



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CILT/VOLUME: 12

SAYI/NUMBER : 4

YIL/YEAR : 2022

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

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



EBSCO



TÜBİTAK

ULAKBİM  
TRIZIN



**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*  
Gümüşhane Üniversitesi Adına  
*On the behalf of Gümüşhane University*

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

*Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editörler / Executive Editors**

*Doç. Dr. Serhat DAĞ*  
*Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER*  
*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Editörler / Editors**

<i>Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ</i>	<i>Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ</i>
<i>Prof. Dr. Mehmet MERDAN</i>	<i>Doç. Dr. Melih OKCU</i>
<i>Prof. Dr. Necati ÇELİK</i>	<i>Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU</i>
<i>Prof. Dr. Fatih DÖNER</i>	<i>Doç. Dr. İbrahim TURAN</i>
<i>Prof. Dr. Salim Serkan NAS</i>	<i>Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR</i>
<i>Prof. Dr. Bahri BAYRAM</i>	<i>Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ</i>
<i>Prof. Dr. Hüseyin DEMİR</i>	<i>Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA</i>
<i>Doç. Dr. Enver AKARYALI</i>	<i>Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK</i>

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Arş. Gör. Dr. İlker ERKAN*  
*Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 10 / 2022**

*Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri 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.*



**Gümüşhane University Journal of Science**  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**

Published by Gümüşhane University

Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue: 4 Yıl/Year: 2022

Üç ayda bir yayımlanır/ Published four times a year

**ISSN 2146-538X**

**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-Bahkesir Üniversitesi  
Prof. Dr. Charyyar Ashralyyev-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 GÖKÇEÖĞLU-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. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk 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 Sütçü 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. Mehmet BAŞOĞLU-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. 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-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK-Atatürk Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman 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-İstanbul Teknik 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 SIRAT-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

Fatih AVCİL Ercan IŞIK Aydın BÜYÜKSARAÇ	<b>The effect of local soil conditions on structure target displacements in different seismic zones</b> <i>Farklı sismik bölgelerde yerel zemin koşullarının yapı hedef yerdeğiştirmelerine etkisi</i>	<b>1000</b>
İlkay KAYDU AKBUDAK Doğanay Elif KETENCİ Meltem GÜRBÜZ	<b>Kaman (Kırşehir-Türkiye) floritlerinin mineralojik ve gemolojik özellikleri</b> <i>Mineralogical and gemological characteristics of Kaman (Kırşehir-Türkiye) fluorites</i>	<b>1012</b>
Yasemin A. TOPÇUOĞLU Zülfü GÜROCAK	<b>Asidik ve bazik karakterli tüflerin pozolanik özelliklerinin araştırılması: Elazığ ve Gümüşhane yörelerinden örnek bir çalışma</b> <i>Investigation of pozzolanic properties of acidic and basic tuffs: A case study from Elazığ and Gümüşhane regions</i>	<b>1024</b>
Pervin YEŞİL Mesut GÜZEL Şeyma ŞENGÜR	<b>Peyzaj uygulamalarında kullanılan bazı çim çeşitlerinde farklı tuz yoğunluklarının çimlenme üzerine etkileri</b> <i>Effects of different salt concentrations on the germination in some turfgrass varieties used in landscape applications</i>	<b>1036</b>
Kadir KIRAN Bahri ŞEKERCİ Kemal Burak URGANCI Y. Emre DELİKANLI Baki GEZGEN	<b>Endüstriyel bir 3 boyutlu yazıcı ile imal edilen ABS malzemeli parçaların boyut hatalarının incelenmesi</b> <i>Investigation of dimensional form errors of parts manufactured with an industrial 3-dimensional printer using ABS material</i>	<b>1046</b>
Seda K. IŞILDAK Feray ALUÇLU	<b>İstanbul'da özel konumlarda yer alan bazı son dönem yapıları üzerinden Sinan'ın mimarlığını anlamak</b> <i>Understanding Sinan's architecture through some last works in special locations in Istanbul</i>	<b>1058</b>
Fatih SAKA Taha ORTAKCI	<b>Koruge boruların zemin yükleri altında tasarımları ve boru yataklamasının tasarıma etkisi</b> <i>Design of corrugated pipes under ground loads and evaluation of the effect of pipe bedding on the design</i>	<b>1075</b>
Semra ÇİÇEK	<b>Cytotoxicity of silver nanoparticles obtained from <i>Eruca vesicaria</i> on the rainbow trout gonad cell line-2 (RTG-2)</b> <i>Gökkuşluğu alabalığı gonad hücre hattı-2 (RTG-2) üzerinde Eruca vesicaria'dan elde edilen gümüş nanoparçacıkların sitotoksitesisi</i>	<b>1093</b>
Ebubekir BOZKURT Mehmet POLAT	<b>Doğrudan moment kontrolüne stator direncinin etkisinin incelenmesi ve sürekli mıknatıslı senkron motora uygulaması</b> <i>Investigation of the effect of stator resistance on direct torque control and application of permanent magnet synchronous motor</i>	<b>1102</b>
Cemal DİLEK Osman ÜÇÜNCÜ	<b>ISO 22000 Gıda güvenliği yönetim sisteminin çay fabrikalarındaki uygulanabilirliği</b> <i>Applicability of ISO 22000 food safety management system in tea factories</i>	<b>1120</b>
Altuğ KARABEY	<b>Effect of insulation thickness on energy saving in cold regions of Türkiye</b> <i>Türkiye'nin soğuk bölgelerinde yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi</i>	<b>1132</b>
Halil ŞENOL Selçuk ATASOY	<b>Protatif anaerobik biyoreaktör tasarımı ve üretim denemeleri</b> <i>Portable anaerobic bioreactor design and production trials</i>	<b>1146</b>
Betül Tuba GEMİCİ Aybüke ÖZDEN	<b>Kestane kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden boyar madde gideriminin izoterm, kinetik ve termodinamik analizi</b> <i>Isotherm, kinetics and thermodynamic analysis of dye removal from aqueous solutions using chestnut shell</i>	<b>1158</b>

