/10.1021/ja8079143>.
- Liu, H., Zhang, K., Jing, D., Liu, G. and Guo, L. (2010). SrS/CdS composite powder as a novel photocatalyst for hydrogen production under visible light irradiation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(13), 7080-7086. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.01.028>.
- Luo, S., Shen, H., Zhang, Y., Li, J., Oron, D. and Lin, H. (2016). Inhibition of charge transfer and recombination processes in CdS/N719 co-sensitized solar cell with high conversion efficiency. *Electrochimica Acta*, 191, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.055>.
- Nan, Y. X., Li, J. J., Fu, W. F., Qiu, W. M., Zuo, L. J., Pan, H. B., Yan, Q. X., Chen, X. G. and Chen, H. Z. (2013). Performance enhancement of CdS nanorod arrays/P3HT hybrid solar cells via N719 dye interface modification. *Chinese Journal of Polymer Science*, 31(6), 879-884. <https://doi.org/10.1007/s10118-013-1274-z>.
- Patterson, A.L. (1939). The Scherrer formula for X-ray particle size determination. *Physical Reviews*, 56 (10), 978. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.978>.
- Pei, J., Feng, K., Wei, Y., Zhao, X., Hao, Y., Li, Y., Sun, B., Chen, S. and Lv, H. (2018). Influence of organic interface modification layer on the photoelectric properties of ZnO-based hybrid solar cell. *Journal of Photochemistry and Photobiology A, Chemistry*, 364, 551-557. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.06.042>.
- Ravichandran, K. and Porkodi, S. (2018). Addressing the issue of under-utilization of precursor material in SILAR process: Simultaneous preparation of CdS in two different forms – Thin film and powder. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 81, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.02.037>.
- Sonavane, D. K., Jare, S. K., Kathare, R. V., Bulakhe, R. N. and Shim, J. J. (2018). Chemical synthesis of PbS thin films and its physicochemical properties. *Materialstoday: Proceedings*, 5(2-2), 7743-7747. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.451>.
- Su, B., Wei, M. and Choy, K. L. (2001). Microstructure of nanocrystalline CdS powders and thin films by Electrostatic Assisted Aerosol Jet Decomposition/Deposition method. *Materials Letters*, 47(1-2), 83-88. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(00\)00216-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(00)00216-0).
- Sun, W., Sun, K., Peng, T. Y., You, S., Liu, H., Liang, L., Guo, S. and Zhao, X. Z. (2014). Constructing hierarchical fastener-like spheres from anatase TiO<sub>2</sub> nanosheets with exposed {001} facets for high-performance dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources*, 262, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.086>.
- Tang, S., Tang, N., Meng, X., Huang, S. and Hao, Y. (2016). Enhanced power efficiency of ZnO based organic/inorganic solar cells by surface modification. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 83, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2016.03.031>.
- Xia, C., Wang, N. and Kim, X. (2011). Mesoporous CdS spheres for high-performance hybrid solar cells. *Electrochimica Acta*, 56(25), 9504-9507. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.08.047>.
- Xia, H., Zhanga, T., Wang, D., Wang, J. and Liang, K. (2013). Composite interfacial modification in TiO<sub>2</sub> nanorod array/poly(3-hexylthiophene) hybrid photovoltaic devices. *Journal of Alloys and Compounds*, 575, 218-222. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.04.006>.
- Yılmaz, S. (2015). The investigation of spray pyrolysis grown CdS thin films doped with fluorine atoms. *Applied Surface Science*, 357(A), 873-879. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.098>.
- Yılmaz, S., Atasoy, Y., Tomakin, M. and Bacaksız, E. (2015). Comparative studies of CdS, CdS:Al, CdS:Na and CdS:(Al-Na) thin films prepared by spray pyrolysis. *Superlattices and Microstructures*, 88, 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2015.09.021>.
- Yılmaz, S., Polat, İ., Tomakin, M., Ünverdi, A. and Bacaksız, E. (2019). Enhanced efficiency of CdS/P3HT hybrid solar cell via interfacial modification. *Turkish Journal of Physics*, 43(1), 116-125. <https://doi.org/10.3906/fiz-1810-21>.
- Yılmaz, S., Törelı, S. B., Polat, İ., Olgar, M. A., Tomakin, M. and Bacaksız, E. (2017). Enhancement in the optical and electrical properties of CdS thin films through Ga and K co-doping. *Materials Science in Semiconductor*

- Processing, 60, 45-52.  
<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2016.12.016>.
- Yılmaz, S., Ünverdi, A., Tomakin, M., Polat, İ. and Bacaksız, E. (2019). Surface modification of CBD-grown CdS thin films for hybrid solar cell applications. *Optik*, 185, 256-263.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.03.156>.
- Zhong, M., Yang, D., Zhang, J., Shi, J., Wang, X. and Li, C. (2012). Improving the performance of CdS/P3HT hybrid inverted solar cells by interfacial modification. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 96, 160-165.  
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.09.041>.
- Zhong, P., Que, W. X., Zhang, J., Yuan, Y., Liao, Y. L., Yin, X. T., Kong, L. B. and Hu, X. (2014). Enhancing the performance of poly(3-hexylthiophene)/ZnO nanorod arrays based hybrid solar cells through incorporation of a third component. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 57(7), 1289-1298.  
<https://doi.org/10.1007/s11433-013-5213-3>.

## Uygulama imar planı tadilatlarında plan değişikliği ölçütlerine uygunluğun araştırılması

### *Investigation of compliance with plan amendment criteria in implementation zoning plan amendments*

Yaşar İNCEYOL<sup>\*1,a</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, 020040, Adıyaman

• Geliş tarihi / Received: 12.05.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 20.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 02.10.2021

#### Öz

Kırsala göre daha fazla nüfusunu yaşadığı şehirlerde, insanların barınma, yol, dinlenme, eğitim ve sağlık gibi ortak yaşam alanları imar planları ile planlanır. Bu planlama mevcuttaki ihtiyaçlar ve gelecekteki durum dikkate alınarak yapılır. Hazırlanan imar planlarının uygulanabilirliği o kentte yaşayanların gerçek ihtiyaçlarının belirlenmesi ve kentin konumu ile örtüştürülerek sürdürülebilir bir kentsel yaşamın öngörülmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu süreçte ne kadar çaba gösterilirse gösterilsin imar planında bazı eksikliklerin olması kaçınılmazdır. Bu eksiklikler çoğunlukla, ortak kamusal alan ihtiyacının veya arazi sahiplerinin beklentilerinin karşılanamaması şeklindedir. İmar planı değişiklikleri, onaylı imar planının ihtiyaçları karşılamadığının objektif ölçütlerle belirlendiği “zorunlu durumlarda” ve “kamu yararı” gözetilerek yapılmalıdır. İmar planları hazırlanırken yol, park, okul, hastane gibi ortak kamusal alanlar için ilgili arazi sahiplerinin muvafakatleri alınmaz. Ancak mülkiyet hakkının bu derece kısıtlanması ve planı uygulayan idarenin gücünün artması, bu durumu dengeleyici karşı mekanizmaların gelişmesine neden olmuştur. İmar planı değişikliği de bu mekanizmalardan birisi haline gelmiştir. Bu çalışmada; yasal mevzuata göre imar planı değişiklik ölçütleri belirlenmiş, Türkiye'nin her biri farklı illerinden seçilen plan değişiklik örnekleri incelenerek, belirlenen ölçütlere uyma durumları araştırılmıştır. İncelenen örneklerde, plan değişikliğinde en önemli ölçüt olan “kamu yararı” kısmen gözetilmekle birlikte, daha çok “arazi sahiplerinin taleplerinin dikkate alındığı” ve “plan değişiklik ölçütlerine uygunluğun tam olarak denetlenmediği” tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İmar planı, İmar planı değişikliği, Kamu yararı, Plan değişiklik ölçütleri

#### Abstract

In the cities wherein a larger population than rural areas are residing, common living spaces of people like housing, roads, recreation, education, and medical care places are all planned via zoning plans. This planning is plotted as per the current needs and future projections. Applicability of the zoning plans are directly associated with the identification of the residents' real needs in the city and anticipation of a sustainable urban life by fitting these needs with the location of the city. However, it is unavoidable to have some deficiencies in the zoning plan despite the utmost effort paid for the plan. These deficiencies are generally the dissatisfactions of either common needs of public space or land owners' expectations. Zoning plan amendments are supposed to be made in case of “obligatory situations” which are exhibited with objective criteria revealing that the current plan is unable to satisfy the needs and to be made with care of “public interest”. While preparing zoning plans, the consents of landowners are not obtained for common public spaces like roads, parks, schools, and hospital. Nonetheless, such restrictions on freehold estate and the increase of the executing administration's power have also caused improvement of counterbalancing mechanisms. Zoning plan amendments have also become one of these mechanisms. In this study, zoning plan amendment criteria have been determined as per the legal regulations, the amendment samples -each of which selected from a different city of Turkey- have been examined and the compliance level of these amendments with the determined criteria has been analyzed. Following these examinations, it was found out that the demands of landowners have mainly been taken into account and the compliance of amendments with plan amendment criteria cannot be controlled implicitly while ‘public interest’ as the most important criteria of plan amendments has been partially satisfied.

**Keywords:** Zoning plan, Zoning plan amendments, Public interest, Plan amendment criteria

\*a Yaşar İNCEYOL; yinceyol@adiyaman.edu.tr; Tel: (0416) 223 38 00; orcid.org/0000-0001-7455-2869

## 1. Giriş

Bir kentin içerisinde barındırdığı nüfusun ihtiyaçları dikkate alınarak mekânsal biçiminin şehircilik ve planlama ilkelerine göre tasarlanması imar planları ile gerçekleştirilir. İmar planlarının uygulanabilirliği kentin gerçek verileri ve ihtiyaçları ile örtüşmesine bağlıdır. İmar planları kentsel işlevler arasında denge kurulmasını amaçladığı (Keleş ve Mengi, 2014) halde özünde bir takım ihtimallere ve öngörülere dayandığı için, çoğunlukla kesinlik içermez. Bazen planlamada kullanılacak verilerin doğru bir biçimde belirlenememesi, bazen de kentsel gelişme yönü ve büyüklüğü ile ilgili hatalı öngörülerde bulunulması, planlama hedefinden uzaklaşılmasına neden olur (Yıldız, 2014). Ayrıca imar planları her türlü planlama ölçütüne uygun hazırlanmış olsalar da sorumlu kurumun bu planları uygulamada isteksiz/yetersiz kalması veya zorunlu nüfus hareketleri/göç vb. nedenler, planların revizyonunu gündeme getirebilir (Çiçek, 2016).

Zaman içerisinde planlanan alanların ihtiyaçlara yeterince cevap veremez hale gelmesi, kamu yararı veya kişisel mülkiyetle ilgili bazı hakların önemli oranda zarar görmesi durumunda, plan kararları ve arsa kullanım fonksiyonlarının yeniden düzenlenmesiyle ilgili plan değişiklikleri yapılabilir (Çolak ve Öngören, 2014). Literatürde plan değişikliği ile ilgili çoğunlukla birbiriyle örtüşen tespitler oldukça fazladır. Suher ve ark., (1985); Sesli ve Karadavut, (2009); imar planlarında öngörülemeden gelişmelerin, mevzuata göre “plan değişikliği” olarak ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Altın (2006) ise imar planı değişikliğini; onaylı imar planının bütünlüğüne zarar vermeden ulaşım sisteminde, kentsel donatıların fonksiyon, büyüklük ve yoğunluklarında yapılan değişiklikler olarak kabul etmiştir. İnceyol (2019); imar planı değişikliklerinin, plan yapımı esnasında öngörülemeden veya sonradan ortaya çıkan teknik ve doğal ihtiyaçlar nedeniyle zorunlu olarak, kentsel yaşam kalitesine ve plan bütünlüğüne olumlu anlamda katkılar sağlayabileceğini vurgulamıştır. Bademli (1998), imar planı değişikliklerinde yalnızca teknik faktörlerin değil, sosyal, ekonomik, hukuki ve politik faktörlerin de önemli bir rol oynadığını belirlemiştir. Alfasi (2006) ise, imar planı değişikliklerinin kentsel mekânın değişimini yönetmede, giderek imar planlarının yerini almakta olduğunu tespit etmiştir.

İmar planı değişiklikleri; (1) kamusal ihtiyaçlar ve (2) parsel sahiplerinin mülkiyet hakkına bağlı değişiklikler olarak iki grupta toplanmıştır (Çolak

ve Öngören, 2014). Birinci gruptakiler; konut alanlarının okul alanına çevrilmesi, yol ağının genişletilmesi ve kamu kurumlarının ihtiyaçları doğrultusunda talep edilen değişiklikleri kapsamaktadır. İkinci grupta ise; park veya yol ağı içinde bulunan bir parselin konut alanına dönüştürülmesi, emsal artışı, kat artışı ve ticaret alanına dönüştürme değişiklikleri, kaçak yapıların veya bazı yapılardaki kaçak katların yasal duruma dönüştürülmesi ile imar sınırları haricindeki arazilerin imarlı hale dönüştürülme talepleri yer almaktadır.

İmar planı değişiklikleri yapılaşma gerekçelerine göre analiz edilirse, söz konusu sebep ve ihtiyaçlardan ziyade mevcut koşulların ortaya çıkardığı gerekçelerle yapıldığı ve bu değişikliklerin kentsel dokuya ve plan bütününe bazı olumsuz etkilerinin de olduğu görülmektedir (Yavuz ve Sertyeşilşik, 2019). Bu konuda Sesli ve Karadavut (2009); parsel bazlı imar planı değişikliklerinin küçük ve zararsız görüldüğü fakat “kamu yararı” dikkate alınmadan, günlük ve yerel-politik gerekçelerle yapılması durumunda kentsel mekâna ve kimliğe zarar verici etkilerine dikkat çekmektedir. Ersoy (1997) ise plan değişikliklerinin kentsel yaşam standartlarını yükseltmekten çok plan bütünlüğüne olumsuz etki yapabileceğini belirtmektedir.

Genel olarak kabul gören teorik yaklaşıma göre, imar planı değişiklikleri ancak “zorunluluk” durumunda ve “kamu yararı” gözetilerek yapılmalıdır (Kılınç ve Türk, 2018). “Kamu yararı” ise, kişilerin bir arada yaşayarak oluşturdukları topluluğun varlığını sürdürmesine ilişkin bir çıkarıdır ve kişilerin mülkiyet hakları üzerindeki yetkilerinin sınırlandırılmasını gerektirir. Çoğunluğun faydasının en üst düzeye çıkarılması ve sosyal adaletin sağlanması için, kişi çıkarlarının sınırlandırılması “kamu yararı”nın temel ilkesidir (Tekeli, 1988).

Günümüzde imar planı değişikliklerinin büyük bir bölümü parsel ölçeğinde yapılmakta ve çok sık kullanılan araçlara dönüşmüş durumdadır. Kılınç ve Türk (2018) tarafından yapılan bir çalışmada; İstanbul’da 2008-2017 yılları arasında 10288 adet plan değişikliği talebinin yapıldığı; bu taleplerden 6824’ünün (%66) onaylandığını belirtmişlerdir. Bir şehrin mekânsal bileşenleri sokaklar/yollar, yolların çevrelediği yapı adaları, parseller/arsalar ve arsa içine yapılan binaların oluşturduğu mekânsal bir dokudur (Ünlü, 2018). Kentin bileşenlerini oluşturan bu biçimsel yapı imar planı değişiklikleri ile parsel sahipleri, inşaatçılar, emlakçılar, mimarlar ve büyük ölçekli yatırım kuruluşları arasındaki ilişki ile ayrıcalıklı imar



hakları kazanımıyla son şeklini almaktadır. Böylece kentsel planlama ilkelerinin dikkate alındığı bir süreçten, inşaat piyasası realitelerinin geçerli olduğu bir sürece girilmektedir.

Bazı durumlarda; imar planlarının kentsel mekânın biçimlendirmede yetersiz kalması, parsel sahiplerinin kendi sorunlarına çözümler üretmelerine neden olmuş ve bunun sonucu olarak da ortaya çıkan plan değişiklikleri bu süreçte etkin bir rol üstlenmiştir. Bu kapsamda “*parsel bazlı*” olarak yapılan ve önemsiz/küçük olarak görülen plan değişiklikleri bir araya getirildiğinde çoğunlukla yeni ve oldukça büyük bir kentsel doku oluşturacak seviyededir (Ünlü, 2007). Bununla birlikte imar planları yeni binaların üretim aracıdır. Bu nedenle imar planları yapılırken, kentsel yaşam alanları oluşturmaktan ziyade insanlar için ilgi çekici objeler olarak konumlandırılan binalar daha öncelikli hale gelmekte, bu yaklaşımdan dolayı da “*kamu yararı*”ndan çok “*kişisel çıkarların*” ön plana çıktığı bir kentsel biçimlendirme sürecine girilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (Ünlü, 2018).

Bu çalışmada; uygulama imar planlarındaki plan değişiklikleri incelenmiştir. Birinci aşamada yasal mevzuata göre “*imar planı değişiklik ölçütleri*” belirlenmiştir. İkinci aşamada Türkiye’nin her biri farklı illerinden seçilen plan değişiklik örnekleri, değişiklik öncesi ve sonrası durumuna göre ayrıntılı olarak analiz edilerek belirlenen “*plan değişiklik ölçütleri*” ne uyma durumları araştırılmıştır. Literatürde incelenen plan değişiklikleri daha çok bir kent veya bölgedeki plan değişikliğinin sayısı, türü, amacı vb. istatistiksel bulguları kapsamaktadır. İncelenen plan değişikliklerinde en önemli ölçüt olan “*kamu yararı*” kısmen gözetilmekle birlikte, daha çok arazi sahiplerinin taleplerinin dikkate alındığı, 2020 yılı sonrası çıkarılan mevzuata rağmen parsel ölçeğinde plan değişikliklerinin yapılmaya devam ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca plan değişikliklerinin yasal değişiklik ölçütlerine uygunluğunu denetleme sorumluluğunun da tam olarak yerine getirilmediği görülmüştür.

## 2. İmar planı değişiklikleri, yasal çerçeve, kamu yararı ve bireysel çıkarlar

İmar planlarının hazırlanma sürecinde statik ve durağan bir plan anlayışının öne çıkması, belediyelerin plan kararları üzerindeki etkilerinin sınırlı olması, planı hazırlayanların kentin imkânlarını, kısıtlarını ve özellikle bazı sosyal güç dengelerinin taleplerini plana yeterince yansıtılmaları, plan uygulamaya geçtikten sonra

planı hazırlayanların süreç dışına itilmelerine, bu aşamadan sonra da yerel mülkiyet sahiplerinin taleplerinin devreye girmesiyle yerel idareler, yoğun plan değişikliği istemleriyle karşılaşmaktadırlar (Ersoy, 1997). Planlama hiçbir zaman matematiksel kesinlikte olamaz (Yıldız, 2014). Ancak imar planları, plan hükümlerini ve yapılmış olan planlamayı tamamıyla devre dışı bırakacak şekilde bir esneklikte ve farklı grup veya bireylerden gelecek taleplere göre kolaylıkla değiştirilebilen birer politik belge olarak da görülmemelidir (Ersoy, 1997).

### 2.1. Yasal çerçeve

3194 sayılı İmar Kanunu’nun 8/b maddesine göre, belediye ve mücavir alan sınırlarındaki imar planlarını yapma-yaptırma yetkisi ilgili belediyelerde; belediye ile mücavir alanlar dışındaki bölgelerde ise valiliklerdedir. Ancak bu yetki yerel yönetimler dışında çeşitli merkezi kamu kurum ve kuruluşlarına da verilmiştir (Tiyek ve Ulusoy, 2020). Bu kurumlardan İmar Kanunu’nun 9. Maddesine göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığı en üst düzeyde imar ve planlama yetkisine sahip kurum olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca; Kültür ve Turizm Bakanlığı, Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ), Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın onayı ile Organize Sanayi Bölgeleri, Özelleştirme İdaresi Başkanlığı, İlbank, Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (GAP İdaresi) gibi kurumlar kendi yetki alanları kapsamında kendi özel kanunları doğrultusunda özel amaçlı planlama yetkisi ile yetkilendirilmişlerdir (Öngören, 2020; Namlı, 2017).

Türkiye’de yürürlükteki 3194 sayılı İmar Kanunu’nun 8. Maddesine göre; “*nazım ve uygulama imar planları, ilgili belediyelerce yapılır veya yaptırılır ve belediye meclislerince onaylanarak yürürlüğe girerler*”. İmar planları yürürlüğe girdikten sonra uyulması zorunlu belgeler haline gelir ve yasal olarak herkesi bağlayıcı bir konuma gelir. Ancak ilgili yasaya göre kesinleşerek yürürlüğe girmiş imar planları üzerinde bazı “*zorunlu durumlarda*” plan değişiklikleri yapılabilir. “*Ancak imar planı değişikliklerinde uygulanacak süreç, imar planlarının yapım ve onaylanma süreci ile aynı olmalıdır (3194/Md. 8-9)*”.

Türkiye’de imar planı değişikliklerinin Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği (2014) ile “*bilimsel ve nesnel gerekçelerle*” yapılabileceği ayrıntılı olarak düzenlenmiştir. Söz konusu yönetmeliğin 26/1 maddesi; “*İmar plan değişikliğinin plan ana*

kararlarını, sürekliliğini, bütünlüğünü, sosyal ve teknik altyapı dengesini bozmayacak nitelikte, kamu yararı amaçlı, teknik ve nesnel gerekçelere dayandırılarak yapılabileceğini” hükme bağlamaktadır. Danıştay kararlarında ise, “imar planı değişikliklerinde; kişilerin mülkiyet hakları ile kamu yararı arasında makul bir dengenin korunması gerektiği” vurgulanmaktadır (Altın, 2006).