Birkan AKSAN Sümeyye GÜR MAZLUM	<b>On the pole indicatrix curve of the spacelike Salkowski curve with timelike principal normal in Lorentzian 3-space</b> <i>3-boyutlu Lorentz uzayında timelike aslı normalli spacelike Salkowski eğrisinin pol gösterge eğrisi üzerine</i>	<b>1168</b>
Gözde KOŞARSOY AĞÇELİ	<b>Antimicrobial effect of commercial play dough, safety or not?</b> <i>Ticari oyun hamurlarının antimikrobiyal etkisi, güvenli mi değil mi?</i>	<b>1180</b>
İlyas KACAR Cem KORKMAZ	<b>Çok katmanlı algılayıcı ağı, uzun-kısa süreli bellek ağı ve regresyon yöntemleri ile tarımsal kurutma tahmini</b> <i>Prediction of agricultural drying using multi-layer perceptron network, long short-term memory network and regression methods</i>	<b>1188</b>
Mesut KARABACAK	<b>A novel distance measure for simplified neutrosophic sets with its applications in pattern recognition</b> <i>Örüntü tanımadaki uygulamalarıyla basitleştirilmiş nütrosöfik kümeler için yeni bir mesafe ölçüsü</i>	<b>1207</b>

---

## The effect of local soil conditions on structure target displacements in different seismic zones

*Farklı sismik bölgelerde yerel zemin koşullarının yapı hedef yerdeğiştirmelerine etkisi*

Fatih AVCİL<sup>\*1,a</sup>, Ercan IŞIK<sup>1,b</sup>, Aydın BÜYÜKSARAÇ<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis

<sup>2</sup>Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, 17200, Çanakkale

• Geliş tarihi / Received: 22.04.2022

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 05.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 25.07.2022

### Abstract

The local soil conditions of the region where the structure is located are one of the important parameters taken into account in the evaluation and design of structures under the influence of earthquakes. In this study, the effect of different local soil conditions on target displacement values of reinforced-concrete (RC) structures in different seismic regions was investigated. For this purpose, four different settlements within each earthquake zone specified in the previous earthquake zone map were taken into account. Structural analyzes for a sample reinforced concrete structure using four different local soil conditions were performed for all residential units separately. The values predicted in the current earthquake hazard map for the considered locations were repeated for four different local soil classes. For the settlements, the predicted values in the last two maps were compared. As the soil properties improved as a result of the structural analysis, the displacement values predicted for the building performance level took lower values.

**Keywords:** Local soil, Performance level, Pushover analysis, Reinforced-concrete, Target displacement

### Öz

Yapıların bulunduğu bölgeye ait yerel zemin koşulları, deprem etkisindeki yapıların değerlendirilmesi ve tasarımında dikkate alınan önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmada, farklı yerel zemin koşullarının farklı sismik bölgelerde betonarme yapılarda hedef yer değiştirme değerlerine etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda önceki deprem bölgeleri haritasında belirtilen her bir deprem bölgesi içerisinde yer alan dört farklı yerleşim birimi dikkate alınmıştır. Dört farklı yerel zemin koşulu kullanılarak örnek bir betonarme yapı için yapısal analizler tüm yerleşim birimleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dikkate alınan konumlar için güncel deprem tehlike haritasında öngörülen değerler dört farklı yerel zemin sınıfı için tekrarlanmıştır. Yerleşim birimleri için son iki haritada öngörülen değerler karşılaştırılmıştır. Yapısal analizler sonucu zemin özelliklerini iyileştikçe yapı performans düzeyi için öngörülen yer değiştirme değerleri daha düşük değerler almıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yerel zemin, Performans düzeyi, Statik itme analizi, Betonarme, Hedef yer değiştirme

<sup>\*a</sup> Fatih AVCİL; favcil@beu.edu.tr, Tel: (0506) 814 17 13, orcid.org/0000-0001-6550-550X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8057-065X

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-4279-4158

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Many different factors are considered when designing and evaluating earthquake-prone structures. Significant losses due to structural damage after each earthquake are enough to reveal the importance of these factors. Among these factors and structural characteristics, the seismicity of the region/geography and local soil conditions are also effective. The seismicity of any region is based on geological, tectonic, and statistical data. Among the most important parameters in determining the earthquake hazard of a region are the location, magnitude, and source parameters of the earthquake and the intensity distribution data. Earthquake activity in a region is an indicator of future earthquakes in that region. (Yunatçı & Çetin, 2007; Cornell, 1968; McGuire, 2008; Kramer, 2003; Işık, 2010). In general, parameters such as seismicity, faults and fault groups in the region, characteristics of the faults, the distance of the structure to the faults, earthquake history of the region, and the characteristics of the earthquakes are taken into account. In countries with high earthquake hazards, earthquake hazard maps are created by conducting various seismic zones (Özmen, 2012; Işık et al., 2021). In Turkey, until the last earthquake hazard map, a regional-based earthquake zones map was used on different bases. With the current map, the term seismicity specific to geographical location has been used instead of regional basis. With the help of these maps, it is possible to have information about the earthquake hazard and risks of any region/location.

In addition to the seismicity parameters, the local soil conditions of the area where the structures will be built directly affect both the level of feeling of the earthquake effect and the behavior of the structures under the influence of the earthquake. Local soil conditions cause the earthquake effect to be felt more strongly on both living things and structures. Seismic waves created by the energy released from a source at the bedrock level are affected by the properties of the environments they pass through during their propagation; There may be changes in duration, frequency, and amplitude (İyisan & Haşal, 2011). Although local soil conditions generally differ between countries, soil classifications are included in earthquake codes. Within the scope of this study, the interaction of different local soil conditions in different seismic zones was tried to be investigated. There are many studies on these subjects. Özşahin and Eroğlu (2019) examined the effect of local soil conditions on seismicity for Erzincan, which has high

earthquake sensitivity. Akyıldız et al (2021) studied the cross-sectional effects of five different soil classes stipulated in the current earthquake code for a reinforced concrete building. Peker and Işık (2021) obtained displacement, period, and internal forces for an eight-storey steel structure model by choosing five different local soil classes in the current regulation as variables. Karaşin and Işık (2017) performed structural analyzes for a reinforced concrete building model in order to reveal the effects of different soil classes and building behavior coefficients on building performance. Sisman (2022), in his study local soil conditions of the Zeytinburnu district in İstanbul are analyzed concerning the Building and Earthquake Code of Turkey. Aykaç et al. (2021), in their study, revealed the damage-local soil condition relationships in the 2011 Van earthquakes for a district in Van city. Tohumcu et al. (2003) classified the local soil conditions obtained in field tests and laboratory experiments in two different ways and obtained the design spectra according to both methods. Işık et al. (2016) examined the effect of local soil conditions on earthquake damages. Becerra et al. (2016) performed comparisons between local soil conditions and observed damage from the 2014 Iquique earthquake. Yon et al. (2015) and Yon and Calayir (2015) tried to reveal the effect of different local soil conditions and seismic zones on a reinforced concrete building. Mwafy and Elnashai (2001) studied the comparisons of static pushover and dynamic collapse analysis of reinforced concrete buildings.

Within the scope of this study, settlements with different seismic hazards and four different cities were selected for four different earthquake zones in the previous earthquake zone map in Turkey. The cities of Manisa (Center), Ağrı (Center), Gümüşhane (Center), and Ankara (Center) were selected which are located in the first, second, third, and fourth-degree earthquake zones, respectively. The values in the last two seismic hazard maps and seismic design codes were compared for these settlements with different seismic risks in Turkey. Structural analyzes were carried out for a reinforced-concrete building selected as a model, using the peak ground acceleration predicted in the earthquake zone and earthquake hazard maps used in Turkey for these settlements. In the analyses, four different local soil classes (ZA, ZB, ZC, and ZD) in the Eurocode-8, which is more widely used in the world, were chosen as variables. Target displacements were calculated for three different performance levels in Eurocode-8. The part that distinguishes this study

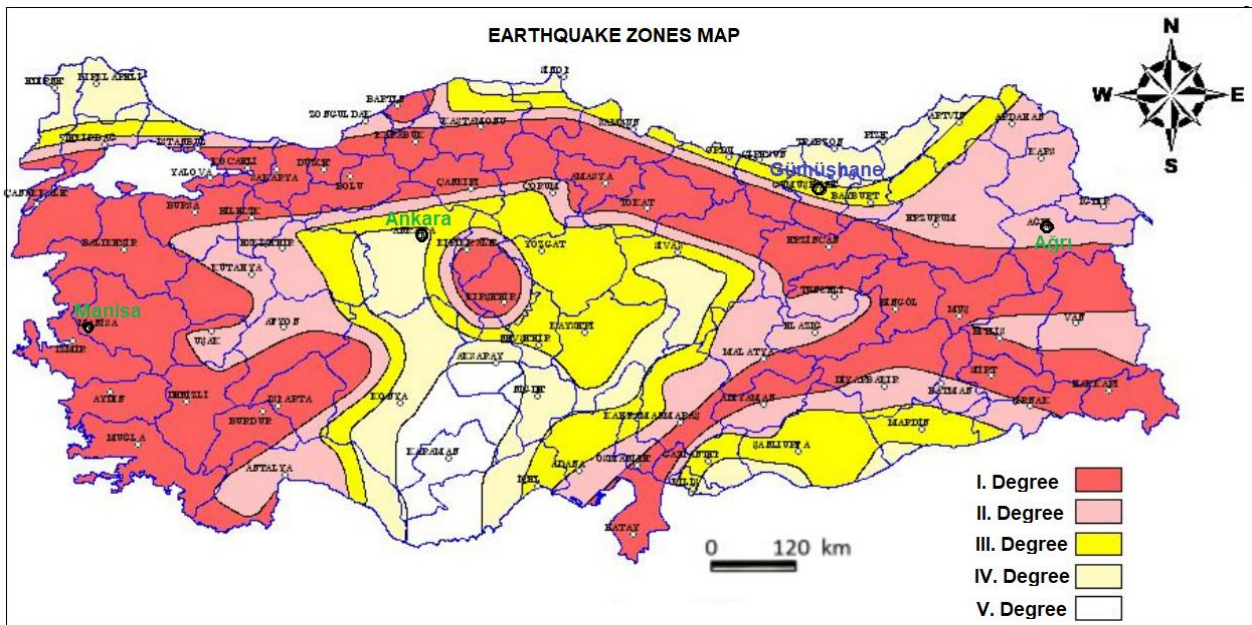
from other studies is the target displacements obtained for performance levels. One of the two different variables considered in this study is seismic risk variation. For this variable, settlements with different seismic risks in the last two maps and codes in Turkey were taken into account. For the local soil class, which is another variable taken into consideration, four different soil classes specified in Eurocode-8, which is used much more widely in the world, are taken into account.

## 2. Settlements with different seismic hazard

### 2. Sismik tehlikenin farklı olduğu yerleşim birimleri

The threat posed by earthquakes to human activities in many parts of the world is sufficient reason for careful consideration of earthquakes in the design of structures and facilities. Considering

some deficiencies in earthquake regulations in Turkey and uncertainties in earthquake source zones, necessary corrections were made and the earthquake zones map was finalized. The map was prepared by carrying out these mentioned studies; With the decision of the Council of Ministers dated 18.4.1996 and numbered 96/8109, it entered into force under the name of Turkey Earthquake Zones Map with a scale of 1/1.800.000 (Özmen, 2012; Özmen & Can, 2016; Işık, 2021). Within the scope of this study, four different settlements located in four different earthquake zones were selected using the earthquake zones map, which has different seismic risks, has been used in Turkey since 1996, and was retired in 2018 with the new earthquake map. The representation of the selected locations on the previous earthquake zones map is given in Figure 1.



**Figure 1.** Earthquake zones map and selected geographic locations (Adopted from Özmen & Nurlu, 1999)  
**Şekil 1.** Deprem bölgeleri haritası ve seçilen coğrafi konumlar (Adopted from Özmen & Nurlu, 1999)

In the map, regions, where ground acceleration is expected to be greater than 0.40 g, are 1st degree, regions expected to be between 0.30-0.40 g are 2nd regions, expected to be between 0.20-0.30 g 3rd, regions expected to be between 0.10-0.20 g 4th. degree and regions expected to be less than 0.1 g were determined as the 5th-degree earthquake zone. As can be seen on the map, the selected settlements are located in different degree earthquake zones in Turkey.