Yakın zamanda 20 Şubat 2020 tarihinde yürürlüğe giren 7221 sayılı “Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” ile 3194 sayılı İmar Kanunu’na, “imar plan değişikliği ile meydana gelecek değer artışlarının kamuya aktarılması” na yönelik Ek Madde 8 eklenmiştir. Bu değişiklik ile;

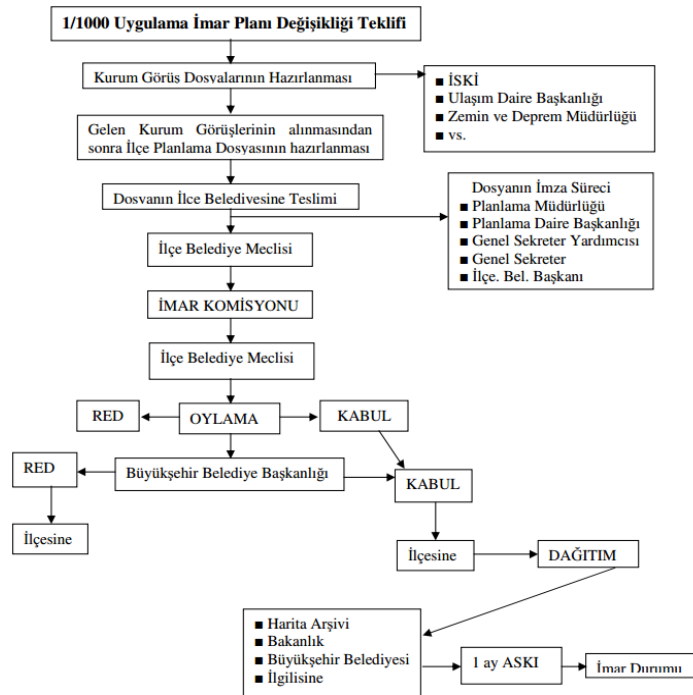
- 1) “Parsel bazında; nüfusu, yapı yoğunluğunu, kat adedini, bina yüksekliğini arttıran imar planı değişiklikleri yapılamaz”,
- 2) “Bin metrekareden az olmamak kaydıyla oluşmuş adalarda; ada bazında nüfusu, yapı yoğunluğunu, kat adedini, bina yüksekliğini arttıran veya fonksiyon değişikliği getiren plan değişikliklerinde ihtiyaç duyulan kültürel tesis, sosyal ve teknik altyapı kullanımları; adanın merkezine en fazla 500 metre yarıçaplı alanda karşılanmak zorundadır”,
- 3) “Taşınmaz maliklerinin tamamının talebi üzerine ada bazında yapılacak imar planı

değişikliği sonucunda değerinde artışı olan arsanın artan değerinin tamamı değer artış payı olarak alınır”,

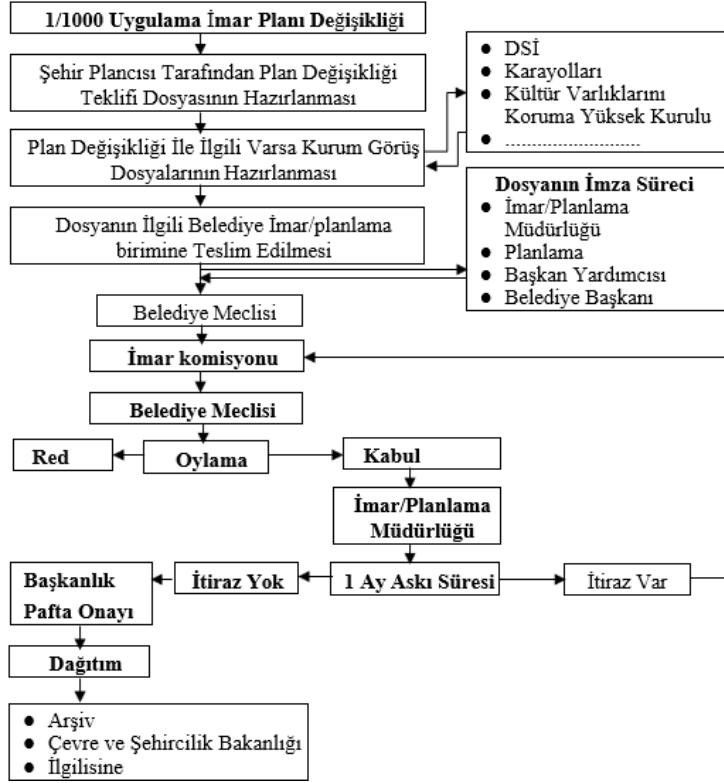
hükümleri ile plan değişikliklerinin “ada bazlı” olacağı ve plan değişikliği sonucunda oluşacak “değer artışının kamuya aktarılacağı” amaçlanmıştır. 15.09.2020 tarihinde de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çıkarılan “İmar Planı Değişikliği ile Meydana Gelecek Değer Artış Payı Hakkında Yönetmelik” ile plan değişikliklerinde oluşacak değer artışının “değer artış payı” olarak kamuya aktarılması ile ilgili işlemler yürütülmektedir.

## 2.2. İmar planı değişiklikleri işlem aşamaları

İmar planı değişiklik teklifi dosyaları serbest şehir plancıları veya kamu kurumu adına yapılacaksa kurumda görevli şehir Plancıları tarafından hazırlanarak belediye meclisine sunulmaktadır. Ancak değişiklik yapılabilmesi için, öncelikle müellifin yeterlilik belgesine sahip olması gerekir. Belediye meclisi plan değişikliği dosyalarını yasal mevzuata göre değerlendirilerek teknik inceleme için imar komisyonuna havale etmektedir. İmar komisyonda incelenen dosyalar, gerekçeli raporları ile tekrar belediye meclisine sunulurken meclis başkanı tarafından görüşmeye açılarak oylamaya sunulması sağlanır (Karaman, 2012). Uygulama İmar Planı değişiklikleri işlem aşamaları şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1-a. Büyükşehir Belediyelerinde 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği İş akış Şeması (Altın, 2006)



Şekil 1-b. Büyükşehir Dışındaki Belediyelerde 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği İş akış Şeması

### 2.3. İmar planı değişiklik türleri ve zorunlu haller

İmar planı değişiklik türleri Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği (MPYY-2014) ile düzenlenmektedir. Yönetmelikte 4 farklı türde plan değişikliğinden söz edilmektedir. Bunlar; "(1) sosyal ve teknik altyapıya ilişkin plan değişiklikleri, (2) imar parsellerinde yoğunluğu artırmaya yönelik emsal değişiklikleri, (3) kullanım şeklinin değiştirilmesine yönelik plan değişiklikleri, (4) yolların genişletme daraltma ve güzergâhın değiştirilmesine ait değişiklikler" dir. "İmar planlarındaki sosyal ve teknik altyapı alanlarının yerinin değiştirilmesi, küçültülmesi, kullanım fonksiyonunun değiştirilerek kaldırılmasına yönelik imar planı değişiklikleri zorunluluk olmadıkça yapılamaz" (MPYY-2014). Bu durumdaki zorunlu haller; "afetler, kestirilememiş demografik hareketler, ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmeler, üst ölçekli planlarda alınan yeni kararlar, maddi hatalar ve kesinleşmiş yargı kararları" dır (MPYY-2014).

### 2.4. İmar planı değişikliklerinde kamu yararı ve bireysel çıkarlar

Keleş (2008); imar planı değişikliklerinin bireysel çıkarları koruyucu, artırıcı nitelikte değil, kentin güzelleştirilmesi, işlevlerini görmesini

kolaylaştırıcı, halkın esenlik, güvenlik ve rahatını artırıcı, yeşil alanlarını çoğaltan, trafik güvenliğini sağlayan, bu amaçlarla yollarını düzenleyen, genişleten ve plan bütünlüğünü bozmaması gerektiğini belirtir. Eğer imar planı değişikliği için bir zorunluluk oluşmuşsa idari devamlılık ve kamu yararı ilkeleriyle desteklenmelidir (Tiyek ve Ulusoy, 2020). Bu bağlamda imar planı değişikliklerinde olması gereken bu kriterlerin tamamı "kamu yararı" tanımlamaktadır. "Kamu yararı" kavramının çok genel ve soyut düzeyde ifade edilen bir kavram olması nedeniyle imar planı değişikliklerindeki "kamu yararı" nın içeriği ve "değişikliği zorunlu kılan şartlar" dikkate alınarak belirlenmelidir (Ersoy, 1997). İmar planı değişikliklerinin kişisel çıkarlar için değil "kamu yararı" için yapılabileceği temel ilkedir. İmar planlarının kişisel çıkarları olumsuz yönde etkilemesi o kişilerin plan değişikliği taleplerini haklı çıkarmaz. İmar planlarının topluma sağlayacağı yararın kişilere sağlayacağı yararlardan daha fazla olması sağlanabilmiş ise, mülkiyet hakkını kısıtlasa bile, kamu yararının ağır bastığı kabul edilebilir. Yasal mevzuat ve Danıştay kararlarına rağmen, uygulamada çoğunlukla arazi sahiplerine bazı imar kazanımları sağlamak amacıyla imar planı değişikliklerinin yapıldığı da bilinmektedir.

İmar planlama faaliyetlerinde belediyelerde yeterli uzman altyapısının olmaması ve belediye meclislerinin kapsamlı bir denetim fonksiyonu yerine getirememesi, imar planı değişikliklerini çoğunlukla parsel ölçüğünde inşaat alanının artırılması, yapı nizamı değişikliği ve mevcut fiili durumu koruyarak yasal hale getirmek gibi bireysel çıkar elde etmeye yönelik değişiklikler haline getirmiştir (Çiçek, 2016; Turgut, 2012). İmar planları her ne kadar “kamu yararı” ilkesi göz önüne alınarak adil bir şekilde hazırlansa bile nüfusun bir kesimi zarar görürken, başka bir kesim de bundan yararlanır (Bakır ve ark., 2018). Plandan zarar gören taraflar, mağduriyetlerini bir baskı unsuru olarak kullanarak plan değişikliği önerilerini yoğunlaştırırlar. Plan değişiklik teklifleri belediyelerin imar komisyonlarında görüşülerek belediye meclisi tarafından oylanarak kabul edilirler. Belediye başkanı, meclis ve imar komisyonu üyeleri seçimle işbaşına geldikleri için seçmenleri yani parsel sahipleri tarafından sürekli ve ağır bir baskı altındadır. Bu durum “plan değişiklik ölçütleri” nin yeterince dikkate alınmasını engellemektedir.

1985’de yürürlüğe giren 3194 Sayılı İmar Kanunu ile imar planı yapımı, uygulanması ve plan değişikliklerinin onaylanma yetkisi, merkezi yönetim süreç dışında bırakılarak belediyeler ile valiliklere devredilmiştir. Bu tarihten sonra bürokratik işlemlerin büyük ölçüde azalarak kolaylaştırılmış olması plan değişikliği taleplerinin, kabulünde ve değişiklik sayılarında oldukça ciddi bir artışa neden olmuştur (Ersoy, 1997). Turgut (2012) ve Çiçek (2016) tarafından yapılan bir çalışmada plan değişikliği taleplerinin daha çok özel parsel sahiplerinden geldiği, buna karşılık kamu kuruluşları tarafından teklif edilenlerin sayıca çok düşük olduğu, bazı büyükşehirlerde gerçekleşen plan değişikliği taleplerinin %63 oranında “parsel bazlı” olduğu, %41’inin arazi sahiplerine büyük rantlar sağladığı, emsal artışı, fonksiyon değişikliği ve fiili durumu korumaya/yasallaştırmaya yönelik olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 129 belediyenin yine arazi sahiplerine yol güzergahı değişikliği ile yarar sağladığı, geri kalan az sayıdaki plan değişikliğinin ise kamuya kaynak sağlama amacına yönelik olduğu, belediye hizmet alanı oluşturmak için yeşil alanların kullanıldığı, daha sonrasında ise bu belediye hizmet alanlarının planlama ilkeleriyle bağdaşmayan gerekçelerle ticaret alanlarına ve alışveriş merkezlerine dönüştürüldüğü belirlenmiştir. Yine İstanbul-Zeytinburnu ilçesi plan değişikliklerini inceleyen Demir (2009), 1995-2009 yılları arasında yapılan plan değişikliklerinin %67’sinin kamu yararına,

%33’ünün ise “kamu yararı” na olmayan değişiklikler olduğunu tespit etmiştir. Bu araştırmada da görüldüğü gibi “kamu yararı” na olmayan plan değişiklikleri azımsanmayacak bir boyuttadır.

İmar planı değişikliklerinde yaşanan bütün bu olumsuzluklar, çarpık ve plansız kentleşmenin başlıca sorunlarından birisi olarak kabul edilmiş ve yerel yönetimlerin imar süreçlerinde saydamlık ve hesap verebilirliğinin artırılması için birtakım düzenlemelere gidilmiştir. Bu kapsamda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nca yayınlanan genelge ile plan değişikliklerine yerel yönetimlerce plan işlem numarası (PIN) verilmesi zorunluluğu getirilmiştir (Eminagaoğlu, 2018). Ayrıca Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği (MPYY-2014) Madde 34’te “her tür ve ölçekteki planlar, plan notları, açıklama raporları ve ekleriyle birlikte alenidir. Bu aleniyeti sağlamak planı onaylayan idarenin görevidir. Ayrıca idareler, internet sayfasında sürekli yayımlamak suretiyle de planlara aleniyet sağlayabilir” denilmektedir. Bu aleniyetin sağlanması elbette ki plan değişiklikleri için de geçerlidir. Plan değişiklikleri “aleni” olmasına rağmen çoğunlukla yapanlar ve yaptırınlar tarafından takip edildiği, üçüncü kişiler tarafından şikâyet ve dava konusu edilme durumu da olmadığı için öylece kesinleşmektedir. Çok az sayıdaki dava ve şikâyet konusu edilen plan değişiklikleri ise çevreye duyarlı dernekler ve meslek odaları tarafından takip edilmektedir. Ancak dava süreçlerinin uzun sürmesi nedeniyle alınan ruhsatlarla plan değişikliklerinin fiili duruma dönüşmesi, alınacak iptal kararlarını etkisiz kılmaktadır.

2.5. Türkiye’de yapılan plan değişiklikleri ile ilgili bazı sayısal göstergeler

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın tarafından yayınlanan Türkiye geneli plan istatistiklerine göre (<https://e-plan.gov.tr/KesinlesenPlanListesi>) 2014-2021 yılları arası (2021 yılı Ağustos ayı dahil) Türkiye’de yapılan ve sisteme girilen plan nitelikleri tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1’deki verilere göre Türkiye’de son 7 yılda yapılan planların %60.3’ü plan değişikliğidir. Bu plan değişikliklerinin 2014-2021 dönemini kapsayan yıllık ortalaması ise 7848 adettir. 2021 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre nüfusu 15 462 452 kişi olan İstanbul’da 2008-2017 yılları arasında 10288 adet plan değişikliği talebi yapılmış ve bu taleplerden 6824’ü (%66) onaylanmıştır (Kılınç ve Türk, 2018). TÜİK verilerine göre nüfusu 3 101 833 kişi olan Bursa



Büyükşehirde 2020 yılında yapılan ve itirazlar hariç onaylanan plan değişikliği sayısı 1099 adettir (TMMOB, 2020). Türkiye geneli yapılan yıllık plan değişiklik ortalaması ve örnek olarak verilen iki büyük şehirdeki yıllık plan değişikliği sayıları, kentlerin nüfusları da dikkate alındığında, oldukça yüksek değerlerdedir. Bu göstergeler plan değişikliklerinin yüksek oranları hakkında yeterince bir fikir vermekte, ancak içerikleri ve “plan değişiklik ölçütleri” ne uyulup uyulmadığı konusunda bir ayrıntı içermemektedir. Bu nedenle plan değişikliklerinin ayrıntılı olarak incelenerek “plan değişiklik ölçütleri” ne uygunlun araştırılmasına ve “bütüncül planlar” olarak hazırlanan imar planlarının neden bu kadar yüksek oranlarda (%60 üzeri) değişikliğe tabi tutulduğu da irdelenmelidir. Yapılan bütün plan değişikliklerinin tek tek incelenmesi bilimsel bir makale kapsamını aşacağı için, bu çalışma kapsamında rastgele seçilen 5 farklı ildeki imar planı değişiklikleri incelenmiş ve “plan değişiklik ölçütleri” ne uyulup uyulmadığı araştırılmıştır. Sınırlı sayıdaki “plan değişiklikleri” üzerinden bunu yapmak riskli bir durum olmakla birlikte “içerik” hakkında bir fikir vermesi amacıyla yapılmıştır.

**Tablo 1.** Türkiye genelinde 2014-2021 yılları arası yapılan planların nitelikleri

Plan niteliği	Adet	Oran (%)
İlave plan	1738	1.9
İlave revizyon	2358	2.6
Mevzi plan	2290	2.5
Plan	25754	28.4
Revizyon plan	3743	4.1
Mevzi plan	146	0.2
Değişikliği		
Plan değişikliği	54790	60.3
Toplam	90819	100

### 3. Materyal ve yöntem

#### 3.1. Plan değişikliği saha örneklerinin seçimi

Bu çalışmada kent ölçeğinde ve belli bir zaman aralığında yapılan plan değişikliklerinin tamamı üzerinden istatistiksel bir araştırma ve veri analizi yoluyla sonuçlar üretme yerine, somut ve az sayıdaki örnek plan değişikliği dosyaları, belirlenen kriterlere göre değişiklik öncesi ve sonrası durumu karşılaştırılarak ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda Türkiye’deki bütün belediyeler tarafından onaylanarak kesinleşen plan değişikliklerinin yayınlandığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili internet adresinden ([\[plan.gov.tr/KesinlesenPlanListesi\]\(https://e-plan.gov.tr/KesinlesenPlanListesi\)\) alınan her biri farklı illere ait 5 adet plan değişikliğinin açıklandığı örnek materyaller seçilmiştir.](https://e-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

#### 3.2. Yöntem

“Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği” (MPYY – 2014), ile “İmar Plan Değişikliği ile Meydana Gelecek Değer Artışlarının Kamuya Aktarılması” na yönelik Ek Madde 8 (3194 sayılı İmar Kanunu Ek Madde 8- 2020) çerçevesinde “kamu yararı ve zorunluluk” durumu da dikkate alınarak, aşağıdaki “plan değişiklik ölçütleri” belirlenmiştir:

- “Sosyal ve Teknik Altyapıya İlişkin Değişikliklerde; “Bir sosyal ve teknik altyapı alanının kaldırılabilmesi ancak, bu tesisin hizmet götürdüğü bölge içinde eşdeğer başka bir alanın ayrılması suretiyle yapılabilir. Eşdeğer alanın ayrılmasında yüzölçümü ve konum özellikleri korunur” (Madde: 26/3-b).
- “Parsel bazında; nüfusu, yapı yoğunluğunu, kat adedini, bina yüksekliğini arttıran imar planı değişiklikleri yapılamaz”.
- “1000 m<sup>2</sup>’den az olmamak koşuluyla ada bazında; nüfusu, yapı yoğunluğunu, kat adedini, bina yüksekliğini arttıran veya fonksiyon değişikliği getiren plan değişikliklerinde ihtiyaç duyulan kültürel tesis, sosyal ve teknik altyapı kullanımları; adanın merkezine en fazla 500 metre yarıçaplı alanda karşılanmak zorundadır”.
- “Kat adedinin artırılmasının istenmesi durumunda; bir yolun iki tarafındaki karşılıklı bina cepheleri arasındaki mesafe  $K = [(Y1 + Y2) / 2] + 7,00$  m formülüne göre bulunacak asgari uzaklığı sağlamalıdır. Y1 ve Y2 değişiklik sonrası yolun her iki tarafındaki bina yüksekliklerini ifade eder”.

Seçilen plan değişikliği örnekleri belirlenen bu “plan değişikliği ölçütlerine” göre incelenecektir.

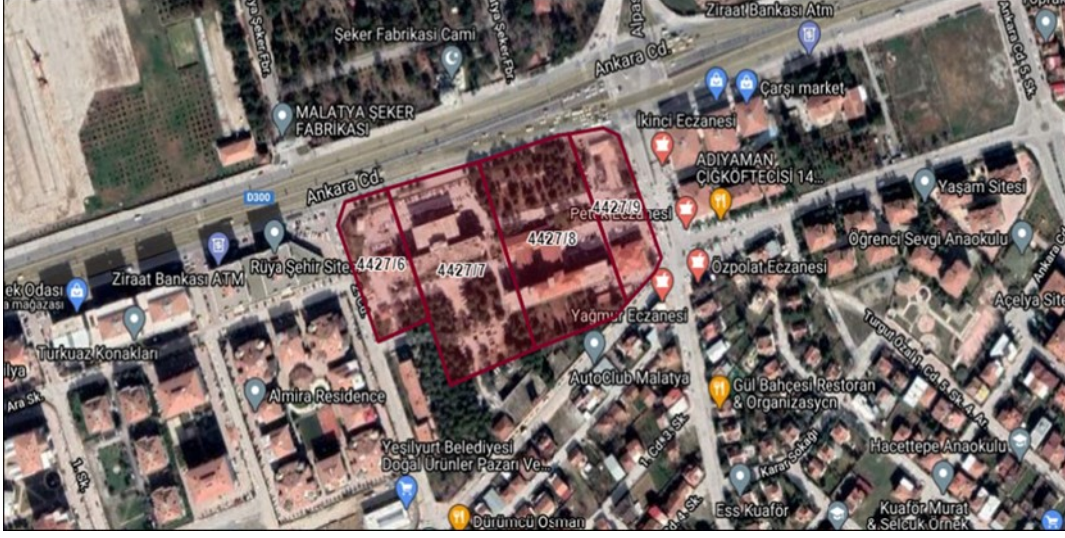
### 4. Bulgular ve tartışma

#### 4.1. “1 nolu plan değişikliği” incelemesi

“1 nolu plan değişikliği” olarak 14.12.2020 tarihinde “Malatya ili Yeşilyurt ilçesi Çilesiz mahallesi 4427 ada 6, 7, 8 ve 9 no’lu parsellere ilişkin 1/1000 ölçekli uygulama imar planı değişikliği” (Plan raporu: <https://e-plan.gov.tr/Anasayfa/FileUpload?type=5&pinId=340606&gorus=False&fromAski=True&dap=False>) seçilmiştir. “1 nolu plan değişikliği” öncesi durum: 4427 ada 6, 7, 8, 9 parseller yürürlükteki 1/1000 Ölçekli uygulama imar planında “Emsal=

**1.50, Yençok= 6 Kat yapılaşma koşulu ile “Ticaret-Konut Alanı”,** olarak planlıdır (Şekil 3-a). Düzenleme alanı mülkiyeti kamuya ait (TOKİ ve Yerel belediye), 50 m’lik bulvar üzerinde, çarşı

merkezinde, arazi olarak çok değerli ve yaklaşık 40 dönümlük oldukça büyük bir bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. 1 nolu plan düzenleme alanı uydu görünümü

**“1 nolu plan değişikliği” sonrası durum:** Yol kullanımlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan, **“Emsal= 0,02” ve “Yençok= 6,50”** metre yapılaşma koşullarına sahip 31.408 m<sup>2</sup> yüzölçümlü **“Millet Bahçesi, Emsal= 1,50 ve**

**Yençok= 18,50 metre (6 kat)”** yapılaşma koşullarına sahip 5.080 m<sup>2</sup> yüzölçümlü **“Belediye Hizmet Alanı”** ve 4.375 m<sup>2</sup> yüzölçümlü **“Park Alanı”** olarak yeniden düzenlenmiştir (Şekil 3-b).