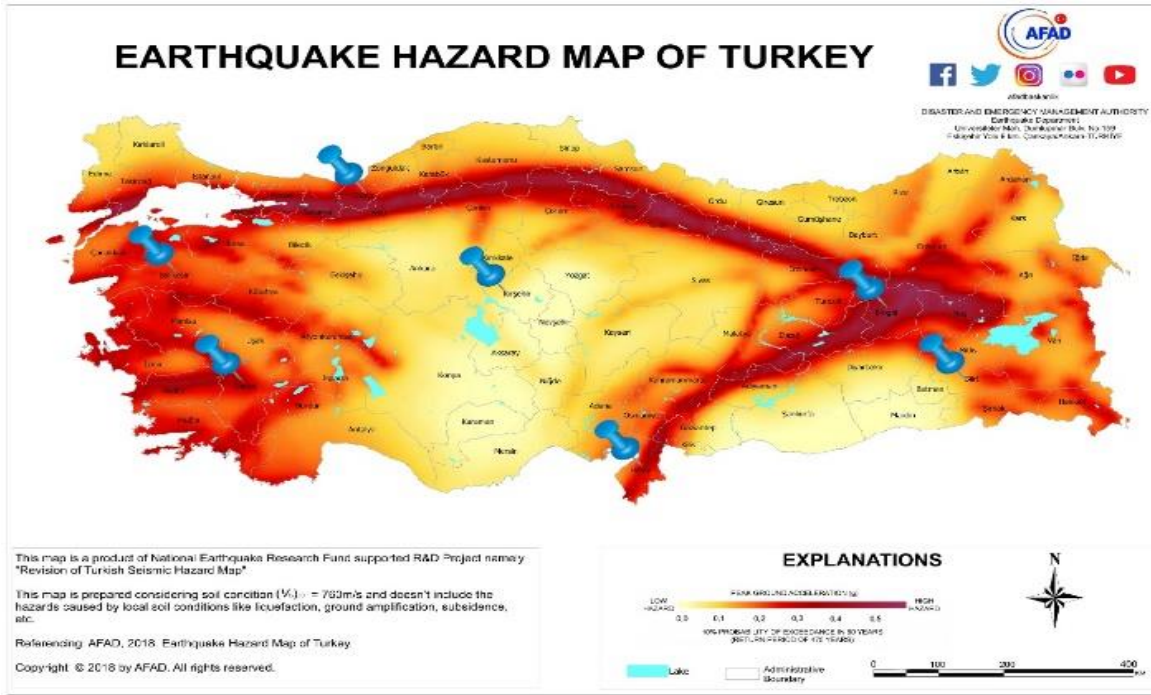
Earthquake maps in Turkey were renewed on seven different dates, and the last map was implemented as Turkey Earthquake Hazard Map in 2018. All

maps except the last map have been prepared based on regional risk. Scientific developments in the field of earthquake and civil engineering and experienced earthquakes reveal that there is a need for updates in earthquake hazard maps. After 20 years, this change has been made in Turkey, and the Turkey Earthquake Hazard Map has been put into effect since 2018. While the previous map is on a regional basis and predicts the same earthquake parameters for the settlements located in the same earthquake zone, the current map predicts earthquake parameters specific to each geographical location. The variation of the seismicity elements according to the geographical



location also directly affects the structural parameters to be obtained from the earthquake data. With the current map, the concept of the

earthquake zone has also been removed. The representation on the current earthquake hazard map is shown in Figure 2.



**Figure 2.** The current earthquake hazard map  
**Şekil 2.** Güncel deprem tehlike haritası üzerinde gösterimi

Within the scope of this study, in the selection of settlements with different seismic risks, four different settlements located in four different earthquake zones were selected. The Peak Ground Acceleration (PGA) values predicted in the last two earthquake maps for randomly selected locations in

four different city centers located in different seismic zones are shown in Table 1. While comparing the PGA values, the design with a 10% probability of exceedance in 50 years on both maps was carried out by taking into account the earthquake ground motion level.

**Table 1.** Comparison of PGAs of selected locations  
**Tablo 1.** Seçilen yerleşim birimleri için PGA değerlerinin karşılaştırılması

City	Earthquake Zone(1996 Map)	TBEC-2007 PGA (g)	TBEC-2018 PGA (g)	PGA Ratio 2007/2018
Manisa (Center)	I	0.400	0.470	0.85
Ağrı (Center)	II	0.300	0.235	1.28
Gümüşhane (Center)	III	0.200	0.185	1.08
Ankara (Center)	IV	0.100	0.150	0.67

With the current map, the concept of earthquake zone has been removed and the concept of earthquake hazard specific to each location has been started to be used. This situation caused an increase in PGA values for some settlements and a decrease for others. While it caused an increase in Manisa (central) and Ankara (Center) settlements considered in the study, it caused a decrease in the other two settlements.

### 3. Local soil classes considered in the study 3. Çalışmada dikkate alınan yerel zemin sınıfları

It is known that local soil conditions directly affect the seismic behavior of structures (Borcherdt, 1970; Işık et al. 2016). In this study, while considering local soil conditions, four different soil classes in the more widely used Eurocode-8 were taken into account. Considered soil classes and properties are shown in Table 2.

**Table 2.** Soil classes considered in the study (Eurocode-8)

**Tablo 2.** Çalışmada dikkate alınan zemin sınıfları (Eurocode-8)

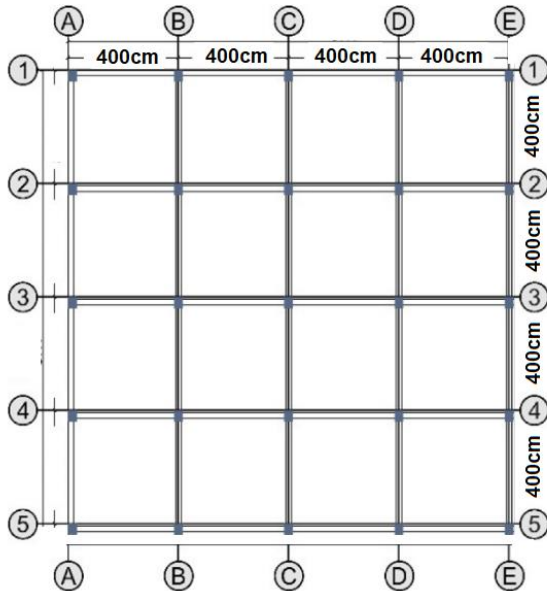
Ground-type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (blows/30cm)	$C_u$ (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5m of weaker material at the surface	>800	---	---
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of meters in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth	360-800	>50	>250
C	Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel, or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of meters.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70

It is seen that the soil properties and strengths decrease as the soil class goes from A to D.

#### 4. Structural analysis and results

##### 4. Yapısal Analizler ve Sonuçları

For the calculation and design of today's modern engineering structures, many computer programs have been developed that enable the transfer of results to application projects in an integrated manner and facilitate data transfer. In this study, Seismostruct software was used (Seismosoft, 2022). While determining the effect of local soil conditions on structural performance, an 8-storey reinforced concrete structure was chosen. As an example, the floor plan of a reinforced concrete building is shown in Figure 3. There are four spans in both the X and Y directions and each span is chosen as 4 m.



**Figure 3.** Floor plan of the RC building model  
**Şekil 3.** Örnek BA bina için kat kalıp planı

The structural property considered for the RC building selected as an example is shown in Table 3. In the sample RC building model, force-based

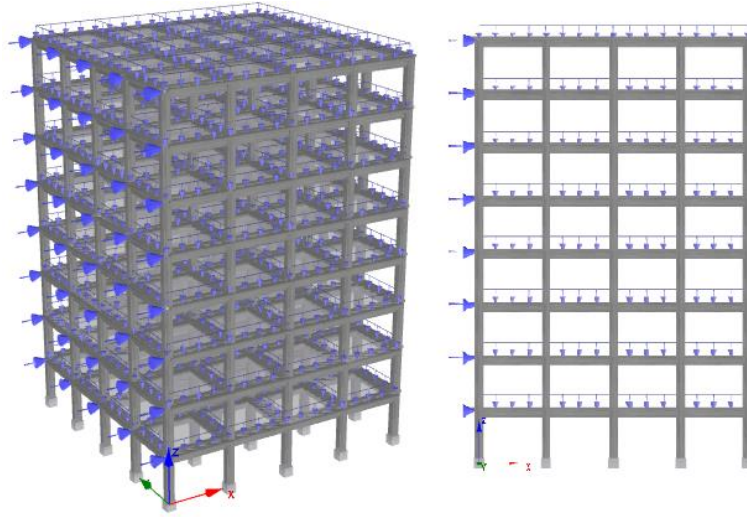
plastic hinged frame members (infrmFBPH) are used for columns and beams. These elements model the spread inelasticity based on force and only limit the plasticity to a finite length. In total, 100 fiber elements are defined for the selected sections. This value is sufficient for such sections. Plastic-hinge length ( $L_p/L$ ) was chosen as 16.67%.

**Table 3.** Analysis of input data considered for the RC building model

**Tablo 3.** Örnek betonarme bina için dikkate alınan analiz verileri

Parameter	Value
Concrete grade	C25
Reinforcement grade	S420
Beams	250x600mm
Height of floor	120 mm
Cover thickness	25 mm
Columns	400x500mm
Longitudinal Reinforcement	Corners 4Φ20
	Top-bottom side 4Φ16
Transverse reinforcement	Left-right side 4Φ16
	Φ10/100
Steel material Model	Menegotto-Pinto (1973)
Concrete material model	Mander et al. (1998) nonlinear
Constraint type	Rigid diaphragm
Incremental load	2,50 kN
Permanent Load	5 kN/m
Target Displacement	0.48m
Importance Class	II
Damping	5%

Pushover analysis was used in structural analysis. The values given in Table 1 were taken into account as the PGA value in the analyses. For each settlement, four different local soil classes were selected as variables, and analyzes were carried out. The 2 and 3-dimensional models obtained from the software for the selected RC building as an example are shown in Figure 4.



**Figure 4.** 2D and 3D structural model for the RC building  
**Şekil 4.** Örnek BA binası için elde edilen 2 ve 3 boyutlu yapısal model

Elastic stiffness ( $K_{elastik}$ ) and effective stiffness ( $K_{effective}$ ) values, natural period, and base shear forces were calculated separately for all settlements. For the target displacement values, the levels specified in Eurocode-8 (Part 3), which is also more commonly used, were taken into

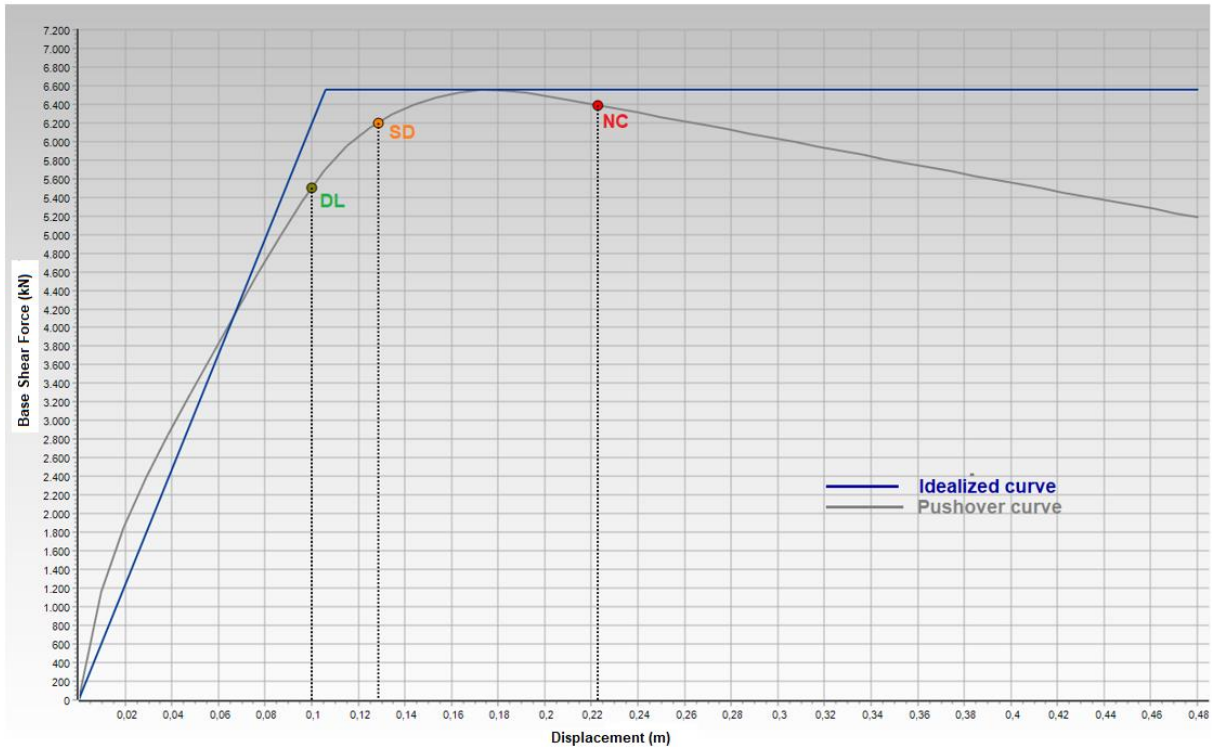
account. Three different states of damage are specified for performance levels. These; are near collapse (NC), significant damage (SD), and damage limitation (DL). These considered levels and their explanations are shown in Table 4.