(a)



(b)

Şekil 3. 1 nolu plan düzenleme alanı plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası (b) durum

**“1 nolu plan değişikliği” için inceleme bulguları:** Şekil 2 ve şekil 3’te görüldüğü üzere düzenleme alanının çevresi yoğun olarak **“ticaret – konut alanları”,** siteleşmiş apartman yapıları ve 50 metrelik karayolu kenarı ticari yapıların bulunduğu bir bölgedir. Mevcut imar planında 30.506 m<sup>2</sup>’lik büyük bir kısmı **“Ticaret-Konut Alanı”,** olarak

planlı durumda iken; söz konusu alanın kent ölçeğinde yeni bir sosyal yaşam alanı haline getirilmesi ve bölge halkının kullanımına daha modern ve büyük bir yeşil alan kazandırılması amaçlanmıştır. Kent merkezinde ve 40.864 m<sup>2</sup>’lik bu alanın ilgili kurumlara sağlayacağı bir seferlik büyük ticari getirisinden vazgeçilerek, bölge



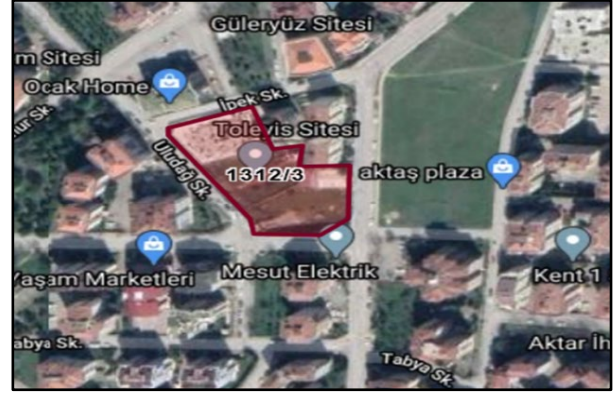
insanın sosyal yaşam kalitesinin artması, daha fazla yeşil alan ve sosyal donatı alanı ihtiyacının karşılanması için “*kamu yararı*” doğrultusunda yeniden işlevlendirilerek “*Millet Bahçesi, Belediye Hizmet Alanı ve Park Alanı*” olarak yeniden düzenlenmiştir. Yapılan plan değişikliğinde “*emsal artışı*” ve arazinin sahibi olan kurumların herhangi bir maddi kazanımı söz konusu değildir. Plan değişikliği “*ada bazlı*”dır.

#### 4.2. “2 nolu plan değişikliği” incelemesi

“2 nolu plan değişikliği” olarak 21.06.2020 tarihinde yapılan “*Bursa İli, Nilüfer İlçesi, Ataevler Mahallesi 1/1000 ölçekli Fethiye-İhsaniye 1312 Ada 3 Parsel İmar Planı Değişikliği*” (Plan Raporu: <https://e-plan.gov.tr/Anasayfa/FileUpload?type=5&pinId=317957&gorus=False&fromAski=True&dap=False>) seçilmiştir.

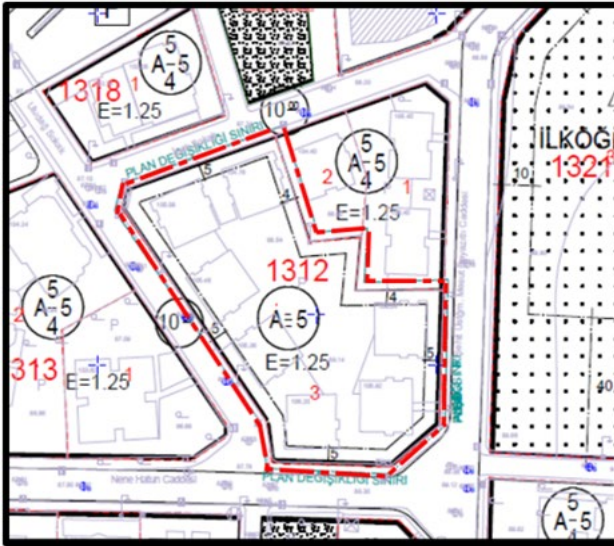
**“2 nolu plan değişikliği” öncesi durum:** 1312 ada 3 parsel yürürlükteki 1/1000 Ölçekli uygulama imar planında “*Emsal= 1.25, Yançok= 15.5 m (5 Kat) yapılaşma koşulu ile konut alanı*”, olarak planlıdır (Şekil 4 ve Şekil 5-a). Düzenleme alanı özel mülkiyete ait olup, çevresi 10 ve 15 metrelik yollarla çevrili, konut – site alanları bölgesinde,

konumsal olarak oldukça değerli ve 4921,00 m<sup>2</sup>’lik (Şekil 4) bir arsadır.

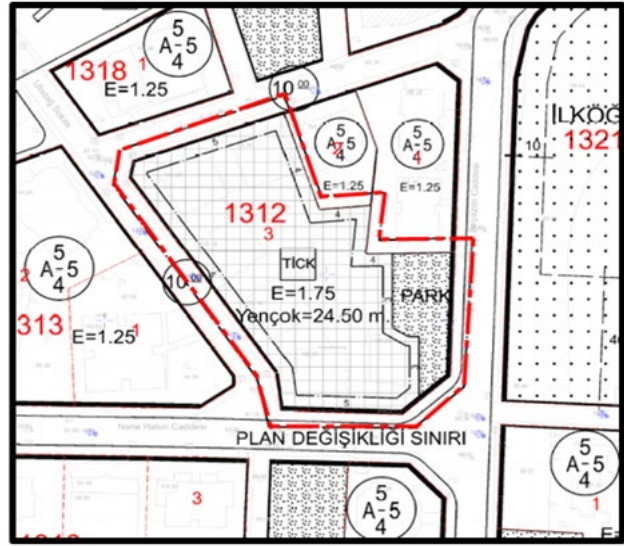


Şekil 4. 2 nolu plan düzenleme alanı uydu görünümü

**“2 nolu plan değişikliği” sonrası durum:** Yapılan plan değişikliği ile emsal değeri artırılarak “*Emsal= 1.75, yapı kat adedi Yançok= 24.5 metre (8 kat), yapılaşma fonksiyonu konut alanından TİCK (Ticaret + Konut)*” alanına dönüştürülmüştür. Yapı çekme mesafeleri değiştirilmemiştir. Artan inşaat alanının tamamının ticaret amaçlı kullanılacağı belirtilerek, meydana gelecek nüfus artışı karşılığı 606,33 m<sup>2</sup> donatı alanı, parselin doğusunda park alanı olarak ayrılmıştır (Şekil 5-b).



(a)



(b)

Şekil 5. 2 nolu plan düzenleme alanı plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası durum (b)

**“2 nolu plan değişikliği” için inceleme bulguları:** Plan açıklama raporunda söz konusu parsel için “*yapı emsalinin 1.25 ‘den Emsal= 1.75’ e, ‘yapı kat adedinin 5 kattan 8 kat (Yançok=24.5 m)’ a çıkarılmasıyla ilgili plan değişikliğinin 2017 yılında yapıldığı, ancak bu plan değişikliğinin aynı yıl ‘mahkeme kararıyla iptal’ edildiği*

belirtilmektedir. Mahkemenin ana iptal gerekçesi “*sosyal donatı dengesinin olumsuz yönde bozulması, ‘Emsal’ e ilavenin maksimum 0,50’yi geçmeyecek şekilde düzenlenmesi, gerekli altyapı analizlerinin yapılması, teknik ve donatı alanlarının ayrılması, ada bazında çözümleme yapılması*” olarak vurgulanmıştır.

2020 yılında yapılan plan değişikliğinde mahkeme kararında belirtilen iptal gerekçelerine kısmen uyularak yapılan plan değişikliği ile **emsal değeri 0.5 arttırılarak “Emsal = 1.75” e, Yapı kat adedi 3 kat arttırılarak 5 kattan 8 kata (Yençok= 24.5 metre), yapılaşma fonksiyonu “konut alanından TİCK (Ticaret + Konut)” alanına dönüştürülmüştür.** Uygulama imar planındaki emsal değerinden (E:1,25) gelen toplam inşaat alanı 6151,25 m<sup>2</sup>’den 8611,75 m<sup>2</sup>’ye çıkarılarak, **“toplamda 2460,50 m<sup>2</sup>’lik inşaat alanı artışı (%40)”** meydana gelmiştir. Plan notlarına göre 0,50 emsal artışının tamamına karşılık gelen 2460.50 m<sup>2</sup> ‘lik alan, **“ticari amaçlı”** kullanılacaktır. Mahkeme kararında bu artışın **“ticari amaçlı olarak kullanılacağı”** ile ilgili bir hüküm olmadığı halde böyle bir karar alınmış ve **bu artışla arazi sahiplerine %40 ‘lık ticari amaçlı inşaat alanı kazandırılmıştır.** Bu artışın değeri ayrı bir değerlendirme konusu olmakla birlikte önemli oranda bir artış olduğu görülmektedir. Mahkeme kararında istenen **“gerekli altyapı analizlerinin yapılması”** da dikkate alınmamıştır. Örneğin yoldan çekme 5 metre olarak değiştirilmediğinden **1312 nolu adada yapılacak bir binanın kuzey, güney ve batısında bulunan adalardaki binalarla arasında olması gereken asgari mesafe “ $K = [(Y1 + Y2) / 2] + 7,00 m = 27 m$ ” olması gerekirken plan değişikliği sonrasında hala 20 m olarak kalmıştır.** Mahkeme kararında plan değişikliğinin **“ada bazında”** yapılması istendiği halde, **“parsel bazlı”** yapılmıştır. Plan değişikliği yapılan 1312 nolu ada

içerisinde, değişiklik yapılan 3 nolu parselin doğusunda halen 5 katlı, **“emsal=1.25”** olan ve yaklaşık adanın 1/3 ‘ünü kapsayan 1312/1 ve 1312/2 nolu 2 adet parsel daha mevcuttur. Bu durum değişikliğin **“ada bazlı”** olmadığını göstermektedir. Ayrıca 1312 nolu adada yapılan söz konusu emsal ve kat artışları komşu adalar ve hatta aynı ada içindeki 1312/1 ve 1312/2 nolu parseller için de emsal teşkil edecek niteliktedir. Burada açıklanan inceleme bulgularına göre bu plan değişikliğinde herhangi bir **“kamu yararı”** tespit edilememiştir. Mahkeme kararında yapılması istenilen değişiklikler bir **“zorunluluk”** oluştursa da kararda istenilenlerin dışına çıkılması **“zorunluk”** olarak değerlendirilemez.

#### 4.3. “3 nolu plan değişikliği” incelemesi

“3 nolu plan değişikliği” 03.11.2020 ‘de yapılan Şanlıurfa ili Karaköprü ilçesi Seyrantepe mahallesi 282 Ada; 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, parsellere ait 1/1000 ölçekli imar planı değişikliği (Plan raporu: <https://e-plan.gov.tr/Anasayfa/FileUpload?type=5&pinId=336604&gorus=False&fromAski=True&dap=False> e) seçilmiştir. **“3 nolu plan değişikliği” öncesi durum:** Planlama alanı yürürlükteki uygulama imar planında **“E:1.50 ve Yençok= 45.50 m (15 kat)”** yapılaşma koşullarına sahip **“Konut Alanı”** olarak planlı, yaklaşık 35 dönümlük bir sahayı kapsamakta ve özel mülkiyete (Şekil 6) ait bulunmaktadır.



Şekil 6. 3 nolu plan düzenleme alanı uydu görünümü

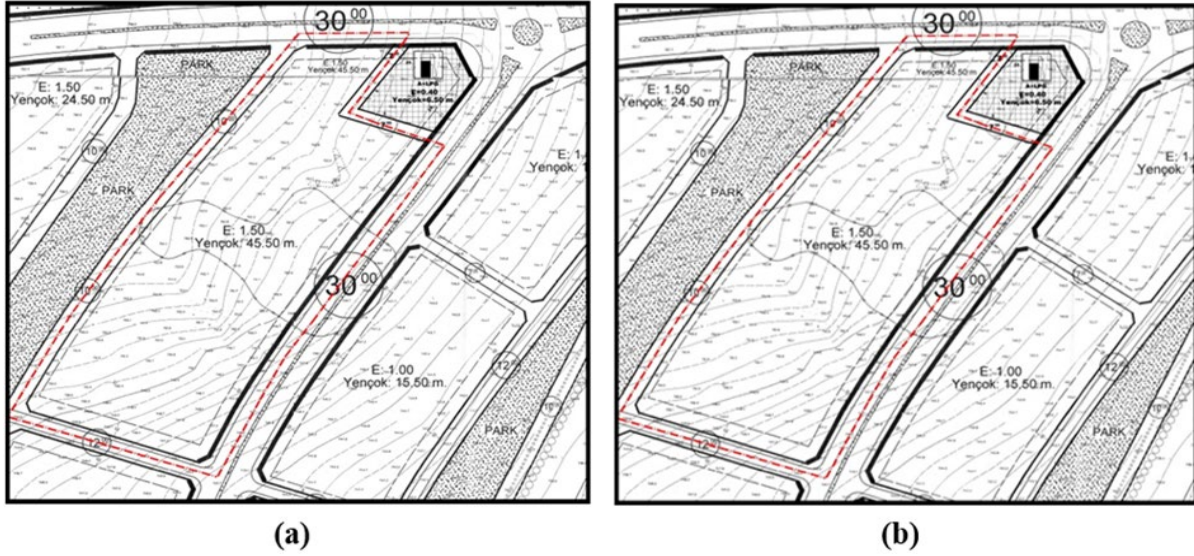
**“3 nolu plan değişikliği” sonrası durum:** Şekil 7’deki düzenleme alanı incelendiğinde, plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası durum (b) arasında hiçbir değişiklik görülmemektedir. Ancak plan açıklama raporunda **“yapılan plan değişikliği ile**

**yapılaşma koşullarında değişiklik yapılmadan plan notlarında düzenleme yapılmıştır”** denilmektedir. Plan notlarında **“konut alanlarında zemin katta 6.5 m yüksekliğinde asma katlı ticaret alanı veya toplam inşaat alanının %15 ‘ini**



geçmemek şartıyla bağımsız ticaret yapılabilir. Asma kat emsal dışı tutulacaktır” notu ile

düzenleme alanı “konut + ticaret” alanına dönüştürülmüştür.



Şekil 7.3 nolu plan düzenleme alanı plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası durum (b)

### **“3 nolu plan değişikliği” için inceleme bulguları:**

Bu plan değişikliğinde farklı bir yöntem izlenmiştir. Yapılan **plan notu değişikliği** ile “konut alanı” olarak planlanmış olan ada, “**Konut + Ticaret**” alanına dönüştürülmüş ancak öneri planda şekilsel olarak gösterilmemiştir. Bu değişiklik ile **arazi sahiplerine 7875 m<sup>2</sup> “ticaret alanı” kazandırılmıştır**. Bu alanın, ada bazlı uygulamada “%10 daha artabileceği” de plan notlarında belirtilmiştir. Plan değişikliği yapılan 282 nolu adanın batısında 30 metrelik yola cepheli iki adet adanın yapılaşma koşulları “*Emsal:1, Yençok=15.5 m (5 kat)*” şeklindedir. Bu yapılaşma koşulları buradaki arazi sahipleri tarafından yeterli görülmeyecek ve bu adalar için, hatta 30 m yola cepheli aynı yapılaşma koşullarına sahip bütün adalar için de, plan değişikliği taleplerini tetikleyecektir. Aynı koşullarda yapılacak bu değişiklikler sonucunda ise **30 m’lik yolun her iki tarafında yapılacak binalar arasında olması gereken asgari “K mesafesi,  $K = [(45.5 + 45.5) / 2] + 7,00 m = 52.5 m$ ” olması gerekirken plan değişikliği sonrasında 50 m olarak kalmış olacaktır**. Burada açıklanan inceleme bulgularına göre bu plan değişikliğinde herhangi bir “**kamu yararı**” veya “**zorunluluk**” tespit edilememiştir.

#### 4.4. “4 nolu plan değişikliği” incelemesi

“4 nolu plan değişikliği” olarak 11.03.2021 tarihinde yapılan Bayburt ili Merkez ilçesi Şingah Mahallesi 223 ada 72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,87,88,89,90, 91 92,93,94,95,96,97, 98 parseller ve 973 Ada 1 Parsel’e ait 1/1000 ölçekli uygulama imar planı

değişikliği (Plan açıklama raporu: <https://e-plan.gov.tr/Anasayfa/FileUpload?type=5&pinId=350454&gorus=False&fromAski=True&dap=False>) seçilmiştir.

### **“4 nolu plan değişikliği” öncesi durum:**

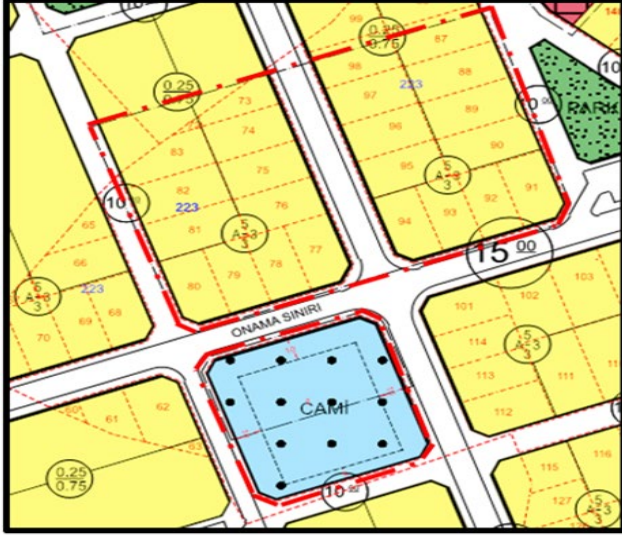
Planlama alanı 223 ve 973 nolu adaları kapsamaktadır. 223 nolu adadaki 24 adet özel mülkiyete ait parselin toplam alanı 11.392,53 m<sup>2</sup>, 973 nolu adadaki 1 adet özel mülkiyet parselinin alanı ise 4.045,90 m<sup>2</sup>’dir (Şekil 8). Yürürlükteki uygulama imar planına göre 223 nolu ada yapılaşma koşulları “**Ayrık Nizam 3 Kat, TAKS 0.25, KAKS 0.75**”, niteliği “**Gelişme Konut Alanı**” kapsamındadır. 973 Ada 1 Parsel ise “**Cami**” alanı (Şekil 9-a) kapsamındadır.



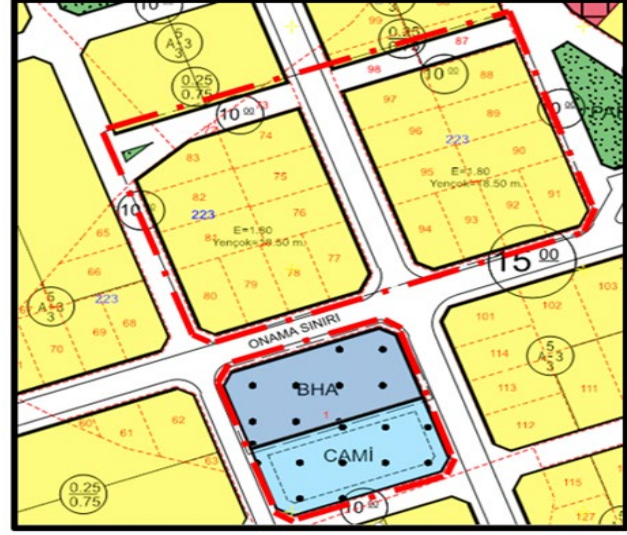
Şekil 8. 4 nolu plan düzenleme alanı uydu görünümü

**“4 nolu plan değişikliği” sonrası durum:** Şekil 9-b ‘deki düzenleme alanı incelendiğinde, 223 nolu ada, kuzeyindeki mülkiyet sınırından geçen ve 72, 73, 98 ve 87 nolu parsellere isabet eden 10 metrelik bir imar yolu tanımlanarak bölünmüş, yapılaşma koşulları **“emsal: 0.75’den Emsal:1.80, kat**

**yüksekliği 3 kattan 6 kata (Yençok=18.50 m)”**, olacak şekilde değiştirilmiştir. 973 nolu adada ise, adanın niteliğinin yarısı **“Belediye Hizmet Alanı”**, diğer yarısı **“Cami”** olarak değiştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. 4 nolu plan düzenleme alanı plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası durum (b)

#### **“4 nolu plan değişikliği” için inceleme bulguları:**

Plan açıklama raporunda yapılan değişikliğin **“03.02.2021/91 sayılı meclis kararına istinaden”** yapıldığı belirtilmiştir. Yürürlüğe girmiş imar planları üzerinde yapılacak değişiklikler bölüm 2.1’deki yasal çerçeve ve detayları yine bölüm 2.2’de açıklanan işlem sırasına göre, önce **“haklı bir gerekçeye dayandırılarak”** plan tadilatının hazırlanmasını, daha sonra **“mecliste görüşülerek karara bağlanmasını”** gerektirmektedir. Bu değişiklikte **önce meclis kararı alınmış daha sonra plan değişikliği yapılmıştır.** 223 nolu ada için yapılan emsal artışı %105, kat artışı %100’dür. Bu artışta arazi sahiplerinin %100’den daha fazla toplam inşaat alanı kazanımları söz konusu iken, herhangi bir **“kamu yararı”** veya bu değişikliği gerektirecek bir **“zorunluluk”** söz konusu değildir. Ayrıca bu değişiklik, düzenleme öncesi mevcut adanın tamamını değil, düzenleme sonrası mülkiyet sınırlarına göre oluşturulan yeni adaları kapsamaktadır. Yapılan plan değişikliğinde **“emsal artışına bağlı olarak gerçekleşen nüfus artışına hizmet vermek üzere doğan yeşil alan ihtiyacı, kendi parseli içerisinde sağlanacaktır”** denmekte, ancak yeni düzenlemede (şekil 8-b) herhangi bir yeşil alan görülmemektedir. Yapılan düzenleme sonucunda; adanın güneyindeki 15 m’lik yolun her iki tarafında yapılacak binalar arasında olması gereken asgari **“K mesafesi”** sağlanırken, adanın batısındaki 10 m’lik yol için

**“ $K = [(18.5 + 9.5) / 2] + 7,00 m = 21 m$ ”** olması gerekirken, plan değişikliği sonrasında 20 m olarak kalmış olacaktır. Ayrıca şekil 8-b’de görüldüğü gibi bu plan değişikliğinin yapıldığı düzenleme sahasının etrafındaki diğer adalar **“emsal: 0.75, kat yüksekliği: 3 m”** yapılaşma koşullarına sahiptir. Bu plan değişikliği ile söz konusu adalar için de **“Emsal: 1.80, kat yüksekliği: 6 m”** talebi ile aynı emsal ve kat artışı için plan değişikliği yolu açılmış olacaktır. Bu adalarda da aynı plan değişikliklerinin yapılması durumunda ise **“K mesafesi”** nin sağlanması zaten mümkün olmayacaktır. Burada açıklanan inceleme bulgularına göre bu plan değişikliğinde herhangi bir **“kamu yararı”** veya **“zorunluluk”** tespit edilememiştir.

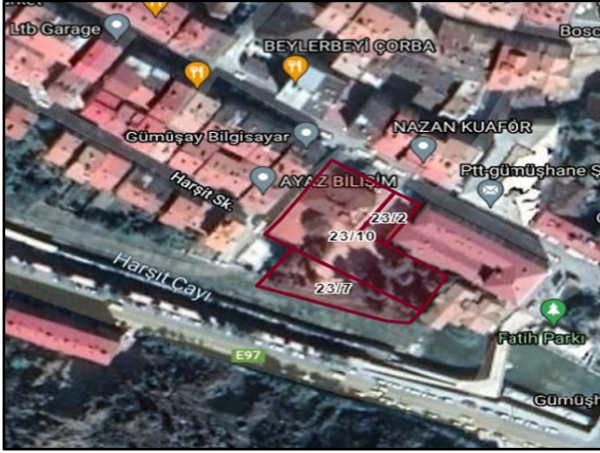
#### 4.5. “5 nolu plan değişikliği” incelemesi

“5 nolu plan değişikliği” olarak 03.03.2021 tarihinde yapılan Gümüşhane İli, Merkez İlçesi, Hasanbey Mahallesi 23 Ada, 2, 7, ve 10 nolu parsellere ait 1/1000 ölçekli imar planı değişikliği (Plan raporu: <https://e-plan.gov.tr/Anasayfa/FileUpload?type=5&pinId=349291&gorus=False&fromAski=True&dap=False>) seçilmiştir.

**“5 nolu plan değişikliği” öncesi durum:** Planlama alanı 23 nolu ada ve 2-7-10 numaralı parselleri kapsamaktadır. Adı geçen parseller özel



mülkiyete ait olup yüzölçümleriyle ilgili plan açıklama raporunda herhangi bir bilgi verilmemiştir. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgulama Uygulaması'ndan (<https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/idari/129198/23/10/1618947032088>) ilgili parsellerin toplam alanı 2655 m<sup>2</sup> bulunmuştur (Şekil 10). Yürürlükteki uygulama imar planına göre 23 nolu ada yapılaşma koşulları **“Bitişik Nizam, 5 ve 6 kat”**, niteliği **“Ticaret alanı”** (Şekil 10-a) kapsamındadır.



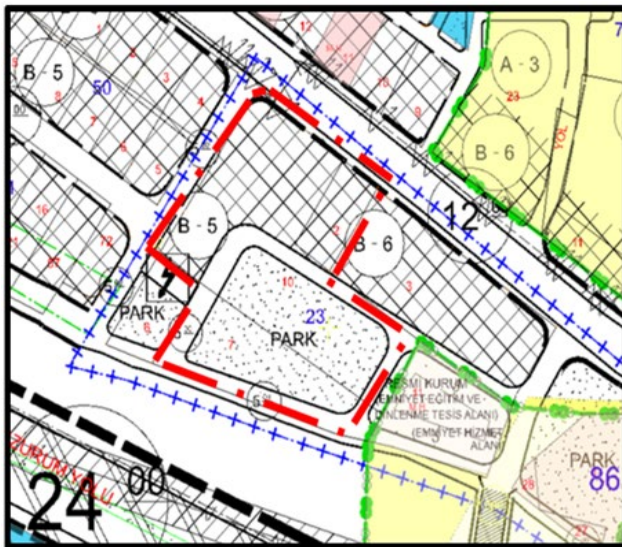
Şekil 10. 5 nolu plan düzenleme alanı uydu görünümü

**“5 nolu plan değişikliği” sonrası durum:** Plan açıklama raporunda yapılan değişiklik (Şekil 10-b) için **“23 nolu ada, 2-7-10 nolu parseller Millet Bahçesi, Ticaret + park + yol olarak yeniden planlanmış ve plan değişikliği sonucu gerekli**

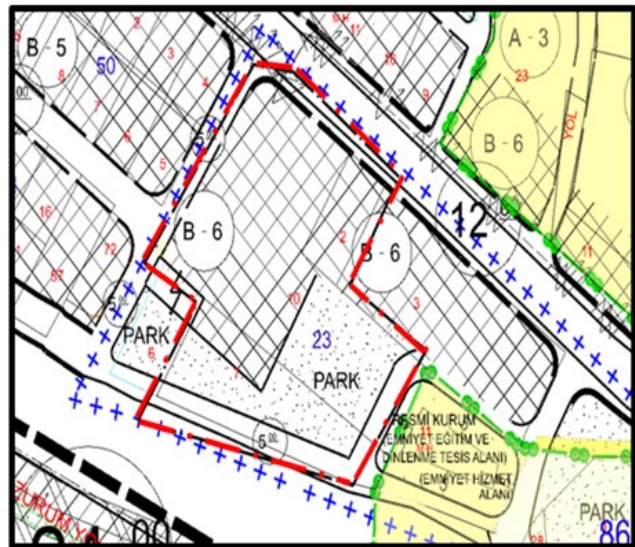
**olan yeşil alan 272 ada 1 parselden temin edilmiştir”** denilmektedir.

**“5 nolu plan değişikliği” için inceleme bulguları:**

Plan açıklama raporunda yapılan plan değişikliğinin **“mülkiyet deseni ve arazi kullanım kararları incelenerek Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliğine, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğine uygun bir biçimde”** yapıldığı belirtilmekte ancak değişiklik gerekçesinden söz edilmemektedir. Şekil 11-b incelendiğinde söz konusu raporda önemli eksikliklerin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, adanın batı tarafında **“B-5 olan yapılaşma koşulu, B-6 yapılmış”** ve plan değişikliği sonucu **“gerekli olan yeşil alanın 272 ada 1 parselden temin edildiği”** belirtilmektedir. Ancak ne plan değişikliği sonrası durumda (Şekil 11-b) ne de parsel sorgu da, aynı mahalle içinde böyle bir parsel rastlanmamıştır. Millet bahçesi olarak düzenlendiği belirtilen kısım da görülmektedir. Ayrıca düzenleme sahasındaki park alanının kuzey ve doğusunda **“iptal edilen iki adet yoldan, parkın yaklaşık 1/3 alanının ticaret alanına dönüştürülmesinden”** ve bunların **“sayısal değerlerinden”** de hiç bahsedilmemektedir. Gerek adanın batısındaki **“B-5 olan yapılaşma koşulunun B-6’ya”** gerekse **“park alanından dönüştürülen ticaret alanı”** ile arazi sahiplerine çok önemli kazanımlar sağlanmıştır. Burada açıklanan inceleme bulgularına göre bu plan değişikliğinde herhangi bir **“kamu yararı”** veya **“zorunluluk”** tespit edilemediği gibi **“park alanının kısmen ticaret alanına dönüştürülmesi”** ile önemli bir **“kamu zararından”** da söz edilebilir.



(a)



(b)

Şekil 11. 5 nolu plan düzenleme alanı plan değişikliği öncesi (a) ve sonrası durum (b)

## 5. Sonuçlar ve öneriler

Uygulama imar planları ile; şehrin sahip olduğu imkânlar bilimsel verilerle analiz edilerek, kentte yaşayanlar için, mekânsal anlamda en uygun çözümler yasal mevzuat ve plan hiyerarşisi çerçevesinde üretilir. Ancak her zaman en uygun çözümün üretilmesi mümkün olmayabilir. Bu durum çoğunlukla planlar uygulanmaya başlandığında fark edilir ve sorunun çözümü için plan değişiklikleri yapılmaktadır. Ancak bu değişikliklerin yasal mevzuata uygun olması, kamu yararının gözetilmesi ve arazi sahiplerine sağlanan “*emsal artışı ve ticaret alanına dönüştürme*” aracına indirgenmemesi gerekir. Çünkü plan değişiklik süreçleri 1985’te çıkarılan 3194 sayılı imar kanunu ile kolaylaşmış ve yerel idarelere çok geniş yetkiler verilmiştir. Seçimle işbaşına gelen yerel idarelere bu kadar geniş yetkilerin verilmesi, “*zorunlu haller*” ve “*kamu yararının gözetilmesi*” koşuluyla yapılabilen plan değişikliklerini, sıklıkla başvurulmuş bir düzenleme aracı haline getirmiştir. Böylece plan uygulamalarında yapılan parsel ölçeğindeki plan değişiklikleriyle bütüncül yaklaşımdan git gide uzaklaşmıştır. Her ne kadar 2020’de 3194 sayılı imar kanununa eklenen “Ek Madde 8” ile parsel bazında plan değişikliklerinin yapılamayacağı, ada bazlı değişikliklerde ihtiyaç duyulan sosyal teknik altyapı alanlarının adanın merkezine 500 m yarıçaplı bir alandan karşılanacağı, oluşacak değer artışının “*değer artış payı olarak kamuya aktarılacağı*” hükmü getirilse de çalışmanın 4. bölümünde incelediğimiz örneklerde de görüldüğü üzere, “*parsel bazlı*” plan değişikliği uygulamaları aynı hızla devam etmektedir. Plan değişikliği ölçütlerine uyulup uyulmadığı konusundaki sorumluluk Belediye Meclisi ve İmar Komisyonu üyelerine ait olmasına rağmen, seçmenlerine karşı hissedilen sorumluluklar ve komisyondaki uzman sayısının yeterli olmaması, ölçütlere uygunluk denetimini zaafa uğratmaktadır. Çalışmada seçilen plan değişikliği örneklerinin belirlenen yasal ölçütlere göre incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Çalışmada seçilen plan değişikliği örneklerinde; 2020 yılı sonrasına ait olmasına rağmen “*zorunlu*” bir gerekçeye dayanmayan *emsal artışı, kat artışı, konut veya park alanından ticari alana dönüştürme* gibi arazi sahiplerine önemli kazanımlar sağlandığı gözlemlenmiştir.
- 2) Kat yüksekliği artışlarında yolun her iki tarafında yapılacak binalar arasında olması gereken asgari “*K*” mesafesinin bazı durumlar için sağlanmadığını, benzer şekilde komşu

adalarda yapılacak kat artışları için ise hiç dikkate alınmadığı tespit edilmiştir.

- 3) Hala “*parsel bazlı*” plan değişikliklerinin yapılabildiği, ihtiyaç duyulan “*teknik ve sosyal altyapı ihtiyacı*” nın karşılanmadığı, bulgulara ayrıntılarıyla gösterilmiştir.
- 4) “*Ada bazlı plan değişikliklerinde oluşacak değer artışının kamuya aktarılması*” konusu henüz yeni bir durum olduğu için sonraki çalışmalarda incelenebilir. Seçilen örnekler 2020 yılı sonrasına ait olmasına rağmen bu durumdan hiç söz edilmemektedir.
- 5) İmar komisyonunda planlama-imar disiplinleriyle ilişkili meslek grubuna mensup olanların sayısı oldukça az olduğu için plan değişikliği ölçütlerine uyulup uyulmadığı tam olarak belirlenmemektedir. Marmara bölgesi imar komisyonu üyelerinin mesleki profilleri ile ilgili bir çalışmada üyeler arasında “*mühendis*” olanların oranı %24.8 olarak bulunmuştur (Oktay, 2013). Plan değişikliklerinde “*plan değişikliği ölçütlerine uyulup uyulmadığı*” konusundaki sorumluluk Belediye Meclisi ve İmar Komisyonu üyelerine ait olmasına rağmen, seçmenlerine karşı hissedilen sorumluluklar “*plan değişiklik ölçütleri*” ne uygunluk denetimini zaafa uğratmaktadır. Çalışmada incelenen örneklerdeki bulgular, “*plan değişikliği ölçütleri*” ne çoğunlukla uyulmadığını açıkça gösterir niteliktedir.
- 6) İncelenen plan değişikliklerinden birisi hariç tamamında “*kamu yararı*” veya “*zorunluluk*” tespit edilememiştir.

Bu sonuçlar dikkate alındığında ülkemizde plan değişikliklerinde “*kamu yararı*” ndan çok “*bireysel yararlar*” ın daha ön planda tutulduğu söylenebilir. Bunun önlenmesi konusundaki öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Plan değişikliklerini inceleyen Belediye Meclisi imar komisyonu, planlama ve imar konularında mesleki yeterliliğe sahip üyelerden oluşturulmalıdır. Bunun için Belediye Meclisi aday listelerinin oluşturulma aşamasında söz konusu yeterliliklere sahip kişilere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- 2) Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği’nin 26/1 maddesinde “*İmar planı değişikliği; plan ana kararlarını, sürekliliğini, bütünlüğünü, sosyal ve teknik altyapı dengesini bozmayacak nitelikte, kamu yararı amaçlı, teknik ve nesnel gerekçelere dayanılarak yapılır*” denmektedir. Çoğunlukla “*soyut-nesnel*” olan bu kriterlere uygunluğun belirlenebilmesi, plan değişikliğini talep eden/yarar sağlayacak



kişiler veya seçmen baskısı altındaki imar komisyonu üyelerinden beklenmemelidir. Plan değişikliklerinde söz konusu kriterlere uymama durumu daha çok özel mülkiyete ait arazilerdeki plan değişikliklerinde sağlanan büyük imar kazanımları ile ilgilidir. Bu nedenle imar komisyonu kamu kurumları dışında hazırlanan her plan değişikliği için Üniversite Şehir Planlama veya Harita Mühendisliği bölümlerindeki ilgili uzmanlardan, “**Plan Değişiklik Kriterlerine Uygunluk Raporu**” istemeli ve bu rapora göre kararını vermelidir.

- 3) İmar planları hazırlanırken yapılan ön çalışmalarındaki veriler titizlikle toplanarak incelenmeli, süreç şeffaflık içerisinde yürütülmeli ve kentin yerel-fiziki- sosyal yapısına uygun imar planları yapılmalıdır. Bu durum plan değişiklik taleplerini büyük oranda azaltacaktır.
- 4) Şehirlerimizin yaşanabilir bir mekânsal dokuya sahip olması o kentte yaşayanları mutlu kılar. Bu sorumluluk sadece yerel idareciler ve imar komisyonu üyelerine yüklenemez. Bunun için ortak ve sosyal bir bilincin oluşmasına ihtiyaç vardır. Bu olgu ve bilinçlenme düzeyi, yerel idarelerin bu konularda yapacağı çeşitli etkinlik ve sosyal medya yayınları ile oluşturulabilir.

## Kaynaklar

- Alfasi, N. (2006). Planning policy? Between long-term planning and zoning amendments in the Israeli planning system. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 38(3), 553-568. <https://doi.org/10.1068/a37335>
- Altın, Y. (2006). *İstanbul metropoliten alanında imar planı değişiklikleri ile ilgili bir analiz*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bademli, R. S. (1998). *Modifying urban physical development plans in metropoliten cities: Case of Ankara*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Bakır, N. Y. Doğan, U. Güngür, M. K. and Bostancı, B. (2018). Planned development versus unplanned change: The effects on urban planning in Turkey, *Land Use Policy*, 77, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.036>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2021). Türkiye geneli plan istatistikleri, Erişim adresi <https://e-plan.gov.tr/KesinlesenPlanListesi>
- Çiçek, K. (2016). *İmar plan değişikliklerinin usul ve esasları*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.

- Çolak, N. İ. ve Öngören, G. (2014). *İmar planları, imar uygulamaları ve iptal davaları* (2. Baskı). İstanbul: Öngören Hukuk Yayınları.
- Demir, A. M. (2009). *İmar planı değişikliklerinin değerlendirilmesi Zeytinburnu örneği*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Eminagaoglu, Z. (2018). Examination of zoning plan modifications and effects on whole plan: Artvin sample, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(9), 69-80. ISSN 2422-8702 (Online).
- Ersoy, M. (1997), İmar planı değişiklikleri ve yargı denetimi, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (17:1-2), 53-73.
- İnceyol, Y. (2019). İmar planı tadilatlarında arazi sahiplerinin kazanımları ve mekânsal dokuda oluşturduğu etkilerin incelenmesi. Mehmetoğlu, T. ve Şahin, E. İ. (Ed), *1. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi (İSPEC) Cilt 2* (pp. 120-128), Malatya.
- Karaman, S. (2012). *İmar planı değişiklikleri konusunda Muğla/Yalıkavak örneği üzerine bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.
- Keleş, R. ve Mengi, A. (2014). *İmar Hukukuna Giriş* (2. Baskı). Ankara: İmge Yayınevi.
- Kılınç, N. ve Türk, Ş. Ş. (2018). İmar planı değişikliği talebi-arzı ve sosyo-ekonomik değişkenler arasındaki ilişki: İstanbul örneği, Kubat, A. S. vd. (Ed), *Türkiye kentsel morfoloji araştırma ağı II. kentsel morfoloji sempozyumu* (pp. 853-870) İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkılla, İstanbul.
- Namlı, B.S. (2017). *İmar planlarının hazırlanması ve uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Hukuk Anabilim Dalı Kamu Hukuku Yüksek Lisans Programı, Ankara.
- Oktay, T. (2013). *Kuramdan uygulamaya yerel yönetimler ve kentsel politikalar, belediye meclisi imar komisyonlarının üye profili: Marmara Bölgesi Örneği* (1. Baskı). Ankara: Pegem Akademi Yayınları.
- Öngören, G. (2020). Yargı kararları ışığında imar hukuku, Öngören Hukuk Yayınları, Yayın No: 8, İstanbul.
- Sesli, F. A. ve Karadavut, E. (2009). İmar planı değişikliklerinin plan bütünlüğüne etkilerinin incelenmesi, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi* (02-06 Kasım), İzmir.
- Suher, H. (1985). Plan, planlama-düzenleme kavramları, planlamanın fonksiyonları,

- planlamanın meşguliyet alanı. *Şehircilik*, İTÜ ŞBP. S: 6-10, 18-19, 24-25.
- Tekeli, İ. (1988). Mülkiyet kurumu, kamu yararı kavramı ve imar planları üzerine. *Planlama Dergisi*, TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını. s: 6-16.
- TMMOB Şehir Plancıları Odası, 10. Dönem Çalışma Raporu (2018-2020), s: 34, Erişim adresi [https://www.spo.org.tr/resimler/ekler/1d760dda9458e58\\_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=3](https://www.spo.org.tr/resimler/ekler/1d760dda9458e58_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=3)
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2021). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2020, Erişim adresi <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayal%C4%B1-N%C3%BCfus-Kay%C4%B1t-Sistemi-Sonu%C3%A7lar%C4%B1-2020-37210&dil=1>
- Tiyek, Y. ve Ulusoy, Y. (2020). İmar planlarının yapılması, değiştirilmesi ve ortadan kaldırılması usulleri. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi, PIAR'2020 / 7(2)*, 262-287. <https://doi.org/10.47097/piar.823555>
- Turgut, K. (2012). *Yerel ve kentsel politikalar: Belediyelerde imar planı değişikliği uygulamaları ve denetimi* (2. Baskı). Konya: Çizgi Kitabevi Yayınları.
- Ünlü, T. (2007). Mersin'in mekansal biçimlenme süreci ve planlama deneyimleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 425-436.
- Ünlü, T. (2009). Mekansal planlamanın kentin biçimlenmesine etkisi: Mersin örneği, *Planlama Dergisi*, 3 (4), 27-42.
- Ünlü, T. (2018). Mekânın biçimlendirilmesi ve kentsel morfoloji, Kubat, A. S. vd. (Ed), *Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu* (pp.59-70). İstanbul: İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla.
- Yavuz, U. ve Sertyeşilşik, B. (2019). Mekânsal alanlarda plan değişikliklerinin gayrimenkul üretim/arz eğilimlerine etkileri, *International Journal of Political Science & Urban Studies*, 7(2), 543-567. <https://doi.org/10.14782/ipsus.623466>
- Yıldız, F. (2014). *İmar bilgisi Planlama-Uygulama-Mevzuat* (9. Baskı). Ankara: Nobel Yayınevi.

## Çok bantlı görüntülerde pan-keskinleştirme üzerine bir inceleme

*A review on pansharpening of multispectral images*

Çiğdem ŞERİFOĞLU YILMAZ<sup>\*1,a</sup>, Volkan YILMAZ<sup>2,b</sup>, Oğuz GÜNGÖR<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin

<sup>3</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı, 06590, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 15.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 02.10.2021

### Öz

Uzaktan algılama uyduları, algılayıcılarındaki teknik kısıtlamalardan dolayı hem uzamsal detay kalitesi hem de spektral kalitesi yüksek görüntüler üretememektedir. Bu durum, kullanıcıları yüksek uzamsal çözünürlüklü çok bantlı görüntüler elde edebilme konusunda yeni arayışlar içine sokmaktadır. Pan-keskinleştirme işlemi bu probleme etkin bir çözüm sunmaktadır. Pan-keskinleştirme, yüksek uzamsal çözünürlüklü bir pankromatik görüntünün uzamsal detaylarının, yüksek spektral çözünürlüklü çok bantlı bir görüntüye aktarılarak uzamsal çözünürlüğü yüksek çok bantlı bir görüntü üretilmesi işlemidir. Literatürde pan-keskinleştirme için oldukça fazla sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin her birinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Bu durum, kullanıcıları hangi durumda hangi yöntemin kullanılması gerektiği hususunda tereddüte düşürmektedir. Genel amacı, literatürdeki çeşitli konvansiyonel ve gelişmiş pan-keskinleştirme yöntemleri hakkında teorik bilgiler vermek ve bu yöntemlerin hangi durumlarda kullanılabilceği hususunda analistlere yol göstermek olan bu çalışmanın, pan-keskinleştirme hakkında iyi bir rehber olacağı kanaatindeyiz. Çalışmada, ayrıca pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin görsel ve sayısal olarak nasıl değerlendirilebileceği hakkında da bilgiler verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü kaynaştırma, Pan-keskinleştirme, Sayısal görüntü işleme, Veri füzyonu

### Abstract

Remote sensing satellites cannot produce images of high spatial detail quality and spectral quality due to technical limitations in their sensors, which forces users to find alternative ways to produce such images. Pan-sharpening offers an effective solution to this problem. Pan-sharpening aims to transfer the spatial details of a high-resolution panchromatic image into a high spectral resolution image, producing a multispectral image of high spatial resolution. A wide variety of pansharpening methods have been proposed in the literature. Each pansharpening method has its own advantages and disadvantages. This situation makes users hesitant about which method should be used under what situation. We believe that this study, whose primary objective is to provide theoretical information about various conventional and state-of-the-art pan-sharpening methods in the literature, and to guide the analysts as to which pansharpening methods should be used under what circumstances, will be a good pan-sharpening guide. This study also provides information on how the spatial and spectral quality of pan-sharpened images may be evaluated qualitatively and quantitatively.