**Table 4.** Limit states in Eurocode 8 (Part 3) (EN 1998, 2005; Pinto & Franchin, 2011)

**Tablo 4.** Eurocode 8'deki sınır durumları (Bölüm 3) (EN 1998, 2005; Pinto & Franchin, 2011)

Limit State	Description	Return Period (year)	Probability of exceedance (in 50 years)
Limit state of damage limitation (DL)	Only lightly damaged, damage to non-structural components is economically repairable	225	0.20
Limit state of significant damage (SD)	Significantly damaged, some residual strength and stiffness, non-structural components damaged, uneconomic to repair	475	0.10
Limit state of near collapse (NC)	Heavily damaged, very low residual strength & stiffness, large permanent drift but still standing	2475	0.02

The representation of the considered limit states on an example pushover curve is shown in Figure 5.



**Figure 5.** Representation of the considered limit states on the pushover curve  
**Şekil 5.** Dikkate alınan sınır durumlarının statik itme eğrisi üzerinde gösterimi

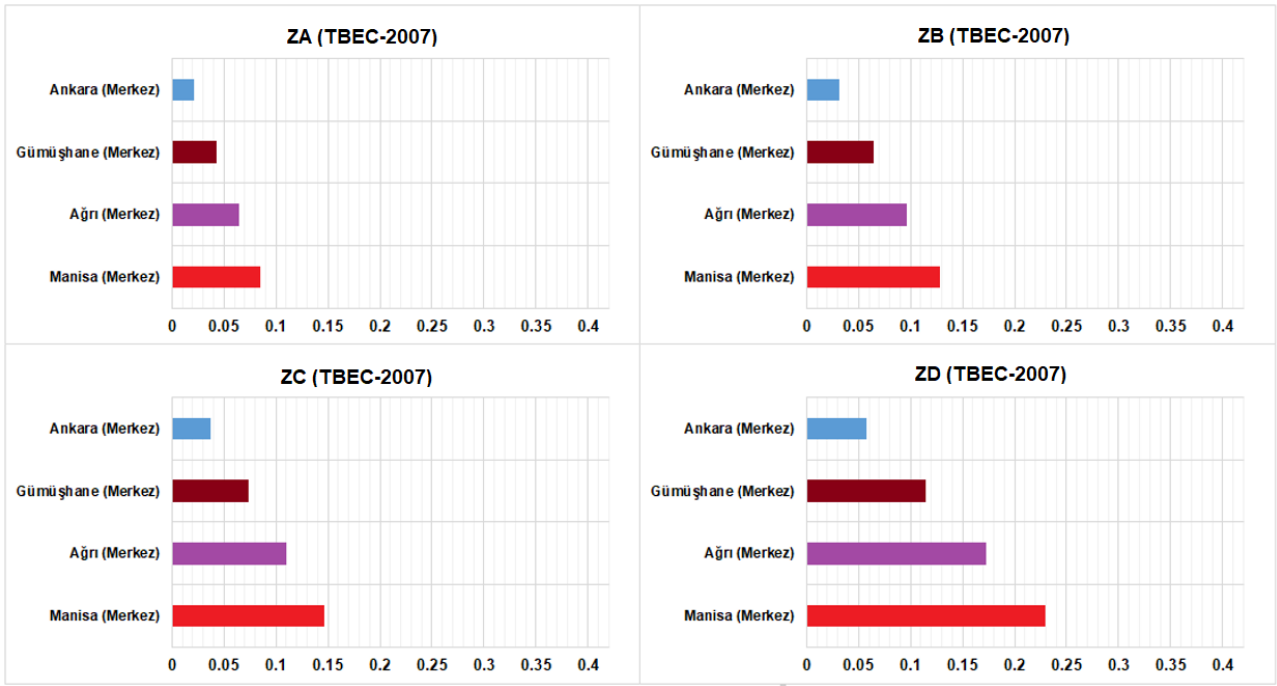
Since the RC structural properties taken into account in the study are not variable, the natural vibration period of the building is the same for all settlements and is obtained as 0.704 sec. Since the structural characteristics did not change, the seismic capacity of the same shape structure was obtained as 6553.74 kN, elastic stiffness 120490.50

kN/m, and effective stiffness as 61955.62 kN/m in all settlements. The target displacement obtained for settlements with different soil and seismic risks by using the PGA values predicted in the previous earthquake zone map is shown in Table 5.

**Table 5.** Comparison of target displacements (TBEC-2007)  
**Tablo 5.** Hedef yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması (TBEC-2007)

Local Soil Class	Limit State	Manisa (Center) (m)	Ağrı (Center) (m)	Gümüşhane (Center) (m)	Ankara (Center) (m)
ZA	DL	0.085	0.064	0.043	0.021
	SD	0.109	0.082	0.055	0.027
	NC	0.190	0.142	0.095	0.047
ZB	DL	0.128	0.096	0.064	0.032
	SD	0.164	0.123	0.082	0.041
	NC	0.284	0.213	0.142	0.071
ZC	DL	0.147	0.110	0.074	0.037
	SD	0.189	0.141	0.094	0.047
	NC	0.327	0.245	0.163	0.082
ZD	DL	0.230	0.173	0.115	0.058
	SD	0.295	0.221	0.148	0.074
	NC	0.512	0.384	0.256	0.128

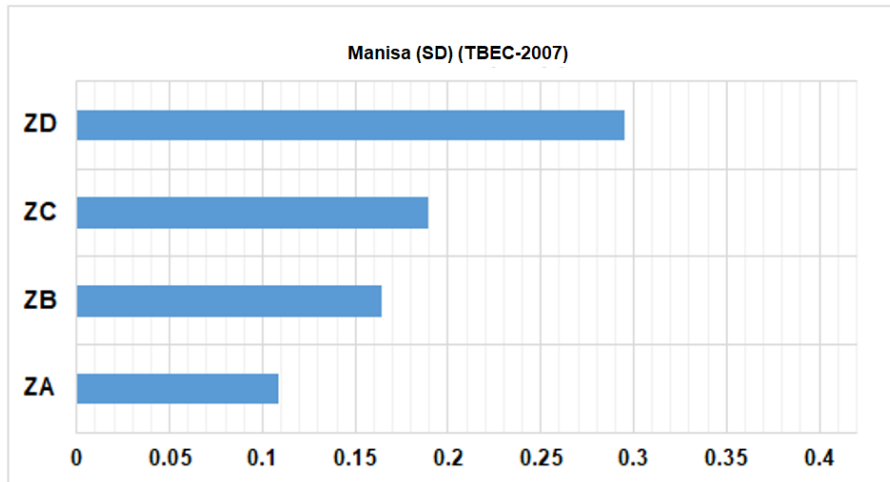
The comparison of the values obtained for the limited damage (DL) condition in order to reveal the difference between the different soil classes is shown in Figure 6.