**Keywords:** Image fusion, Pan-sharpening, Digital image processing, Data fusion

\*a Çiğdem ŞERİFOĞLU YILMAZ; cigdem\_srf@hotmail.com, Tel: (0462) 377 27 66, orcid.org/0000-0002-9738-5124

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0685-8369

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-3280-5466

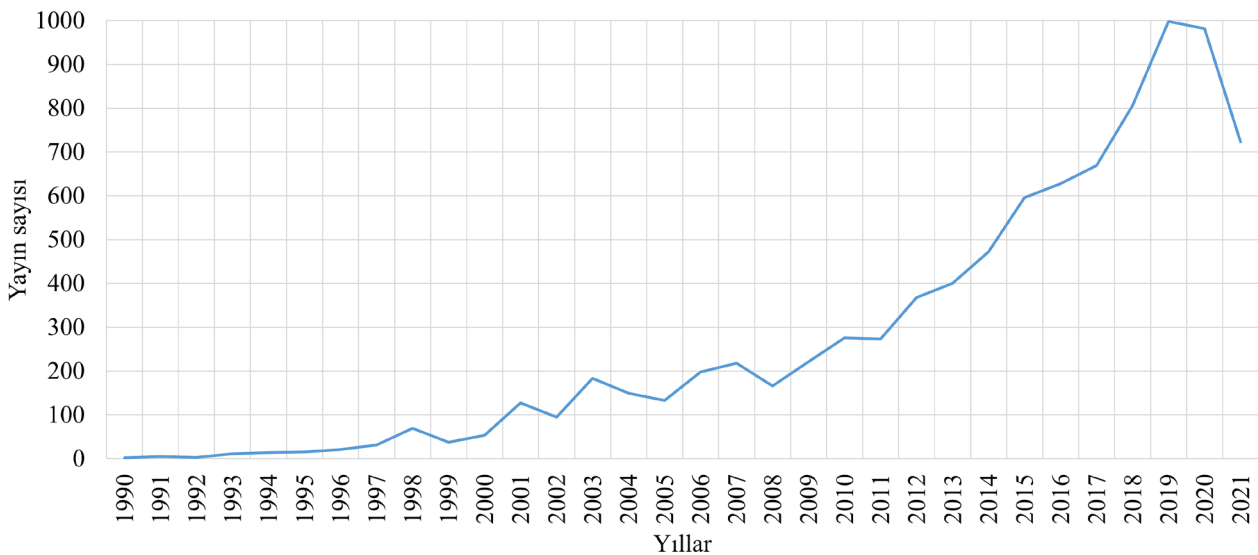
## 1. Giriş

40 yıldan uzun bir süredir sürekli gelişen uydu teknolojileri sayesinde yeryüzünün istenilen sıklıkta ve yüksek doğrulukla görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Uzaydaki yörüngelerinde seyreden uzaktan algılama uyduları tarafından çekilen görüntüler çeşitli mühendislik uygulamalarında altlık olarak kullanılmaktadır. Çoğu durumda yersel ölçüm tekniklerine göre daha kısa zamanda ve daha az maliyette arazi kullanımı ve konum bilgisi sağladıklarından dolayı haritacılıktan madencilige, ormancılıktan şehir plancılığına birçok disiplin uydu görüntülerinden faydalanmaktadır (Kamir vd., 2020; Liu vd., 2020; Farwell vd., 2021; Wang vd., 2021; Khatancharoen vd., 2021).

Uzaktan algılama uydularının ürettiği görüntüler ile ilgili olarak iki önemli çözümlüklükten söz edilebilir: uzamsal çözümlüklük ve spektral çözümlüklük. Uzamsal çözümlüklük uydu görüntüsü üzerinde göz ile ayırt edilebilen en küçük nesnenin boyutuyla ilişkilidir. Diğer bir deyişle, uzamsal çözümlüklük uydu görüntüsünün bir pikselinin alanının yeryüzündeki karşılığını temsil eder. Spektral çözümlüklük ise yeryüzünden yansiyarak gelen elektromanyetik enerjinin kaydedildiği dalga boyu aralığının genişliği ile ilgilidir. Elektromanyetik enerji ne kadar dar ve fazla sayıda dalga boyu aralığında depolanıyorsa spektral çözümlüklük o kadar fazladır. Bu nedenledir ki Hyperion, AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) ve PROBA gibi uydular IKONOS, QuickBird, WorldView-I-II-III gibi uydulara göre daha fazla sayıda bant ve dolayısıyla daha yüksek spektral çözümlüklükte görüntü sunmaktadır.

Günümüzde birçok mühendislik uygulaması uzamsal detay kalitesi ve spektral kalitesi yüksek görüntülere ihtiyaç duymaktadır. Ancak, uydu sensörlerinin sayısındaki artış görüntülerin bant sayılarını arttırmakta, bu da her bir sensöre düşen enerji miktarını azaltmaktadır. Bu enerji kaybının azaltılması için sensör boyutları büyütülmekte ve bu durum da görüntülerin uzamsal çözümlüklüğünü düşürmektedir. Uydulardaki bu teknik kısıtlamadan dolayı hem spektral çözümlüklüğü hem de uzamsal çözümlüklüğü yüksek görüntüler elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır (Yılmaz ve Gungor, 2016a). Bu nedenle kullanıcılar ya spektral kalitesi ya da uzamsal detay kalitesi yüksek görüntüler kullanabilmekte ve bunun doğal sonucu olarak ya renk kalitesinden ya da uzamsal detay kalitesinden feragat etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu durum da kullanıcıları yüksek uzamsal detay içeriğine sahip çok bantlı görüntüler üretmeye yöneltmektedir. Pan-keskinleştirme bu tarz görüntüler üretmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Pan-keskinleştirmedeki temel amaç hem spektral kalitesi hem de uzamsal detay kalitesi yüksek olan çok bantlı görüntüler üretilmesidir (Yılmaz vd., 2020). Bu amaçla 1980'lerden günümüze kadar oldukça fazla sayıda pan-keskinleştirme yöntemi literatüre kazandırılmıştır. Şekil 1' de son 30 yıl içerisinde Web of Science (WOS) kapsamında yayınlanan pan-keskinleştirme konulu yayınların sayısı gösterilmektedir (Not: Şekilde gösterilen sayılar WOS arayüzünde (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>) pan-keskinleştirme konulu yayınların taranması ile elde edilmiştir).



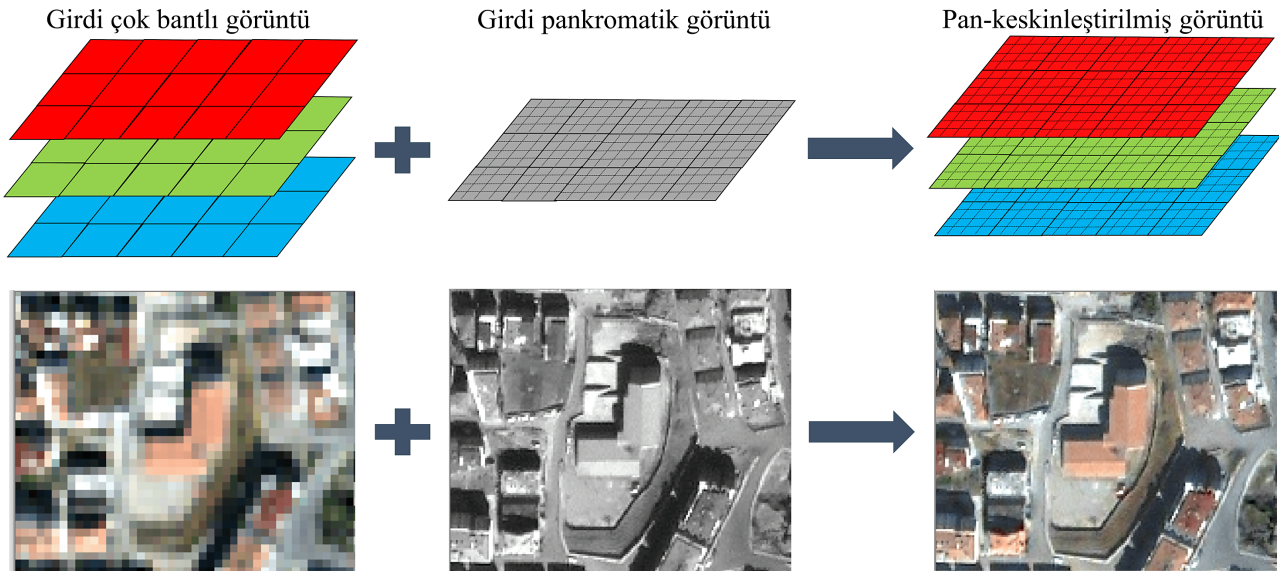
Şekil 1. Son 30 yıl içinde WOS kapsamında yayınlanan pan-keskinleştirme konulu yayın sayıları.

Pan-keskinleştirme literatürü incelendiğinde uzamsal detay içeriğini korurken aynı zamanda spektral kaliteyi de tam anlamıyla koruyan bir pan-keskinleştirme yönteminin şu ana kadar geliştirilemediği görülmektedir (Pohl ve van Genderen, 2016; Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Bu durum araştırmacıları geliştirdikleri yeni yaklaşımlar ile bu problemi çözme veya tam anlamıyla bir çözüm sağlanamasa bile spektral ve uzamsal detay kalitesi arasında daha başarılı bir dengeye ulaşabilme noktasında teşvik etmektedir (Yılmaz vd., 2021). Bu nedenle, pan-keskinleştirme literatürü farklı pan-keskinleştirme yaklaşımları ile günden güne büyümektedir (Bkz. Şekil 1). Bunun negatif bir getirisi olarak, kendi uygulamaları için pan-keskinleştirmeye ihtiyaç duyan kullanıcılar hangi yöntemin kullanılması gerektiği konusunda tereddüte düşmektedir. Pan-keskinleştirmedeki bir diğer önemli husus ise pan-keskinleştirme ile üretilen görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin irdelenmesidir. Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin kaliteleri görsel (nitel) olarak irdelenebildiği gibi, geliştirilen bazı kalite metrikleri yardımıyla sayısal (nicel) olarak da irdelenebilmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Nicel değerlendirme amacıyla geliştirilen oldukça fazla sayıda kalite metriği bulunmaktadır. Bu metriklerin her biri spektral veya uzamsal detay kalitesini farklı yaklaşımlar ile ölçmektedir, dolayısıyla, her birinin kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Güncel literatür incelendiğinde pan-keskinleştirme gibi önemli bir konudaki Türkçe kaynak eksikliği göze çarpmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı pan-keskinleştirme konsepti hakkında temel bilgiler sağlamak, şu ana kadar geliştirilen konvansiyonel ve modern pan-keskinleştirme stratejileri hakkında detaylı bir inceleme sunmak, üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin nasıl irdelenebileceği hususunda bilgiler vermek ve son olarak hangi durumlarda hangi pan-keskinleştirme stratejilerinin kullanılacağı hakkında ipuçları vermektir.

## 2. Pan-keskinleştirme

Pan-keskinleştirmede amaç, uzamsal detay kalitesi (uzamsal çözünürlüğü) yüksek olan bir pankromatik görüntünün içerdiği detayların uzamsal çözünürlüğü daha düşük olan çok bantlı bir görüntüye aktararak hem uzamsal detay kalitesi hem de spektral çözünürlüğü yüksek çok bantlı bir görüntü üretmektir. Pan-keskinleştirme işlemi sonucunda elde edilen görüntünün uzamsal çözünürlüğünün, girdi pankromatik görüntünün uzamsal çözünürlüğüne sahip olması beklenmektedir. Uygulama sonucunda uzamsal detay içeriği artırılırken girdi çok bantlı görüntünün spektral içeriği de korunuyorsa pan-keskinleştirme işleminin başarıyla gerçekleştirildiği söylenebilir (Yılmaz vd., 2021). Pan-keskinleştirme konsepti Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Pan-keskinleştirme konsepti (Serifoglu Yılmaz, 2020).

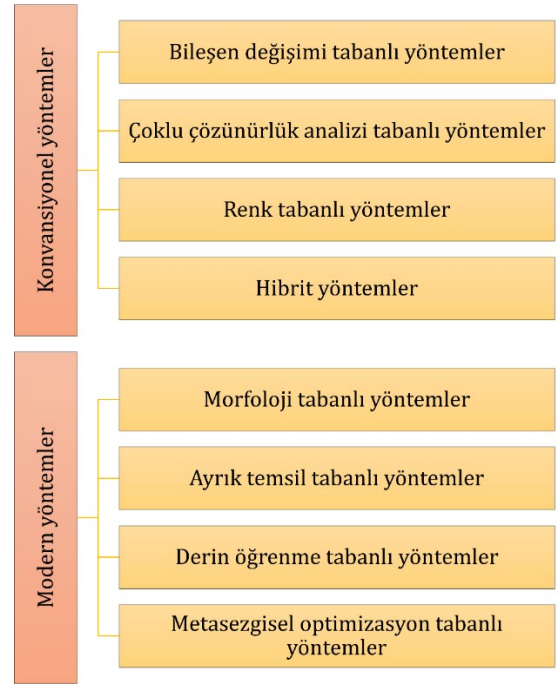
Pan-keskinleştirme işleminin başarısına etki eden çeşitli faktörler vardır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020; Yılmaz vd., 2021). Uygulamada kullanılacak olan

pankromatik ve çok bantlı görüntülerin uzamsal çözünürlükleri arasında ne kadar fazla fark varsa pan-keskinleştirme işlemi o kadar zor olmaktadır

(Yılmaz ve Gungor, 2016b; Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Ayrıca girdi görüntülerin aynı sensör tarafından üretilip üretilmediği de pan-keskinleştirme işleminin başarısına doğrudan etki etmektedir. Farklı sensörlerden elde edilen görüntüler elektromanyetik spektrumun farklı aralıklarına duyarlı olduklarından dolayı bu görüntüler ile pan-keskinleştirme yapıldığında renk bozulmaları kaçınılmaz olacaktır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Pan-keskinleştirme işleminin başarısına etki eden bir diğer etmen ise girdi çok bantlı ve pankromatik görüntülerin projeksiyon bilgileridir. Eğer girdi görüntüler farklı projeksiyon bilgilerine sahipse bir başka deyişle farklı koordinat sistemlerinde tanımlıysa bu görüntülerin pan-keskinleştirilmesi sonucunda elde edilen görüntüdeki uzamsal detaylarda kayıklıklar olacaktır. Diğer bir yandan, yüksek pan-keskinleştirme başarısı için girdi görüntülerin çekim tarihleri birbirine yakın olmalıdır. Eğer girdi görüntülerin çekim tarihleri arasında fazla fark varsa bir görüntüdeki uzamsal detaylar diğer görüntüde olmayacağından dolayı pan-keskinleştirilmiş görüntüde yapay renkler oluşacak (Pohl ve van Genderen, 1998) ve dolayısıyla renk bozulmaları kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca pan-keskinleştirmede kullanılacak olan görüntülerde çeşitli atmosferik veya radyometrik bozulmalar mevcutsa bu bozuklukların uygulamadan önce giderilmesi pan-keskinleştirme performansına olumlu etki yapacaktır. Pan-keskinleştirme başarısına etki eden bir diğer faktör ise kullanıcının tecrübesidir. Eğer kullanıcı yöntemlerin çalışma prensipleri ve zayıf yönleri hakkında bilgi sahibiyse hangi durumlarda hangi yöntemi kullanması gerektiğini kestirebilir ve bu sayede de maksimum pan-keskinleştirme performansına ulaşabilir (Serifoglu Yılmaz vd., 2020).

### 3. Pan-keskinleştirme yöntemleri

1980'lerden günümüze kadar literatürde oldukça fazla sayıda pan-keskinleştirme yöntemi tanımlanmıştır. Bu yöntemler incelendiğinde bunların ya spektral yapıyı ya da uzamsal detay içeriğini koruma eğiliminde oldukları görülmektedir. Dolayısıyla 'en iyi pan-keskinleştirme yöntemi' diye bir şeyden söz etmek mümkün değildir (Pohl ve van Genderen, 2016; Serifoglu Yılmaz vd., 2020; Yılmaz vd., 2020). Bu nedenle pan-keskinleştirme uygulamayı düşünen araştırmacılar ya spektral ya da uzamsal detay kalitesinden belli oranda feragat etmek zorunda olduklarını göz önünde bulundurmalıdır.



Şekil 3. Pan-keskinleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması

Güncel literatür incelendiğinde pan-keskinleştirme yöntemlerinin sınıflandırılmasına dair bir standardın olmadığı görülmektedir. Sınıflandırma için farklı kriterler göz önünde bulundurulduğundan aynı pan-keskinleştirme yönteminin farklı çalışmalarda farklı kategoriler altında gösterilmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Örneğin, Yumuşatma Filtresi Tabanlı Yoğunluk Modülasyonu (Smoothing Filter-Based Intensity Modulation - SFIM) yöntemi (Liu, 2000) Vivone vd., (2015) tarafından çoklu çözünürlük analizi (multiresolution analysis) tabanlı yöntemler kategorisinde değerlendirilirken Yılmaz vd., (2020) tarafından renk tabanlı yöntemler kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada pan-keskinleştirme yöntemleri konvansiyonel ve modern yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Literatürde yer alan konvansiyonel pan-keskinleştirme yöntemleri; bileşen değişimi (component substitution) tabanlı, çoklu çözünürlük analizi tabanlı, renk tabanlı ve hibrit yöntemler olmak üzere dört kategori altında incelenmiştir. Modern yöntemler başlığı altında ise morfoloji tabanlı, ayrık temsil (sparse representation) tabanlı, derin öğrenme (deep learning) tabanlı ve metasezgisel optimizasyon (metaheuristic optimization) tabanlı yöntemlere yer verilmiştir (Bkz. Şekil 3).



### 3.1. Konvansiyonel yöntemler

#### 3.1.1. Bileşen değişimi tabanlı yöntemler

Bileşen değişimi tabanlı yöntemler, girdi çok bantlı görüntüyü spektral ve uzamsal detayların farklı bileşenlerde depolanabildiği farklı bir uzaya dönüştürür. Bu yeni uzayda, uzamsal detayları barındıran bileşen girdi pankromatik görüntü ile yer değiştirir. Elde edilen veriye ters dönüşüm uygulanarak orijinal uzayda pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiş olur (Ghassemian, 2016). Bileşen değişimi tabanlı yöntemler genellikle yüksek uzamsal detay kalitesinde görüntüler vaat etmelerine rağmen girdi çok bantlı görüntünün renk yapısını bozma eğilimindedir (Xing vd., 2018; Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Ayrıca kullanımları kolaydır ve karmaşık matematiksel hesaplamalara dayanmazlar (Ghahremani vd., 2019; Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Çarpımsal (Multiplicative) yöntem (Crippen, 1989), Brovey yöntemi (Hallada ve Cox, 1983), Sentetik Değişken Oranı (Synthetic Variable Ratio - SVR) yöntemi (Munehika vd., 1993), Intensity-Hue-Saturation (IHS) yöntemi (Haydn vd., 1982), Modifiye edilmiş IHS (MIHS) yöntemi (Siddiqui, 2003), Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis - PCA) yöntemi (Chavez ve Kwarteng, 1989), Gram-Schmidt (GS) yöntemi (Laben ve Brower, 2000), Adaptif GS (AGS) yöntemi (Aiuzzi vd., 2007) ve Ehlers yöntemi (Ehlers, 2004; Klonus ve Ehlers, 2007) sıklıkla kullanılan bileşen değişimi tabanlı yöntemlerdendir.

En basit pan-keskinleştirme yöntemlerinden biri olan çarpımsal yöntem, girdi çok bantlı görüntünün her bir bandını girdi pankromatik görüntü ile çarparak pan-keskinleştirilmiş görüntünün her bir bandını oluşturur (Crippen, 1989). Bu çarpım işlemi piksel vektörlerini gereğinden fazla büyüttüğü için bu yöntem renk kalitesine yüksek oranda zarar vermektedir (Yılmaz vd., 2020). Çarpımsal yöntemin gelişmiş bir hali olan Brovey yöntemi, öncelikle girdi çok bantlı görüntünün her bir bandını girdi pankromatik görüntü ile çarpar, sonrasında bu görüntüyü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının toplanmasıyla elde edilen bir yoğunluk görüntüsüne bölerek pan-keskinleştirilmiş bantları oluşturur (Hallada ve Cox, 1983). Brovey yöntemi yoğunluk görüntüsünü üretirken girdi çok bantlı görüntünün bantlarının ağırlıklarını eşit kabul eder. Ancak, teorik olarak birçok senaryoda her bir bandın pan-keskinleştirmeye katkısı eşit olamaz. Dolayısıyla renk kalitesini daha başarılı bir şekilde korumak için her bir banda gerçekçi bir ağırlık atanmalıdır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). SVR yöntemi

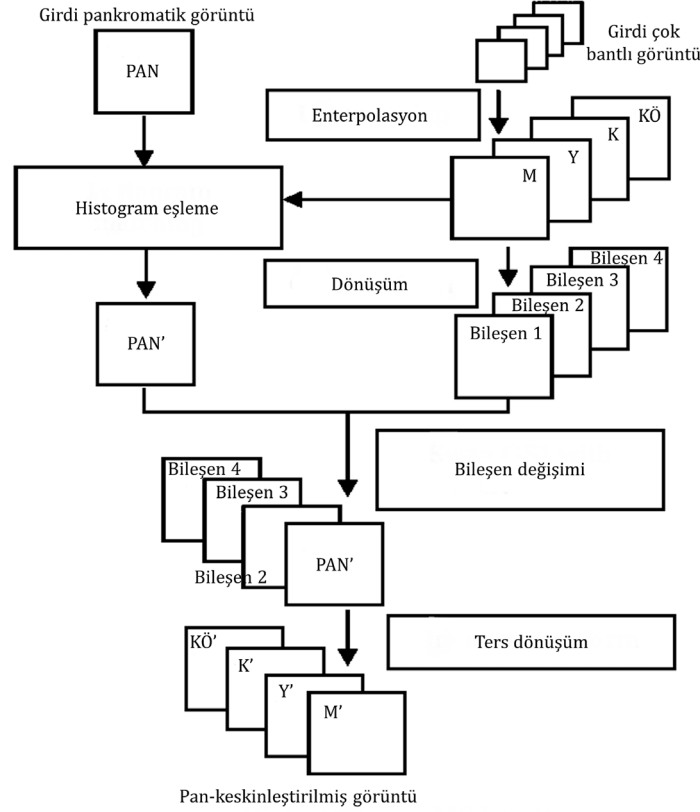
Brovey yönteminin geliştirilmiş halidir. Brovey yönteminde yoğunluk görüntüsü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının toplamıyla elde edilirken SVR yönteminde bu görüntü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının ağırlıklı toplamı şeklinde elde edilmektedir. Bant ağırlıkları ise regresyon analizi ile belirlenmektedir (Munehika vd., 1993). Bu yaklaşım çarpımsal yöntem ve Brovey yöntemine oranla daha başarılı renk korunumu sunmaktadır (Serifoglu Yılmaz vd., 2019).

Diğer bir bileşen değişimi tabanlı yöntem olan IHS yöntemi, girdi çok bantlı görüntüye IHS dönüşümü uygulayarak görüntüyü IHS uzayına dönüştürür. Elde edilen yoğunluk (intensity) bileşeni ile girdi pankromatik görüntü yer değiştirir ve ters IHS dönüşümü ile pan-keskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Haydn vd., 1982). IHS yönteminin en büyük dezavantajı sadece üç banda sahip olan çok bantlı görüntüler ile çalışabilmesidir. Bu nedenle bant sayısı üçten fazla olan görüntüler için MIHS yöntemi geliştirilmiştir. MIHS yöntemi pan-keskinleştirilmiş görüntüyü girdi çok bantlı görüntünün üçlü bant kombinasyonları şeklinde hesaplamaktadır (Siddiqui, 2003). MIHS yönteminin performansı girdi görüntülerin duyarlı oldukları elektromanyetik spektrum aralığına bağlıdır. Eğer girdi görüntüler aynı sensörden elde edilmişse MIHS yöntemi daha yüksek performans sergileme eğilimindedir. MIHS yönteminin performansını etkileyen bir diğer faktör ise kullanılan IHS dönüşümüdür. Farklı IHS dönüşümleri ile farklı kalitelerde pan-keskinleştirilmiş görüntüler elde etmek mümkündür (Serifoglu Yılmaz vd., 2019).

Literatürde sıklıkla kullanılan bileşen değişimi tabanlı yöntemlerden biri olan PCA yöntemi, ilk aşama olarak girdi çok bantlı görüntüye temel bileşenler analizi dönüşümü uygular. Elde edilen ilk temel bileşenin görüntüdeki varyans (uzamsal detay) bilgisinin tamamını içerdiği varsayımına dayanarak girdi pankromatik görüntüyü bu bileşenin yerine koyar. Son aşama olarak ters PCA dönüşümü ile pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (Chavez ve Kwarteng, 1989). GS yöntemi, PCA yöntemine oldukça benzeyen başka bir istatistik tabanlı yöntemdir. Çalışma prensibi PCA'ya oldukça yakın olan GS yöntemi ilk aşama olarak girdi çok bantlı görüntünün bantlarını kullanarak düşük çözünürlüklü bir pankromatik görüntü üretir. Standart GS yöntemi bu pankromatik görüntüyü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının ortalaması şeklinde hesaplamaktadır. Kullanıcı tarafından başka bir düşük çözünürlüklü pankromatik görüntü tanımlamak da mümkün olmakla beraber bu pankromatik görüntü, girdi pankromatik

görüntünün alçak geçirgen (low-pass) bir filtre ile filtrelenmesi ile de elde edilebilir (Yılmaz, 2021). Elde edilen düşük çözünürlüklü pankromatik görüntü ve girdi çok bantlı görüntünün bantları vektöre dönüştürülür. Çok bantlı görüntünün bantlarına ait vektörler ve düşük çözünürlüklü görüntü vektörü birleştirildikten sonra GS dönüşümü uygulanır. Burada ilk bileşen vektörü ile girdi pankromatik görüntü vektörü yer değiştirilir. Son aşama olarak elde edilen veriye ters GS dönüşümü uygulanarak pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (Laben ve Brower, 2000). GS

yönteminin gelişmiş bir versiyonu olan AGS yöntemi, düşük çözünürlüklü pankromatik görüntüyü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının ağırlıklı ortalaması şeklinde hesaplar. Bantların ağırlıkları, girdi pankromatik görüntü ve çok bantlı görüntünün bantlarının çok değişkenli regresyonuyla kestirilir (Aiuzzi vd., 2007). PCA ve GS tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri istatistiksel temellere dayanır ve performansları büyük oranda çalışma bölgesinin karakteristiklerine ve girdi görüntüler arasındaki istatistiksel ilişkiye bağlıdır (Yılmaz vd., 2021).



**Şekil 4.** Bileşen değişimi tabanlı pan-keskinleştirme yöntemlerinin çalışma prensibi (Hallabia vd., 2014) (M, Y, K, KÖ, sırasıyla mavi, yeşil, kırmızı ve kızıl ötesi bantları temsil etmektedir).

Bu kategoride incelenecek diğer bir pan-keskinleştirme algoritması olan Ehlers yönteminde, ilk aşama olarak girdi çok bantlı görüntüye IHS dönüşümü uygulanır. Ardından IHS dönüşümü ile elde edilen yoğunluk bileşeni ve girdi pankromatik görüntü Fourier uzayına dönüştürülür. Bu uzayda, pankromatik spektrum bir yüksek geçirgen filtre ile, yoğunluk spektrumu ise düşük geçirgen bir filtre ile filtrelenir. Filtrelenen spektrumlar ters Fourier dönüşümü ile orijinal renk uzayına geri döndürülür ve bu uzayda elde edilen görüntüler toplanarak yeni yoğunluk bileşeni üretilir. Bu yeni yoğunluk bileşeni daha önceden elde edilen renk (hue) ve beyaza doygunluk (saturation) bileşenleri ile birlikte ters

IHS dönüşümüne tabi tutularak pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (Ehlers, 2004; Klonus ve Ehlers, 2007). Ehlers yöntemi girdi görüntüleri frekans uzayında filtrelediği için spektral ve uzamsal detay bilgisini yüksek oranda koruma eğilimindedir. Ayrıca yöntem, IHS dönüşümünden faydalandığı için performansı kullanılan IHS dönüşümüne bağlıdır. Ehlers yönteminin en büyük avantajlarından biri ise kullanıcılara frekans uzayında kullanacakları filtrelerin türlerini ve boyutlarını belirleme imkânı sunmasıdır. Bu sayede kullanıcılar arzu ettikleri kalitede spektral ve uzamsal detay kalitesine ulaşabilmektedirler (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Şekil 4 bileşen değişimi tabanlı pan-keskinleştirme

yöntemlerinin çalışma prensibini genel olarak özetlemektedir.

### 3.1.2. Çoklu çözünürlük analizi tabanlı yöntemler

Çoklu çözünürlük analizi tabanlı yöntemler literatürde sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır. Bu yöntemler genel olarak üç aşamada uygulanır (Ghassemien, 2016). İlk aşamada, girdi görüntüler dalgacık (wavelet) dönüşümü veya piramit dönüşümü gibi çoklu çözünürlük ayrıştırma (decomposition) algoritmaları ile belli sayıda ölçek seviyesinde ayrıştırılır. İkinci aşamada, spektral ve uzamsal detaylar belli kaynaştırma (fusion) kurallarına göre kaynaştırılır. Son aşamada ise ters çoklu çözünürlük ayrıştırma dönüşümü ile pan-keskinleştirilmiş görüntü orijinal renk uzayında üretilir. Bileşen değişimi tabanlı yöntemlerin aksine, çoklu çözünürlük analizi tabanlı yöntemler yüksek renk kalitesi vaat ederken girdi pankromatik görüntünün uzamsal detay içeriğini koruyamamaktadır (Yang vd., 2018; Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transformation - DWT) yöntemi (El-Samie vd., 2012), Eklemeli à trous Dalgacık Dönüşümü (Additive à trous Wavelet Transformation - ATWT) yöntemi (Núñez vd., 1999; Garzelli ve Nencini, 2006), Additive Wavelet Luminance Proportional (AWLP) yöntemi (Otazu vd., 2005), Indusion yöntemi (Khan vd., 2008), Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) Tabanlı Genelleştirilmiş Laplacian Piramidi (MTF-GLP) yöntemi (Aiazzi vd., 2006) ve Yüksek Geçirgen Modülasyon (High-Pass Modulation - HPM) Tabanlı MTF-GLP (MTF-GLP-HPM) yöntemi (Vivone vd., 2014) en popüler çoklu çözünürlük analizi tabanlı pan-keskinleştirme yöntemlerindedir.

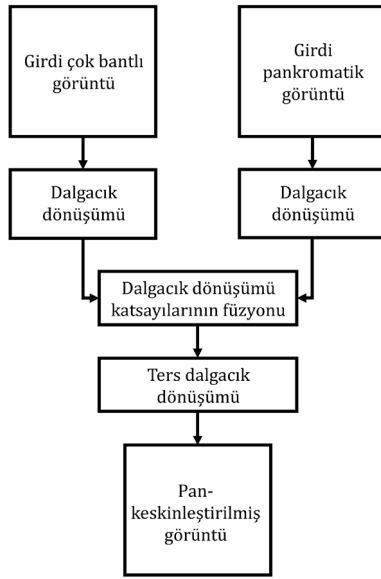
DWT yöntemi, öncelikle girdi pankromatik görüntüye ardı ardına dalgacık dönüşümü uygular. Her bir dalgacık dönüşümünde uzamsal çözünürlüğü iki kat kötüleşmiş orijinal görüntünün yarısı boyutlarında dört adet dalgacık bileşeni üretilmektedir. Bu bileşenlerden biri renk detaylarını barındırırken diğerleri yatay, düşey ve çapraz yönlerdeki uzamsal detay içeriğini barındırır. Toplamda kaç seviye dalgacık dönüşümü uygulanacağı girdi görüntülerin uzamsal çözünürlüklerinin oranına bağlıdır. Pankromatik görüntüden elde edilen dalgacık bileşenlerinin uzamsal çözünürlüğü girdi çok bantlı görüntünün bantlarının uzamsal çözünürlüğüne ulaşana kadar dalgacık dönüşümlerine devam edilir. Dalgacık dönüşümleri tamamlandığında, yani en son seviye dalgacık bileşenleri elde edildiğinde, girdi çok bantlı görüntünün her bir

bandı pankromatik görüntüden edilen renk bileşeni ile yer değiştirir ve ters dalgacık dönüşümü uygulanarak her bir pan-keskinleştirilmiş bant elde edilmiş olur (El-Samie vd., 2012). DWT yöntemi her bir dalgacık dönüşümünü elde edilen renk bileşenine uyguladığından dolayı arka arkaya uygulanan dalgacık dönüşümleri uzamsal detay kaybına yol açmaktadır (Yılmaz vd., 2021). Ayrıca yöntem ağırlıklı olarak yatay, düşey ve çapraz yöndeki uzamsal detayları çıkartmaktadır. Bu nedenle diğer yönlerde uzanan uzamsal detayların yutulması söz konusudur.

ATWT yönteminde, girdi pankromatik görüntüye ardı ardına à trous dalgacık dönüşümü uygulanır. Yatay, düşey ve çapraz yöndeki uzamsal detayları barındıran dalgacık dönüşümü katsayıları girdi çok bantlı görüntünün her bir bandına eklenerek pan-keskinleştirilmiş bantlar üretilir (Núñez vd., 1999; Garzelli ve Nencini, 2006). ATWT yöntemi de DWT yöntemi gibi yatay, düşey ve çapraz yöndeki uzamsal detayları çıkartmaktadır. Dolayısıyla diğer yönlerde uzanan uzamsal detaylarda bozulmalar meydana gelmektedir. ATWT yönteminin en büyük avantajı, her bir seviye dalgacık dönüşümünde ayrıştırma penceresinin boyutunu ayrıştırma katsayılarının arasına 0' lar ilave ederek arttırmasıdır. Bu sayede varyans kayması (shift-variance) problemi çözülmüş olup daha etkin renk bileşenleri üretilebilmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2019). ATWT yönteminde her bir ayrıştırma sonrası görüntünün boyutları aynı kalmaktadır. Diğer bir çoklu çözünürlük tabanlı yöntem olan AWLP yöntemi, à trous dalgacık dönüşümü ile elde ettiği uzamsal detay bilgisini belli bir oran dahilinde girdi çok bantlı görüntünün bantlarına enjekte eder (Otazu vd., 2005). Bu yöntem girdi pankromatik görüntünün histogramını IHS dönüşümüyle elde edilen yoğunluk bileşeninin histogramına eşler. Bu eşleme esnasında uzamsal detayların belli oranda kaybolduğu gözlemlenir. Ancak diğer yandan, uzamsal detayların belli bir oran dâhilinde enjekte edilmesi bantlar arasındaki istatistiksel ilişkinin pan-keskinleştirme sonrasında da korunmasını sağlamaktadır (Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Aynı kategoride incelenen indusion yöntemi, yukarı yönlü ölçekleme (upscaling) işlemini daha etkin bir şekilde gerçekleştiren 'induction' yaklaşımından faydalanmaktadır. Indusion yöntemi yukarı yönlü ölçekleme ve aşağı yönlü ölçekleme (downscaling) filtreleri ile pankromatik görüntüden çıkartılan uzamsal detayları yukarı yönde ölçeklenmiş girdi çok bantlı görüntüye enjekte etmektedir (Khan vd., 2008).

MTF-GLP yöntemi, girdi çok bantlı görüntüyü üreten sensöre ait olan MTF' yi kullanarak bir

indirgeme filtresi üretir. Sonra, girdi çok bantlı görüntünün spektral özelliklerinin korunmasına olanak sağlayan bir kısıtlamayı dikkate alarak uzamsal detay bilgisini seçici olarak girdi çok bantlı görüntünün bantlarına enjekte eder (Aiazzi vd., 2006). MTF-GLP yöntemi, MTF filtresi aracılığıyla indirgenen pankromatik görüntüyü girdi pankromatik görüntüden çıkartarak uzamsal bilgileri elde eder. Bu yaklaşım düşük renk frekansına sahip alanlarda renk özelliklerinin korunmasını sağlamaktadır (Yılmaz, 2021). MTF-GLP-HPM yöntemi, aşağı yönlü ölçeklemeden önce MTF' den faydalanır ve bir yandan girdi çok bantlı görüntünün spektral özelliklerini korurken diğer yandan, uzamsal ayrıntıları enjekte etmek için uzamsal özelliklerin çarpımına dayanan bir HPM enjeksiyon yaklaşımı kullanır (Xing vd., 2018; Yılmaz, 2021). Bu enjeksiyon yaklaşımının uzamsal detay içeriğini belli oranda koruduğu gözlemlenmiştir (Yılmaz, 2021). Şekil 5 dalgacık dönüşümü tabanlı pan-keskinleştirme yöntemlerinin çalışma prensibini genel olarak özetlemektedir.



**Şekil 5.** Çoklu çözünürlük analizi tabanlı pan-keskinleştirme yöntemlerinin çalışma prensibi (Jinju vd., 2019).

### 3.1.3. Renk tabanlı yöntemler

Renk tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri, adı üstünde, öncelikli olarak renk yapısını korumak için farklı prosedürlerden faydalanan yöntemlerdir. Lokal Ortalama Eşleme (Local Mean Matching - LMM) yöntemi (de Béthune vd., 1997), Lokal Ortalama Varyans Eşleme (Local Mean Variance Matching - LMVM) yöntemi (de Béthune vd., 1997), SFIM yöntemi (Liu, 2000), Yüksek Geçirgen Filtreleme (High-Pass Filtering - HPF)

yöntemi (Schowengerdt, 1980) ve Kriter Tabanlı yöntem (Gungor, 2008) en popüler renk tabanlı pan-keskinleştirme algoritmalarından bazılarıdır.

LMM yöntemi, girdi görüntülerin bant ortalamalarını pan-keskinleştirilmiş görüntünün bant ortalamasına eşlemek için lokal pencerelerden faydalanır (de Béthune vd., 1997). LMVM yöntemi ise LMM yöntemine benzer şekilde, lokal pencereler aracılığıyla girdi görüntülerin bantlarının ortalama ve varyans değerlerini pan-keskinleştirilmiş görüntünün bantlarının ortalama ve varyans değerlerine eşlemektedir (de Béthune vd., 1997). LMM ve LMVM yöntemlerinin performansı kullanılan lokal pencerenin boyutuyla doğrudan ilişkilidir. En başarılı pan-keskinleştirme sonucu için en uygun lokal pencere boyutunu belirlemek kullanıcılar açısından bir zorluk teşkil etmektedir.

SFIM yöntemi, girdi çok bantlı görüntünün her bir bandını girdi pankromatik görüntü ile çarpar. Elde edilen görüntü, alçak geçiren bir filtre ile filtrelenmiş pankromatik görüntüye bölünerek pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (Liu, 2000). SFIM yöntemi, girdi pankromatik görüntü ve onun alçak geçiren bir filtre ile filtrelenmiş versiyonu arasındaki oranı direkt olarak kullandığından, uygulanan alçak geçiren filtrenin boyutu yöntemin performansı açısından önem arz etmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2019).

Bir diğer renk tabanlı yöntem olan HPF yöntemi, girdi pankromatik görüntünün uzamsal detay yapısını bir yüksek geçiren filtre yardımıyla iyileştirir ve iyileştirilen uzamsal detay bilgisi girdi çok bantlı görüntünün bantlarına aktarılarak pan-keskinleştirilmiş görüntü oluşturulur (Schowengerdt, 1980). Kullanılan yüksek geçiren filtrenin içeriği ve boyutu HPF yönteminin performansında önemli rol oynamaktadır. Filtre boyutu arttıkça daha keskin görüntüler elde edilmekle beraber renk kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı optimum yüksek geçiren filtrenin belirlenmesinin oldukça zor olmasıdır. Optimum filtreyi bulmak için kullanıcılar çoğu zaman birçok farklı filtre denemek zorunda kalmaktadır (Serifoglu Yılmaz vd., 2019).

Kriter tabanlı yöntem, pan-keskinleştirilmiş görüntüleri girdi çok bantlı görüntü ve pankromatik görüntünün doğrusal bir kombinasyonu şeklinde hesaplamaktadır. Yöntemde, girdi çok bantlı görüntü ve pankromatik görüntünün pan-keskinleştirmeye katkılarını temsil eden iki katsayıyı belirlemek için üç kriterden



faaydalanılmaktadır. Birinci kritere göre uzamsal detay içeriğinin başarılı bir şekilde aktarılabilmesi için girdi pankromatik görüntünün varyansı pan-keskinleştirilmiş görüntünün varyansına eşit olmalıdır. İkinci kritere göre renk yapısının başarıyla korunabilmesi için pan-keskinleştirilmiş görüntünün her bir bandının ortalaması kendisine karşılık gelen girdi çok bantlı görüntünün bant ortalamasına eşit olmalıdır. Üçüncü kritere göre ise girdi çok bantlı görüntünün bantları arasındaki oran pan-keskinleştirilmiş görüntünün bantları arasındaki orana eşit olmalıdır. Girdi görüntüler üzerinde gezdirilen pencereler yardımıyla bu üç kriter sağlanmaktadır (Gungor, 2008). Kriter tabanlı yöntemin performansı gezdirilen pencerelerin boyutu ile yakından ilgilidir (Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Gungor (2008), girdi görüntülerin uzamsal çözünürlüklerinin oranından büyük olan en küçük tek sayının boyutunda pencereler kullanılarak bu yöntemden maksimum pan-keskinleştirme performansı elde etmenin mümkün olduğunu belirtmektedir. Pencere boyutu büyüdükçe uzamsal detay kalitesi daha yüksek ancak spektral kalitesi daha düşük görüntüler elde edilmektedir (Gungor, 2008).

#### 3.1.4. Hibrit yöntemler

Hibrit yöntemler birden fazla pan-keskinleştirme yönteminin avantajlarını birleştirmeyi amaçlamaktadır (González-Audícana vd., 2004). IHS-DWT yöntemi (El-Samie vd., 2012) ve Dalgacık Dönüşümü Tabanlı PCA yöntemi (W-PCA) (Yusuf vd., 2013) literatürde sıklıkla kullanılan iki hibrit tabanlı pan-keskinleştirme yöntemidir. IHS-DWT yöntemi ilk aşama olarak girdi çok bantlı görüntüye IHS dönüşümü uygular. Daha sonra girdi pankromatik görüntünün histogramı IHS dönüşümü ile elde edilen yoğunluk görüntüsünün histogramına eşlenir. Ardından yoğunluk görüntüsüne ve histogramı eşlenen pankromatik görüntüye dalgacık (DWT) dönüşümü uygulanır. Yoğunluk görüntüsünden elde edilen renk bileşeni ile histogramı eşlenmiş pankromatik görüntüden elde edilen renk bileşeninin ortalaması alınarak elde edilen görüntü, yoğunluk görüntüsünden elde edilen renk bileşeni ile yer değiştirir. Sonrasında ters dalgacık (DWT) dönüşümü uygulanarak yeni bir yoğunluk bileşenine ulaşılır. Elde edilen bu yeni bileşene uygulanan ters IHS dönüşümü ile pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir. IHS-DWT yöntemi, renk yapısındaki bozulmalar pahasına, DWT yönteminin uzamsal detayları yeterince aktaramama probleminde kısmen çözüm sunmaktadır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020).

Diğer bir hibrit yöntem olan W-PCA yöntemi girdi çok bantlı görüntüye PCA dönüşümü uygulayarak bantlar arasındaki korelasyonu minimize eder. Daha sonra girdi pankromatik görüntünün histogramı PCA dönüşümü ile elde edilen birinci temel bileşenin histogramına eşlenir. Histogramı eşlenen pankromatik görüntüye ve birinci temel bileşene dalgacık dönüşümü uygulanır. Sonrasında ters dalgacık dönüşümü ile pankromatik görüntüdeki uzamsal detaylar birinci temel bileşene aktarılır. Son aşamada ters PCA dönüşümü uygulanarak pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (González-Audícana vd., 2004). W-PCA yöntemi, PCA yönteminin rengi bozma problemini kısmen ortadan kaldırmaktadır. Hibrit yöntemlerin barındırdıkları pan-keskinleştirme yöntemlerinin avantajlarını her durumda koruyamadıkları görülmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2020).

#### 3.2. Modern yöntemler

##### 3.2.1. Morfoloji tabanlı yöntemler

Çoklu çözünürlük analizi tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri genellikle dalgacık dönüşümü veya Gauss piramitsel ayrıştırma (Gaussian pyramids) gibi doğrusal analiz operatörlerini kullanır. Morfolojik filtreler gibi doğrusal olmayan operatörlerin kullanımı piramitsel ayrıştırma işlemi için iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca bazı morfolojik filtreler uzamsal detayları korumada doğrusal filtrelerden daha etkilidir ve çeşitli uygulamalarda üstün performans sağlarlar (Restaino vd., 2015). Bölütleme (segmentation) ve gürültü giderme (denoising) gibi işlemler için morfoloji tabanlı yöntemlerin avantajlarından sıklıkla faydalanılmasına rağmen, az sayıda pan-keskinleştirme yaklaşımı bu yöntemlerden yararlanmaktadır (Restaino vd., 2016). Güncel literatür incelendiğinde son yıllarda araştırmacıların optimum pan-keskinleştirme performansı elde edebilmek için morfolojik operatörlerden faydalandıkları görülmektedir (Addeso vd., 2012; Restaino vd., 2016; Shi, 2018; Pandit ve Bhiwani, 2020). Addeso vd., (2012) çalışmalarında stokastik bir optimizasyon sağlayan genetik algoritmadan faydalanarak morfolojik operatörleri optimize etmek suretiyle pan-keskinleştirme yapmışlardır. Restaino vd., (2015) morfolojik gradyan tabanlı bir çoklu çözünürlük analizi yaklaşımı ile girdi pankromatik görüntüdeki uzamsal detayları çıkarıp girdi çok bantlı görüntünün bantlarına enjekte ederek pan-keskinleştirilmiş görüntü üretmişlerdir. Restaino vd., (2016) tarafından geliştirilen pan-

keskinleştirme yöntemi, iki yarım gradyan arasındaki farktan türetilen bir morfolojik operatörle uzamsal ayrıntıları çıkarır ve bu ayrıntıları girdi çok bantlı görüntüye entegre eder. Morfolojik operatörlerin pan-keskinleştirme amacıyla kullanımının pan-keskinleştirme performansına olumlu katkı yaptığı gözlemlenmiştir (Restaino vd., 2016).