**Figure 6.** Comparison of displacements in different soil classes for the Limited Damage condition  
**Şekil 6.** Sınırlı Hasar durumu için yerdeğiştirmelerin farklı zemin sınıfları karşılaştırılması

The comparison of the displacements obtained for different soil classes in case of significant damage (SD) of Manisa (Center), which is the settlement

with the highest PGA value among the settlements considered in the study, is shown in Figure 7.



**Figure 7.** Comparison of displacements for the SD condition of Manisa  
**Şekil 7.** Manisa için SD için yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

As the local soil properties weakened and its strength decreased, the target displacements expected from the structure for the performance levels increased significantly.

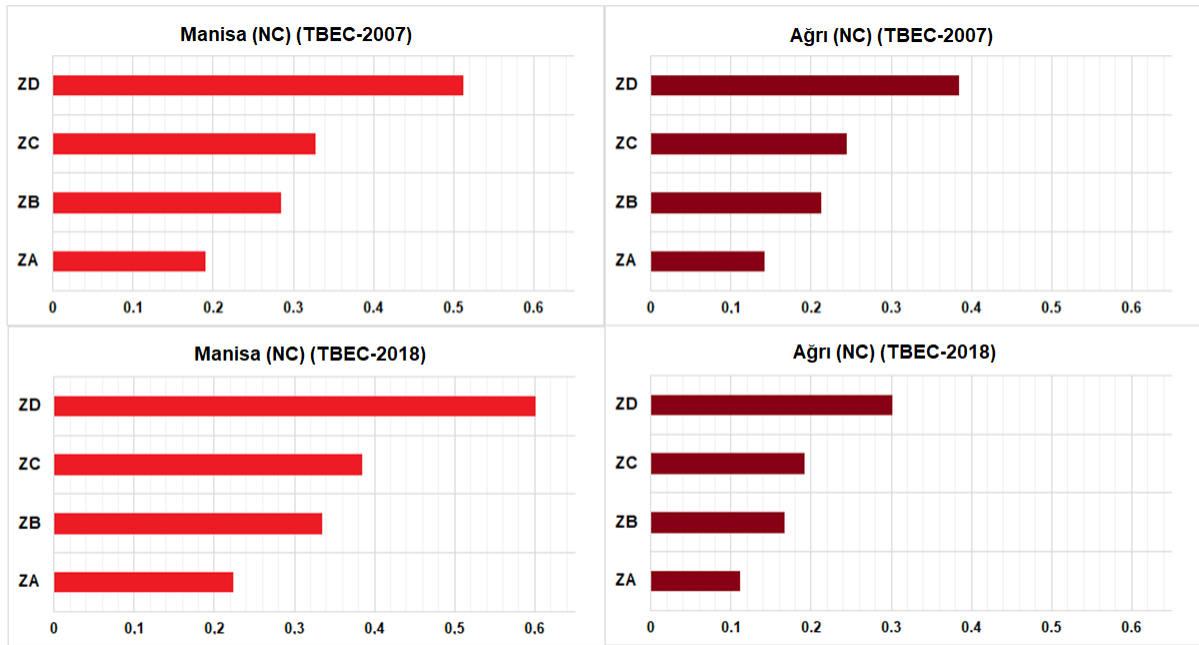
The target displacements obtained from the structural analysis results for the PGA values of the seismic risk change predicted in the Current Turkey Earthquake Hazard Map are shown in Table 6.

**Table 6.** Comparison of target displacements (TBEC-2018)  
**Tablo 6.** Hedef yer değiştirmelerin karşılaştırılması (TBEC-2018)

Local Soil Class	Limit State	Manisa (Center) (m)	Ağrı (Center) (m)	Gümüşhane (Center) (m)	Ankara (Center) (m)
ZA	DL	0.100	0.050	0.039	0.032
	SD	0.128	0.064	0.051	0.041
	NC	0.223	0.111	0.088	0.071
ZB	DL	0.150	0.075	0.059	0.048
	SD	0.193	0.096	0.076	0.061
	NC	0.334	0.167	0.131	0.107
ZC	DL	0.172	0.086	0.068	0.055
	SD	0.222	0.111	0.087	0.071
	NC	0.384	0.192	0.151	0.123
ZD	DL	0.270	0.135	0.106	0.086
	SD	0.347	0.173	0.137	0.111
	NC	0.601	0.301	0.237	0.192

The comparison of the target displacements obtained for the NC condition of Manisa (Center)

and Ağrı (Center) with different seismic risks is given in Figure 8.



**Figure 8.** Comparison of displacement for different soil classes of Manisa and Ağrı  
**Şekil 8.** Manisa ve Ağrı için farklı zemin sınıfları için sınır durumların karşılaştırılması

The highest target displacements were obtained for soil class ZD, while the lowest displacements were obtained for ZA. The highest target displacements were obtained for Manisa (Center), while the lowest values were obtained for Ankara (Center) for which the lowest PGA value was predicted.

**4. Conclusion**

*4. Sonuçlar*

One of the factors affecting the level of structural damage caused by earthquakes is local soil conditions. Local soil conditions directly affect both the earthquake characteristics and the effect of the earthquake on the structures. This study, unlike other studies, it was investigated to what extent different local soil classes in settlements with

different seismic risks affect the boundary conditions used for the performance levels of the structures. Considering the 1996 earthquake zone map, four cities in different earthquake zones were selected. The predicted PGA values for these cities were compared. Structural analyzes were performed for the RC structure model for four different local soil classes using the obtained values. No changes were made to the structural properties of the RC building model. Seismic risk and local soil conditions are taken into account as variables. Since the structural properties did not change, there was no change in the natural vibration period, seismic capacity, elastic, and effective stiffness values.