### 3.2.2. Ayrık temsil tabanlı yöntemler

Son yıllarda ayrık temsil tekniklerindeki gelişmeler, araştırmacıları bu algoritmaları pan-keskinleştirme için kullanmaya teşvik etmiştir. Ayrık temsil tabanlı ilk pan-keskinleştirme yöntemi Li ve Yang (2011) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada yazarlar, yüksek çözünürlüklü çok bantlı görüntü parçaları kullanarak yüksek çözünürlüklü çok bantlı görüntü için bir sözlük oluşturmuşlardır. Ancak her zaman yüksek çözünürlüklü çok bantlı görüntü elde etmek mümkün olamamaktadır. Bu problemin çözümü için bazı yaklaşımlar sözlük öğrenmesinde (dictionary learning) girdi pankromatik görüntüyü kullanarak gerçekleştirirken (Zhu ve Bamler, 2013) bazı yaklaşımlar ise Ortak Sözlük Öğrenmesi (Joint Dictionary Learning) (Jiang vd., 2012) gibi yöntemlere başvurmaktadır. Bazı ayrık temsil tabanlı yaklaşımlar, girdi çok bantlı görüntünün yüksek çözünürlüklü başka çok bantlı bir görüntünün çözünürlüğünün kötüleştirilmiş bir versiyonu olduğunu ve girdi pankromatik görüntünün ise yüksek çözünürlüklü bir çok bantlı görüntünün doğrusal bir kombinasyonu olduğunu varsaydıklarından dolayı kısıtlı bir pan-keskinleştirme performansı sergileyebilmektedirler (Yin, 2015). Ayrık temsil tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri genellikle konvansiyonel yöntemlere göre daha başarılı performans sergilemelerine rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yöntemler uzamsal detayların kaybolmasına neden olmakla beraber performansları girdi çok bantlı görüntünün ve pankromatik görüntünün başarılı bir şekilde üst üste çakıştırılmasına bağlıdır (Fei vd., 2019).

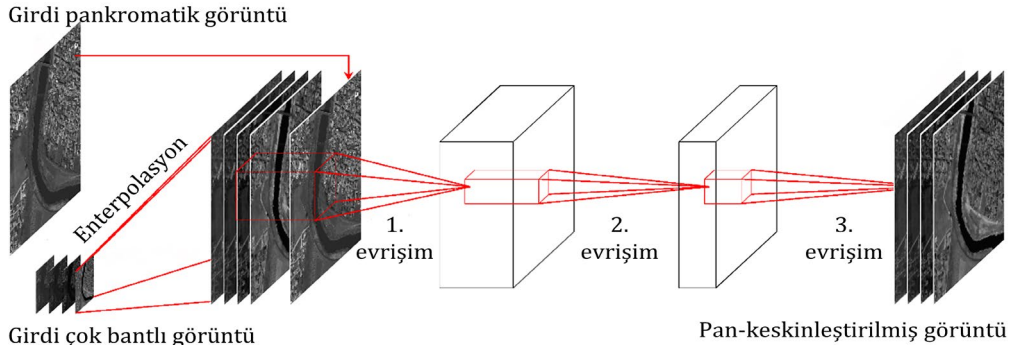
### 3.2.3. Derin öğrenme tabanlı yöntemler

Günümüzde derin öğrenme tekniklerinin farklı uygulamalardaki başarıları bu tekniklerin pan-keskinleştirme alanında kullanımını beraberinde getirmiştir. Derin öğrenme tabanlı pan-

keskinleştirme yaklaşımları, derin sinir ağları aracılığıyla girdi görüntü parçalarının hiyerarşik özelliklerinden faydalanarak pan-keskinleştirme işlemini gerçekleştirir (Xing vd., 2018). Bu amaçla, derin öğrenme tekniklerinden faydalanan ilk yaklaşımlar pan-keskinleştirme problemini bir Süper Çözünürlük (Super Resolution) problemi olarak ele almış ve üç katmanlı basit bir Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network - CNN) mimarisi ile pan-keskinleştirme işlemini gerçekleştirmişlerdir (Masi vd., 2016). Masi vd., (2016) tarafından geliştirilen derin öğrenme tabanlı pan-keskinleştirme yöntemi (Bkz. Şekil 6) ilk aşama olarak girdi çok bantlı görüntünün çözünürlüğünü girdi pankromatik görüntünün çözünürlüğüne çıkarır. Çözünürlüğü artırılan bantlar girdi pankromatik görüntü ile birleştirilir. Bu birleştirilmiş görüntü evrişimsel sinir ağının girdi katmanını oluşturmaktadır. Ağ önceden belirlenen iterasyon sayısındaki eğitim süreci boyunca evrişim süzgecinin (filtre) ve kurulan modelin parametrelerini öğrenmeye çalışmaktadır. Ağın eğitimi Wald vd., (1997) tarafından önerilen protokole göre gerçekleştirilir. Bu protokole göre pan-keskinleştirilmiş bir görüntünün çözünürlüğü girdi çok bantlı görüntünün çözünürlüğüne kötüleştirildiğinde elde edilen görüntü, girdi çok bantlı görüntü ile aynı olmalıdır.

Son zamanlarda araştırmacılar basit mimariye sahip olan evrişimsel sinir ağlarının kısıtlı kapasitelerinden kaynaklanan pan-keskinleştirme hatalarını azaltmak için Çekişmeli Üretici Ağ (Generative Adversarial Networks - GAN) mimarisi (Ozcelik vd., 2020), Derin Sinir Ağı (Deep Neural Network) mimarisi (Zhang vd., 2020) ve Derin Kalıntı Ağ (Deep Residual Network) mimarisi (Benzenati vd., 2020) gibi mimarilerden faydalanmaktadırlar. Derin öğrenme tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri doğrusal olmayan modelleme (nonlinear modeling) kapasitelerinden dolayı birçok konvansiyonel yöntemle göre yüksek performans göstermektedir (Jiang vd., 2020). Ancak bu yöntemlerin sonuçları kurulan model, kullanıcı tarafından belirlenen hiper parametreler ve eğitim süresi gibi birçok değişkene oldukça bağlıdır. Ayrıca eğitim için fazla sayıda örnek görüntüye ihtiyaç duyulması bu yöntemlerin başlıca dezavantajlarından. Yüksek sistem özelliklerine ihtiyaç duyan bu yöntemler eğitim-test süreçlerinden dolayı genellikle yavaş çalışmaktadır.





**Şekil 6.** Derin öğrenme tabanlı pan-keskinleştirme yöntemlerinin çalışma prensibi (Masi vd., 2016).

### 3.2.4. Metasezgisel optimizasyon tabanlı yöntemler

Pan-keskinleştirme işleminde başarının sağlanabilmesi için girdi çok bantlı görüntünün ve pankromatik görüntünün pan-keskinleştirilmiş görüntüye katkılarının yüksek doğrulukla belirlenmesi gerekmektedir (Yılmaz vd., 2020). Literatürdeki yöntemlerin çoğu bu katkı oranlarını başarılı bir şekilde belirleyemediklerinden dolayı pan-keskinleştirilmiş görüntülerde ya spektral ya da uzamsal detay bozulmaları meydana gelmektedir. Son yıllarda geliştirilen bazı yaklaşımlar girdi görüntülerin pan-keskinleştirilmiş görüntüye katkılarını belirlemek için metasezgisel optimizasyon algoritmalarından faydalanmaktadır. Bu algoritmalar çok geniş ve karmaşık yapıdaki arama uzaylarında dahi optimum çözüm adaylarını bulmakta oldukça başarılı olduklarından dolayı dikkat çekici pan-keskinleştirme performansları sunmaktadırlar. Yılmaz vd., (2021) SVR yönteminin performansını Genetik Algoritma (GA) (Holland, 1975) yardımıyla iyileştirirken, Serifoglu Yılmaz vd., (2019) aynı yöntemin performansını son yılların kararlı ve güçlü arama algoritmalarından olan Ortak Yaşam Arama (Symbiotic Organisms Search - SOS) (Cheng ve Prayogo, 2014) algoritması ile iyileştirmişlerdir. Yılmaz vd., (2008), bir diğer bileşen değişimi tabanlı yöntem olan GS yöntemi ile elde edilen pan-keskinleştirilmiş görüntülerin optimize edilmesi amacıyla GA' dan faydalanmışlardır. Serifoglu Yılmaz vd., (2020) hibrit bir pan-keskinleştirme yöntemi olan IHS-DWT yönteminin neden olduğu renk ve uzamsal detay bozulmalarını en aza indirmek için SOS algoritmasından faydalanmışlardır. Serifoglu Yılmaz (2020), SOS algoritmasının çok amaçlı versiyonu olan ve Pareto analizini (Censor, 1977) kullanan Çok Amaçlı SOS (Multi-Objective SOS - MOSOS) algoritması ile SVR ve IHS-DWT yöntemlerini hem spektral hem de uzamsal detay yapılarını koruyabilmeleri için optimize etmiştir. Yılmaz (2021) ise Domine Edilemeyen Sıralamalı GA-II (Non-Dominated Sorting Genetic

Algorithm-II - NSGA-II) (Deb vd., 2002) algoritmasını kullanarak GS ve SVR yöntemlerinde spektral ve uzamsal detay kalitesi arasındaki optimum dengeyi sağlamıştır. Pan-keskinleştirmeye çok amaçlı bir optimizasyon problemiymiş gibi yaklaşılması, birden fazla sonuç görüntünün elde edilmesini sağlamıştır. İhtiyaca göre spektral veya uzamsal detay yapılarının daha çok korunduğu ya da bu ikisi arasındaki dengeyi sağlanabildiği pan-keskinleştirilmiş görüntüler sunabilmeleri çok amaçlı optimizasyon tabanlı yöntemlerin avantajları arasında görülmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Ancak özellikle çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinin, çalışma alanı büyüdükçe optimum sonuca ulaşmaları uzun sürebilmektedir.

### 4. Pan-keskinleştirmede doğruluk analizi

Pan-keskinleştirme işlemi hataya oldukça açık bir işlem olduğundan pan-keskinleştirme ile elde edilen sonuç görüntülerin spektral kaliteleri ve uzamsal detay içerikleri kontrol edilmelidir. Literatürde, pan-keskinleştirme sonucunda elde edilen görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin bazen nicel olarak (Padwick vd., 2010; Vicinanza vd., 2015), bazen de hem nitel hem de nicel olarak incelendiği görülmektedir (Vivove vd., 2015; Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral kalitelerinin görsel olarak irdelenirken, bu görüntülerdeki arazi detaylarının renklerinin girdi çok bantlı görüntülerdeki renkler ile uyumlu olup olmadığı nitel olarak incelenir. Yüksek uyumluluğun olması, renk kalitesinin pan-keskinleştirmeden sonra korunduğunu göstermektedir. Uzamsal detay kalitesinin nitel olarak değerlendirilmesi için ise pan-keskinleştirilmiş görüntüdeki uzamsal detaylar (bina kenarı, yol kesişimi vb.) ile girdi pankromatik görüntüdeki uzamsal detayların uyumluluğu karşılaştırılır. Her iki görüntüdeki yüksek uyumluluk yüksek uzamsal detay kalitesine işaret eder.

Nitel değerlendirme, kullanılan pan-keskinleştirme yöntemlerinin performansları hakkında genel bir bakış açısı sunmasına rağmen oldukça öznel ve büyük ölçüde analistin bakış açısına ve kullanılan monitörün özelliklerine bağlıdır (Yılmaz vd., 2020). Ayrıca nitel değerlendirme esnasında insan gözüyle ayırt edilemeyecek bazı detaylar da gözden kaçabilmektedir (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Bu nedenle pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin daha başarılı bir şekilde değerlendirilebilmesi için nicel kalite metriklerinden faydalanılmalıdır. Bu kalite metrikleri pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitesini ölçerek kaliteyi belli sayılarla ifade etmektedirler. Her bir kalite metriğinin bir referans değeri bulunmaktadır. Herhangi bir pan-keskinleştirilmiş görüntü için hesaplanan metrik değeri referans değere ne kadar yakınsa spektral veya uzamsal detay kalitesi o kadar yüksektir. Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral kalitelerinin nicel metriklerle irdelenmesi için Wald vd., (1997) tarafından önerilen protokolden sıklıkla faydalanılmaktadır (Alparone vd., 2008; Amro vd., 2011; Delleji vd., 2016; Dou, 2018; Serifoglu Yılmaz vd., 2019; Yılmaz vd., 2021). Bu protokole göre pan-keskinleştirilmiş bir görüntünün çözünürlüğü girdi çok bantlı görüntünün çözünürlüğüne kötüleştirdiğinde elde edilen görüntü, girdi çok bantlı görüntü ile aynı olmalıdır. Dolayısıyla kalite metrikleri girdi çok bantlı görüntü ile çözünürlüğü kötüleştiren pan-keskinleştirilmiş görüntü arasında hesaplanarak spektral kalite irdelenebilmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalar ise spektral kalitenin irdelenebilmesi için girdi çok bantlı görüntünün çözünürlüğünün, girdi pankromatik görüntünün çözünürlüğüne çıkarılmasıyla elde edilen görüntünün referans olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Amro vd., 2011; Liu vd., 2015; Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Uzamsal detay kalitesinin irdelenmesi için ise kalite metrikleri pan-keskinleştirilmiş görüntüler ile girdi pankromatik görüntüler arasında hesaplanmaktadır (Serifoglu Yılmaz vd., 2019; 2020; Yılmaz vd., 2020; 2021).

Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral kalitelerinin değerlendirilmesi için literatürde oldukça fazla sayıda kalite metriği tanımlanmıştır. Karesel Ortalama Hata (Root Mean Square Error - RMSE) (Wald ve Ranchin, 2002), Bağlı Ortalama Spektral Hata (Relative Average Spectral Error - RASE) (Ranchin ve Wald, 2000), Erreur Relative Globale Adimensionnelle De Synthèse (ERGAS) (Wald, 2000), Spectral Angular Mapper (SAM) (Alparone vd., 2006) ve Spectral Information Divergence (SID) (Strait vd., 2008) metrikleri

spektral kalitenin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan konvansiyonel metriklerdendir. Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral kalitesini ölçmek için kullanılan her bir metrik genelde farklı bir yaklaşım kullandığı için en iyi kalite metriğinin hangisi olduğuna dair bir fikir birliği yoktur (Yılmaz vd., 2021). Her bir kalite metriğinin kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Bu nedenle bir kalite metriği tarafından başarılı kabul edilen bir pan-keskinleştirme yöntemi, başka bir metrik tarafından başarısız sayılabilir. Bu gibi durumlarda farklı kalite metrik değerlerindeki trendler incelenerek pan-keskinleştirme performansı hakkında önemli ipuçları elde edilebilir (Yılmaz vd., 2021). Bu nedendir ki literatürdeki çalışmaların birçoğu spektral kaliteyi irdelerken birden fazla kalite metriğinden faydalanmaktadır (Vivone vd., 2015; Masi vd., 2016; Serifoglu Yılmaz vd., 2019; 2020; Yılmaz vd., 2020; 2021; Jiang vd., 2020). Bilgi İçeriği Ağırlıklı Yapısal Benzerlik (Information Content Weighted Structural Similarity - IW-SSIM) (Wang ve Li, 2011), Genel Görüntü Kalite İndeksi (Universal Image Quality Index - UIQI) (Wang ve Bovik, 2002), Çoklu Ölçekli Yapısal Benzerlik (Multi-Scale Structural Similarity - MS-SSIM) (Wang vd., 2003), Yapısal Benzerlik İndeksi (Structural Similarity Index - SSIM) (Wang vd., 2004) ve Spectral Residual Based Similarity (SR-SIM) (Zhang ve Li, 2012) renk kalitesinin irdelenmesinde kullanılan bazı gelişmiş metriklerdendir.

Entropi (Bai vd., 2011), Korelasyon Katsayısı (KK) (Yılmaz vd., 2021) ve Uzamsal Korelasyon Katsayısı (Spatial Correlation Coefficient - SCC) (Zhou vd., 1998) metrikleri ise pan-keskinleştirilmiş görüntülerin uzamsal detay kalitelerinin değerlendirilmesi için kullanılan bazı metriklerdendir. Bunlarla beraber, spektral kalitenin irdelenmesi için kullanılan SSIM, IW-SSIM ve UIQI metrikleri uzamsal detay kalitesinin irdelenmesi için de kullanılabilir (Serifoglu Yılmaz vd., 2020; Yılmaz vd., 2021).

Pan-keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin girdi pankromatik görüntü boyutunda irdelenmesi için önerilen bazı kalite metrikleri de bulunmaktadır. Alparone vd., (2008) tarafından önerilen Quality with no Reference (QNR) ve Aiuzzi vd., (2014) tarafından önerilen Hybrid QNR (HQNR) metrikleri bu amaçla en sık kullanılan metriklerdir. Her iki metrik de spektral ve uzamsal detay kalitesini iki ayrı kalite metriği ile ölçer ve bu iki kalite metriği bir formülde birleştirilerek pan-keskinleştirilmiş görüntünün genel kalitesi tek bir sayı ile ifade edilir. QNR metriği spektral kaliteyi  $D_\lambda$  metriği ile

ölçerken, uzamsal detay kalitesini  $D_s$  metriği ile ölçmektedir (Alparone vd., 2008). HQNR metriği ise spektral kaliteyi Khan vd., (2009) tarafından önerilen metrikle ölçerken, uzamsal detay kalitesini ise Alparone vd., (2008) tarafından

önerilen  $D_s$  metriği ile ölçmektedir (Aiazzi vd., 2014). ERGAS, SSIM, IW-SSIM, UIQI, SR-SIM, MS-SSIM, KK, SAM,  $D_\lambda$ ,  $D_s$ , QNR ve HQNR metriklerinin formülleri ve optimum değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bazı kalite metriklerinin formülleri

Formül	Optimum değer
$ERGAS = 100 \frac{h}{o} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left( \frac{RMSE_k}{\mu(MS_k)} \right)^2}$	0
$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$	1
$IW - SSIM_j = \frac{\sum_i w_{j,i} c(x_{j,i}, y_{j,i}) S(x_{j,i}, y_{j,i})}{\sum w_{j,i}}$	1
$IW - SSIM = \prod (IW - SSIM_j)^{B_j}$	1
$UIQI = \frac{4\mu_x\mu_y\sigma_{xy}}{(\mu_x^2 + \mu_y^2)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}$	1
$SR - SIM = \frac{\sum_{x \in \Omega} S(x) \cdot R_m(x)}{\sum_{x \in \Omega} R_m(x)}$	1
$MS - SSIM = [l_M(x, y)]^{\alpha_M} \cdot \prod_{j=1}^M [c_j(x, y)]^{\beta_j} [s_j(x, y)]^{\gamma_j}$	1
$KK = \frac{\sum_{m,n} (\zeta B_{mn} - \mu(\zeta B))(P_{mn} - \mu(P))}{\sqrt{(\sum_{m,n} (\zeta B_{mn} - \mu(\zeta B))^2 (\sum_{m,n} (P_{mn} - \mu(P))^2)}}$	1
$SAM \triangleq \arccos \left( \frac{\langle x, y \rangle}{\ x\ _2 \cdot \ y\ _2} \right)$	0
$D_\lambda = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{b=1}^K \sum_{h=1, h \neq b}^K  UIQI(\zeta B_b, \zeta B_h) - UIQI(P_b, P_h) }$	0
$D_s = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{b=1}^K  UIQI(\zeta B_b, PAN_L) - UIQI(P_b, PAN) }$	0
$D_\lambda^{(K)} = 1 - Q(P_L, \zeta B)$	0
$QNR = (1 - D_\lambda) \cdot (1 - D_s)$	1
$HQNR = (1 - D_\lambda^{(K)}) \cdot (1 - D_s)$	1

Bu tabloda,  $\zeta B$  girdi çok bantlı görüntüyü;  $PAN$  girdi pankromatik görüntüyü;  $P$  pan-keskinleştirilmiş görüntüyü;  $x$  girdi çok bantlı görüntüdeki bir piksel vektörünü;  $y$  girdi pankromatik görüntüdeki bir piksel vektörünü;  $\mu$  ortalamayı;  $\sigma$  varyansı;  $h/o$  girdi görüntülerin çözünürlüklerinin oranını;  $K$  toplam bant sayısını;  $C_1 = (Y_1 L)^2$  ve  $C_2 = (Y_2 L)^2$  ( $Y$  küçük bir sabit ve  $L$  görüntünün radyometrik çözünürlüğü);  $\alpha_M$ ,  $\beta_j$  ve  $\gamma_j$  bileşenlerin etkilerini kontrol eden katsayıları;  $S(x)$  yerel benzerliği;  $\Omega$  konum uzayını;  $R_m(x) = \max(R_1(x), R_2(x))$ ,  $S(x)$  değerinin ağırlığını;  $w$  bilgi içeriğini kontrol eden ağırlığı;  $D_\lambda^{(K)}$  Khan vd., (2009) tarafından renk kalitesini ölçmek için önerilen metriği ve  $Q$  ise dört bantlı görüntüler için Q4 metriğini (Alparone vd., 2004), sekiz bantlı görüntüler için ise Q8 metriğini (Garzelli ve Nencini, 2009) ifade etmektedir.

## 5. Sonuç

Pan-keskinleştirme, uzamsal detay kalitesi yüksek çok bantlı görüntüler üretilebilmesi için önemli bir süreçtir. Günümüze kadar literatürde oldukça fazla sayıda pan-keskinleştirme yönteminin tanıtılmış olması, kullanıcıları hangi yöntemin hangi durumlarda kullanılabileceği konusunda tereddüte düşürmektedir. Bu nedenle bu çalışma kullanıcıları

mevcut pan-keskinleştirme yöntemleri ve pan-keskinleştirme sonucu elde edilen görüntülerin spektral ve uzamsal detay kalitelerinin nasıl irdelenebileceği hakkında bilgilendirmeyi amaçlamaktadır.

Değerlendirmeler, yüksek uzamsal detay kalitesinin gerektiği durumlarda renk tabanlı ve bileşen değişimi tabanlı yöntemlerin

kullanılabileceğini, yüksek spektral doğruluğa ihtiyaç duyulan durumlarda ise çoklu çözünürlük analizi tabanlı, derin öğrenme tabanlı ve ayrık temsil tabanlı yöntemlerin kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Spektral ve uzamsal detay kalitesi arasındaki optimum dengenin kurulması gereken durumlarda ise metasezgisel arama algoritmalarına dayanan optimizasyon yöntemlerinden faydalanılabileceği söylenebilir. Metasezgisel optimizasyon tabanlı yöntemlerin bir diğer avantajı da pan-keskinleştirme işlemini otomatikleştirerek kullanıcı müdahalesinden kaynaklanan pan-keskinleştirme hatalarını en aza indirmesidir.

## Kaynaklar

- Addesso, P., Conte, R., Longo, M., Restaino, R. and Vivone, G. (2012). A pansharpening algorithm based on genetic optimization of Morphological Filters. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Munich, Germany.
- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Carlà, R., Garzelli, A. and Santurri, L. (2014). Full-scale assessment of pansharpening methods and data products. *Image and Signal Processing for Remote Sensing XX*, vol. 9244, p. 924402, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.1117/12.2067770>.
- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A. and Selva, M. (2006). MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(5), 591-596. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.5.591>.
- Aiazzi, B., Baronti, S. and Selva, M. (2007). Improving component substitution pansharpening through multivariate regression of MS + Pan data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(10), 3230-3239. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.901007>.
- Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., Garzelli, A. and Nencini, F. (2006). Information-Theoretic Image Fusion Assessment without Reference. *ESA-EUSC 2006: Image Information Mining for Security and Intelligence*, Torrejon Air Base, Madrid, Spain.
- Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini, F. and Selva, M. (2008). Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(2), 193-200. <https://doi.org/10.14358/PERS.74.2.193>.
- Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A. and Nencini, F. (2004). A global quality measurement of pansharpened multispectral imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(4), 313-317. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2004.836784>.
- Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R. and Katsaggelos, A. K. (2011). A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2011(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/1687-6180-2011-79>.
- Bai, X., Zhou, F. and Xue, B. (2011). Fusion of infrared and visual images through region extraction by using multi scale center-surround top-hat transform. *Optics Express*, 19(9), 8444-8457. <https://doi.org/10.1364/OE.19.008444>.
- Benzenati, T., Kallel, A. and Kessentini, Y. (2020). Two stages pan-sharpening details injection approach based on very deep residual networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(6), 4984-4992. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3019835>.
- Censor, Y. (1977). Pareto optimality in multiobjective problems. *Applied Mathematics and Optimization*, 4(1), 41-59. <https://doi.org/10.1007/BF01442131>.
- Cheng, M. Y. and Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2014.03.007>.
- Crippen, R. E. (1989). A simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan-line noise from Landsat TM P-tape imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(3), 327-331.
- de Béthune, S., Muller, F. and Binard, M. (1997). Adaptive intensity matching filters: a new tool for multiresolution data fusion. *Multi-Sensor Systems and Data Fusion for Telecommunications, Remote Sensing and Radar*, Lisbon, Portugal.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>.
- Delleji, T., Kallel, A. and Ben Hamida, A. (2016). Iterative scheme for MS image pansharpening based on the combination of multi-resolution decompositions. *International Journal of Remote Sensing*, 37(24), 6041-6075. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1249303>.

- Dou, W. (2018). Image degradation for quality assessment of pan-sharpening methods. *Remote Sensing*, 10(1), 154. <https://doi.org/10.3390/rs10010154>.
- Ehlers, M. (2004). Spectral characteristics preserving image fusion based on Fourier domain filtering. In *Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications, and geology IV* (vol. 5574, pp. 1-13). International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.565160>.
- El-Samie, F. E. A., Hadhoud, M. M. and El-Khamy, S. E. (2012). *Image super-resolution and applications*. CRC press.
- Farwell, L. S., Gudex-Cross, D., Anise, I. E., Bosch, M. J., Olah, A. M., Radeloff, V. C., Razenkova, E., Rogova, N., Silviera, E. M. O., Smith, M. M. and Pidgeon, A. M. (2021). Satellite image texture captures vegetation heterogeneity and explains patterns of bird richness. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112175. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112175>.
- Fei, R., Zhang, J., Liu, J., Du, F., Chang, P., & Hu, J. (2019). Convolutional sparse representation of injected details for pansharpening. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(10), 1595-1599. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2904526>.
- Garzelli, A. and Nencini, F. (2006). PAN-sharpening of very high resolution multispectral images using genetic algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 27(15), 3273-3292. <https://doi.org/10.1080/01431160600554991>.
- Garzelli, A. and Nencini, F. (2009). Hypercomplex quality assessment of multi/hyperspectral images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6(4), 662-665. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2009.2022650>.
- Ghahremani, M., Liu, Y., Yuen, P. and Behera, A. (2019). Remote sensing image fusion via compressive sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.001>.
- Ghassemian, H. (2016). A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion*, 32, 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.03.003>.
- González-Audícana, M., Saleta, J. L., Catalán, R. G. and García, R. (2004). Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(6), 1291-1299. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.825593>.
- Gungor, O. (2008). *Multi sensor multi resolution image fusion*. PhD Thesis, Purdue University, USA.
- Hallabia, H., Kallel, A. and Hamida, A. B. (2014). Image pansharpening: Comparison of methods based on multiresolution analysis and component substitution. *IEEE 1st International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, Sousse, Tunisia. <https://doi.org/10.1109/ATSIP.2014.6834602>.
- Hallada, W. A. and Cox, S. (1983). Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems. *17th International Symposium on Remote Sensing of Environment* (pp. 1023-1032), Ann Arbor, MI.
- Haydn, R., Dalke, G. W., Henkel, J. and Bare, J. E. (1982). Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. *International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: 'Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands'* (pp. 599-616), Cairo, Egypt.
- Holland, H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor (MI), The University of Michigan Press.
- Jiang, C., Zhang, H., Shen, H. and Zhang, L. (2012). A practical compressed sensing-based pansharpening method. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 9(4), 629-633. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2011.2177063>.
- Jiang, M., Shen, H., Li, J., Yuan, Q. and Zhang, L. (2020). A differential information residual convolutional neural network for pansharpening. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163, 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.006>.
- Jinju, J., Santhi, N., Ramar, K. and Bama, B. S. (2019). Spatial frequency discrete wavelet transform image fusion technique for remote sensing applications. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 715-726. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.004>.
- Kamir, E., Waldner, F. and Hochman, Z. (2020). Estimating wheat yields in Australia using climate records, satellite image time series and machine learning methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 160, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.008>.
- Khan, M. M., Alparone, L. and Chanussot, J. (2009). Pansharpening quality assessment using the modulation transfer functions of instruments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(11), 3880-3891. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2029094>.

- Khan, M. M., Chanussot, J., Condat, L. and Montanvert, A. (2008). Indusion: Fusion of multispectral and panchromatic images using the induction scaling technique. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(1), 98-102. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2007.909934>.
- Khatancharoen, C., Tsuyuki, S., Bryanin, S. V., Sugiura, K., Seino, T., Lisovsky, V. V., Borisova, I. G. and Wada, N. (2021). Long-Time Interval Satellite Image Analysis on Forest-Cover Changes and Disturbances Around Protected Area, Zeya State Nature Reserve, in The Russian Far East. *Remote Sensing*, 13(7), 1285. <https://doi.org/10.3390/rs13071285>.
- Klonus, S. and Ehlers, M. (2007). Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preservation algorithm. *GIScience & Remote Sensing*, 44(2), 93-116. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.44.2.93>.
- Kwarteng, P. and Chavez, A. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(1), 339-348.
- Laben, C. A. and Brower, B. V. (2000). *Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening*. U.S. Patent No. 6,011,875.
- Li, S. and Yang, B. (2011). A new pan-sharpening method using a compressed sensing technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(2), 738-746. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2067219>.
- Liu, J. G. (2000). Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing*, 21(18), 3461-3472. <https://doi.org/10.1080/014311600750037499>.
- Liu, J., Huang, J., Liu, S., Li, H., Zhou, Q. and Liu, J. (2015). Human visual system consistent quality assessment for remote sensing image fusion. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.018>.
- Liu, X., Zhang, Q., Li, Y., Tan, Z. and Werner, A. D. (2020). Satellite image-based investigation of the seasonal variations in the hydrological connectivity of a large floodplain (Poyang Lake, China). *Journal of Hydrology*, 585, 124810. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124810>.
- Masi, G., Cozzolino, D., Verdoliva, L. and Scarpa, G. (2016). Pansharpening by convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 8(7), 594. <https://doi.org/10.3390/rs8070594>.
- Munehika, C. K., Warnick, J. S., Salvaggio, C. and Schott, J. R. (1993). Resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(1), 67-72.
- Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V. and Arbiol, R. (1999). Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1204-1211. <https://doi.org/10.1109/36.763274>.
- Otazu, X., González-Audicana, M., Fors, O. and Núñez, J. (2005). Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(10), 2376-2385. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2005.856106>.
- Ozcelik, F., Alganci, U., Sertel, E. and Unal, G. (2020). Rethinking CNN-based pansharpening: Guided colorization of panchromatic images via GANS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(4), 3486-3501. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3010441>.
- Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F. and Smallwood, S. (2010). WorldView-2 pansharpening. *ASPRS 2010 Annual Conference* (pp. 1-14), San Diego, CA, USA.
- Pandit, V. R. and Bhiwani, R. J. (2020). Multispectral to Panchromatic Image Fusion Based on Morphological Extended-Half-Gradient. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(6), 945-957. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01127-2>.
- Pohl, C. and van Genderen, J. (2016). *Remote sensing image fusion: A practical guide*. Crc Press.
- Pohl, C. and van Genderen, J. L. (1998). Review article multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 823-854. <https://doi.org/10.1080/014311698215748>.
- Ranchin, T. and Wald, L. (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(1), 49-61.
- Restaino, R., Vivone, G., Dalla Mura, M. and Chanussot, J. (2015). A pansharpening algorithm based on morphological filters. In *International Symposium on Mathematical Morphology and its Applications to Signal and Image Processing* (pp. 98-109). Springer, Cham.



- Restaino, R., Vivone, G., Dalla Mura, M. and Chanussot, J. (2016). Fusion of multispectral and panchromatic images based on morphological operators. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(6), 2882-2895. <https://doi.org/10.1109/TIP.2016.2556944>.
- Schowengerdt, R. A. (1980). Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(10), 1325-1334.
- Serifoglu Yılmaz, C. (2020). *Metaheuristic pansharpening based on symbiotic organisms search optimization*. PhD Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon.
- Serifoglu Yılmaz, C., Yılmaz, V. and Güngör, O. (2020). On the use of the SOS metaheuristic algorithm in hybrid image fusion methods to achieve optimum spectral fidelity. *International Journal of Remote Sensing*, 41(10), 3993-4021. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1711244>.
- Serifoglu Yılmaz, C., Yılmaz, V., Gungor, O. and Shan, J. (2019). Metaheuristic pansharpening based on symbiotic organisms search optimization. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, 167-187. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.10.014>.
- Shi, Y. (2018). A new pansharpening algorithm using morphological lifting transform. *IEEE 3rd International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)* (pp. 250-254), Shenzhen, China. <https://doi.org/10.1109/SIPROCESS.2018.8600445>.
- Siddiqui, Y. (2003). The modified IHS method for fusing satellite imagery. *ASPRS 2003 Annual Conference* (pp. 5-9), Anchorage, Alaska.
- Strait, M., Rahmani, S. and Markurjev, D. (2008). Evaluation of Pan-Sharpener Methods. UCLA Department of Mathematics.
- Vicinanza, M. R., Restaino, R., Vivone, G., Dalla Mura, M. and Chanussot, J. (2015). A pansharpening method based on the sparse representation of injected details. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(1), 180-184. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2331291>.
- Vivone, G., Alparone, L., Chanussot, J., Dalla Mura, M., Garzelli, A., Licciardi, G. A., Restaino, R. and Wald, L. (2015). A critical comparison among pansharpening algorithms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(5), 2565-2586. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2361734>.
- Vivone, G., Restaino, R., Dalla Mura, M., Licciardi, G. and Chanussot, J. (2013). Contrast and error-based fusion schemes for multispectral image pansharpening. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(5), 930-934. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.2281996>.
- Wald, L. (2000). Quality of High Resolution Synthesized Images: Is There a Simple Criterion? *3rd Conference Fusion Of Earth Data: Merging Point Measurements, Raster Maps and Remotely Sensed Images* (pp. 99-103), Sophia Antipolis, France.
- Wald, L. and Ranchin, T. (2002). Liu'Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details'. *International Journal of Remote Sensing*, 23(3), 593-597. <https://doi.org/10.1080/01431160110088772>.
- Wald, L., Ranchin, T. and Mangolini, M. (1997). Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), 691-699.
- Wang, F., Lu, X., Mei, S., Su, Y., Zhen, Z., Zou, Z., Zhang, X., Yin, R., Duic, N., Shafie-khah, M. and Catalão, J. P. S. (2021). A Satellite Image Data based Ultra-short-term Solar PV Power Forecasting Method Considering Cloud Information from Neighboring Plant. *Energy*, 121946. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121946>.
- Wang, Z. and Bovik, A. C. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9(3), 81-84. <https://doi.org/10.1109/97.995823>.
- Wang, Z. and Li, Q. (2011). Information content weighting for perceptual image quality assessment. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(5), 1185-1198. <https://doi.org/10.1109/TIP.2010.2092435>.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R. and Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), 600-612. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>.
- Wang, Z., Simoncelli, E. P. and Bovik, A. C. (2003). Multiscale structural similarity for image quality assessment. *37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers* (pp. 1398-1402), Pacific Grove, CA, USA. <https://doi.org/10.1109/ACSSC.2003.1292216>.
- Xing, Y., Wang, M., Yang, S. and Jiao, L. (2018). Pan-sharpening via deep metric learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote*

- Sensing*, 145, 165-183.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.01.016>.
- Xing, Y., Wang, M., Yang, S. and Zhang, K. (2018). Pansharpening with multiscale geometric support tensor machine. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(5), 2503-2517.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2742002>.
- Yang, C., Zhan, Q., Liu, H. and Ma, R. (2018). An IHS-based pan-sharpening method for spectral fidelity improvement using ripplelet transform and compressed sensing. *Sensors*, 18(11), 3624.  
<https://doi.org/10.3390/s18113624>.
- Yilmaz, V. (2021). A Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II-based approach to optimize the spectral and spatial quality of component substitution-based pansharpened images. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(5), e6030.  
<https://doi.org/10.1002/cpe.6030>.
- Yilmaz, V. and Gungor, O. (2016a). Determining the optimum image fusion method for better interpretation of the surface of the Earth. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 70(2), 69-81.  
<https://doi.org/10.1080/00291951.2015.1126761>.
- Yilmaz, V. and Gungor, O. (2016b). Fusion of very high-resolution UAV images with criteria-based image fusion algorithm. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 1-16.  
<https://doi.org/10.1007/s12517-015-2109-8>.
- Yilmaz, V., Serifoglu Yilmaz, C. and Gungor, O. (2021). Genetic algorithm-based synthetic variable ratio image fusion. *Geocarto International*, 36(9), 989-1006.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1629649>.
- Yilmaz, V., Serifoglu Yilmaz, C., Güngör, O. and Shan, J. (2020). A genetic algorithm solution to the gram-schmidt image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 41(4), 1458-1485.  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1667553>.
- Yin, H. (2015). Sparse representation based pansharpening with details injection model. *Signal Processing*, 113, 218-227.  
<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.12.017>.
- Yusuf, Y., Sri Sumantyo, J. T. and Kuze, H. (2013). Spectral information analysis of image fusion data for remote sensing applications. *Geocarto International*, 28(4), 291-310.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2012.692396>.
- Zhang, L. and Li, H. (2012). SR-SIM: A fast and high performance IQA index based on spectral residual. *19th IEEE International Conference on Image Processing* (pp. 1473-1476), Orlando, FL, USA.  
<https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6467149>.
- Zhang, L., Li, W., Shen, L. and Lei, D. (2020). Multilevel dense neural network for pansharpening. *International Journal of Remote Sensing*, 41(18), 7217-7232.  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1755474>.
- Zhou, J., Civco, D. L. and Silander, J. A. (1998). A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 743-757.  
<https://doi.org/10.1080/014311698215973>.
- Zhu, X. X. and Bamler, R. (2013). A sparse image fusion algorithm with application to pansharpening. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(5), 2827-2836.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2213604>.

## **YAZAR REHBERİ**

### **1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ**

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), 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 Enstitüsü 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 %30 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %5 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. Öninceleme 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 Enstitüsü Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’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 Tablolara 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 Tablolara 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 GUFBED\_makale\_sablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.



- GEYİKLİ H B, CANAN F;** Examination of vertical green facades and green roofs in terms of ecological criteria and evaluation of energy efficiency / *Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi*.....**1047-1058**
- AVŞAROĞLU Y, GÜMÜŞ V, ŞİMŞEK O, DİNSEVER L, KUŞ M;** Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki aylık toplam tava buharlaşma verilerinin Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile trend analizi / *Trend analysis of monthly total pan evaporation data of Southeast Anatolia Region with Mann-Kendall Test and Innovative Sen Method*..... **1059-1070**
- ÇÖTELİ E, KARATAŞ F;** Krom III klorür tuzuna maruz kalan mayalara C vitamini katılarak mayaların antioksidan enzimlerine etkisinin araştırılması / *The research of the effects on antioxidant enzymes of yeasts exposed to chromium III chloride salt by adding vitamin C*..... **1071-1081**
- GÜL M, ARSLAN T;** Malmquist yöntemi: Karadeniz bölgesinin turizm verimliliği üzerine bir uygulama / *Malmquist method: An application on the tourism efficiency of the Black Sea region*..... **1082-1092**
- KILIÇ A D, ÇAKMAK B;** Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri / *Petrographic and geochemical characters of the Bitlis ignimbirite*..... **1093-1102**
- GEÇKİL T, İNCE C B;** Atık LDPE'nin asfaltın fiziksel ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi / *Effect of waste LDPE on the physical and workability properties of asphalt*..... **1103-1114**
- YURTERİ C, KURTTAŞ T;** Uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Seyfe Gölü (Kırşehir) yüzey alanının zamansal değişiminin analizi / *Analysis of temporal changes on the surface area of the Seyfe Lake (Kırşehir) using Remote sensing and GIS techniques*..... **1115-1128**
- SARI O, ULUTAŞ H;** Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi / *Investigation of seismic safety of an existing residential RC building*..... **1129-1144**
- AVCI E;** Genelleştirilmiş lineer modellerde kısmi ve augmented kısmi artıklar ve grafikleri / *Partial and augmented partial residuals and plots in generalized linear models*..... **1145-1153**
- CAN N S, ŞENCAN ŞAHİN A;** Yapay sinir ağları metodu ile günlük çiğ noktası sıcaklığı tahmini / *Daily dew point temperature estimation with artificial neural networks method*..... **1154-1163**
- EFE B, GÖZET E;** Samsun ilinin turizm iklim indeksi değerlerinin trend analizi / *Trend analysis of tourism climate index values in Samsun*..... **1164-1176**
- ŞAHİN E;** Lactobacillus paracasei biyokatalizörü ile enantiyosaf (S)-1- (4-metoksifenil) etanol üretimi / *Production of enantiopure (S)-1-(4-methoxyphenyl) ethanol by Lactobacillus paracasei biocatalyst*..... **1177-1187**
- KARABUDAK F;** Fatigue analysis of the vehicle brake disc / *Araç fren diskinin yorulma analizi*..... **1188-1197**
- KARSLI M, KEMİKLİOĞLU U, YAVUZ S;** Tabanca namlu malzemesi 32CrMoV12-10 alaşımına uygulanan gaz nitrasyon ve su verme işlemlerinin darbe dayanımına etkilerinin incelenmesi / *Investigation of the impact strength of gas nitration and quenching processes applied to gun barrel material 32CrMoV12-10 alloy*..... **1198-1207**
- DEMİRARSLAN K O, BAŞAK S;** Kamu kurumları için sıfır atık kapsamında atık kâğıt envanter çalışması: Artvin Çoruh Üniversitesi örneği / *Waste paper inventory study within the scope of zero waste for public institutions: an example of Artvin Çoruh University*..... **1208-1216**
- TARHAN T;** Synthesis and characterization of boron nitride nanotubes (BNNTs) with a new method and precursor materials / *Yeni bir yöntem ve öncü maddeler ile bor nitrid nanotüplerin (BNNT'lerin) sentezi ve karakterizasyonu*..... **1217-1224**
- ŞENOL ARSLAN D;** Türkiye'de farklı yörelerde bulunan kolemanit minerallerinin fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerinin tayini / *Determination of physical, chemical and thermal properties of colemanite minerals in different regions of Turkey*..... **1225-1234**
- YALÇIN E, GÜLTEKİN B, BİLGİLİ H, CAN M;** Kendiliğinden organize olan tek tabaka molekülleri kullanarak organik ışık yayan diyotların veriminin iyileştirilmesi / *Increasing efficiency of organic light emitting diode by using self assembled monolayers*..... **1235-1241**



- YOUSOUF MAHAMAT TAHIR O, KARAMAN K;** Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini / *Prediction of the uniaxial compressive strength of basalts from the point load strength index using the conversion factor*..... **1242-1249**
- YAYLI B, KILIÇ İ;** Determination of nitrogen pollution amount from livestock breeding in Turkey / *Türkiye’de hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan azot kirliliği miktarının belirlenmesi*..... **1250-1257**
- GÜRSOY HAKSEVENLER B H, AYAZ S;** Noktasal ve yayılı kirlenme kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği / *The effect of point and diffuse pollution sources on surface water quality, A case study for Alaşehir Aiver sub-basin*..... **1258-1268**
- GÜLTEKİN K, KORKMAZ Y;** AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı yüzey hazırlama ve pürüzlülük işlemlerinin yapıştırma bağlantılarına etkisi / *Effect of different surface preparation and roughness treatments applied to AA2024-T3 aluminum alloys in bonded joints*..... **1269-1281**
- DİLER E A;** Comparison of the effects of microwave and spark plasma sintering on the electrical, thermal, and mechanical properties of Cu-LaB6 nanocomposites / *Mikrodalga ve kıvılcım plazma sinterlemenin Cu-LaB6 nanokompozitlerin elektriksel, ısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması*..... **1282-1294**
- ÖZDEMİR E;** Termal ısınma-soğuma döngülerine maruz bırakılan mermerlerde soğuma şeklinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması / *Investigation of the effect of cooling type on physical and mechanical properties of marbles exposed to thermal heating-cooling cycles*..... **1295-1303**
- ŞENYURT S, UZUN M;** Smarandache curves of Anti-Salkowski curve according to the spherical indicatrix curve of the unit darbox vector / *Anti-Salkowski eğrisinin birim darbox vektöründen elde edilen smarandache eğrileri*..... **1304-1314**
- ÜNVERDİ A, YILMAZ S, TOMAKİN M, POLAT İ, BACAKSIZ E;** Improved performance of CdS powder-based hybrid solar cells through surface modification / *Yüzey modifikasyonu yardımıyla CdS toz bazlı hibrit güneş pillerinde performans artışı*..... **1315-1323**
- İNCEYOL Y;** Uygulama imar planı tadilatlarında plan değişikliği ölçütlerine uygunluğun araştırılması / *Investigation of compliance with plan amendment criteria in implementation zoning plan amendments*..... **1324-1339**
- ŞERİFOĞLU YILMAZ Ç, YILMAZ V, GÜNGÖR O;** Çok bantlı görüntülerde pan-keskinleştirme üzerine bir inceleme / *A review on pansharpening of multispectral images*..... **1340-1357**