Turkey's earthquake hazard on a regional basis has been replaced by a geographical location-specific earthquake hazard with the updated map. Depending on this change, the earthquake risks of the settlements started to show variability. While an increase occurred for the provinces of Ağrı (Center) and Gümüşhane (Center) considered in this study, there was a decrease for the other provinces. The highest increase was in Manisa (Center) and the highest decrease was in Ağrı (Center).

The largest target displacements were obtained for ZD, while the lowest target displacements were obtained for ZA. The largest displacements were obtained for Manisa (Center), which has the highest seismic risk, and Ankara (Center), which has the lowest seismic risk. With the current seismic hazard map for Manisa (Center) and Ankara (Center), the seismic risk has increased compared to the previous map, and the target displacements have increased. As the seismic risk has decreased with current seismic hazard map for Ağrı (Center) and Gümüşhane (Center), target displacements have also decreased.

Since the weakening of the local soil properties will increase the earthquake effects on the structure, the target displacements have also increased. As the local soil strength increased, the expected displacements for the performance levels decreased as well. These results showed a complete agreement for the predicted values in the last two maps. The seismic hazard and risk change also significantly affected the expected target displacements. With the reduction of seismic risk, target displacements have decreased significantly. In this study, structural analyzes were carried out using the values predicted in the last two earthquake zone and hazard maps used in our country. One of the important differences between

the two maps is that the previous map is based on a regional basis, while the current map is based on location-specific earthquake hazards. While the target displacement values obtained for Manisa (Center) and Ankara (Center) increased compared to the values predicted for the current map, they decreased for Ağrı (Center) and Gümüşhane (Center).

It is seen that both the seismic hazard and the local soil conditions where the structures will be constructed significantly affect the expected target displacements for the performance levels of the structures. In this context, seismic hazard analysis will be important in order to more accurately reveal the seismic risk of any region. Determining the local soil properties and classes according to the results of experiments and measurements to be made in the field will add meaning to the results to be obtained. With these data, the earthquake-soil-structure triple interaction will be placed in a healthier and more realistic database. Accurately obtaining the damage levels that any earthquake can cause in any local soil class, in any structure, depends on the target displacements to be obtained for the expected performance levels from the structure.

#### **Author contribution**

*Yazar katkısı*

Concept/Design: FA; Data Collection, Processing, and Literature Search: EI; Drafting manuscript, Critical revision of manuscript: AB

#### **Declaration of ethical code**

*Etik beyanı*

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

#### **Conflicts of interest**

*Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that they have no conflict of interest.

#### **References**

*Kaynaklar*

Akyıldız, M. H., Ulu, A. E., & Adar, K. (2021). TBDY-2018'deki Yerel Zemin Koşullarının Deprem Kesit Tesirlerine Etkisi. *Dicle Üniversitesi*

- Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(4), 679-687. <https://doi.org/10.24012/dumf.1002217>
- Aykaç, Z., Akın, M., & Çabalar, A.F. (2021). VS (30) Tabanlı Yerel Zemin Koşulları ve Deprem Hasar İlişkisi: Van-Abdurrahmangazi Örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(2), 181-198. <https://doi.org/10.24232/jmd.1049536>
- Becerra, A., Sáez, E., Podestá, L., & Leyton, F. (2016). The 2014 earthquake in Iquique, Chile: comparison between local soil conditions and observed damage in the cities of Iquique and Alto Hospicio. *Earthquake Spectra*, 32(3), 1489-1505. <https://doi.org/10.1193/111014EQS188M>
- Borcherdt, R. D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(1), 29-61. <https://doi.org/10.1785/BSSA0600010029>
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the seismological society of America*, 58(5), 1583-1606. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580051583>
- Earthquake Zoning Map of Turkey; General Directory of Disasters Affairs Press: Ankara, Turkey, 1996.
- EN 1998-3 (2005). Eurocode-8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings; *European Committee for Standardization: Bruxelles, Belgium*, 2005.
- Işık E. (2010). *Bitlis şehri deprem performans analizi*. [Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Işık, E., Harirchian, E., Büyüksaraç, A., & Ekinci, Y. L. (2021). Seismic and structural analyses of the eastern anatolian region (Turkey) using different probabilities of exceedance. *Applied System Innovation*, 4(4), 89. <https://doi.org/10.3390/asi4040089>
- Işık E, Büyüksaraç A, Aydın MC (2016). Effects of local soil conditions on earthquake damages. In: Górecki J (editor). *Journal of Current Construction Issues. Civil Engineering Present Problems, Innovative Solutions - Sustainable Development in Construction*. BGJ Consulting, Bydgoszcz, Poland pp. 191-198.
- İyisan, R., & Haşal, M. E. (2012). Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi. *İTÜDERGİSİ/d*, 10(4).
- Karaşin, İ. B., & Işık, E., (2017). Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 661-673.
- Kramer L. S. 2003, Geoteknik Deprem Mühendisliği, Gazi Kitabevi, ISBN :975-8640-63-1, 708.
- McGuire, R. K. (2008). Probabilistic seismic hazard analysis: Early history. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 37(3), 329-338. <https://doi.org/10.1002/eqe.765>
- Mwafy, A. M., & Elnashai, A. S. (2001). Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings. *Engineering structures*, 23(5), 407-424. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(00\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00068-7)
- Özmen, B. (2012). Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55(1).
- Özmen, B., & Can, H., (2016). Ankara için deterministik deprem tehlike analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1). <https://doi.org/10.17341/gummfd.12493>
- Özmen, B., Nurlu, M., 1999, Deprem Bölgeleri Haritası ile İlgili Bazı Bilgiler, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni*, 99/2-3, 32-35, Ankara
- Özşahin, E., & Eroğlu, İ. (2019). Erzincan kentinde yerel zemin özelliklerinin deprem duyarlılığına etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 41-57. <https://doi.org/10.21324/dacd.428012>
- Pinto, P.E.; Franchin, P. (2011). Eurocode 8-Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. *In Proceedings of the Eurocode 8 Background and Applications*, Dissemination of Information for Training, Lisbon, Portugal, 10–11 February 2011.
- Peker, F. Ü., & Işık, E. (2021). TBDY-2018'deki yerel zemin koşullarının çelik yapı deprem davranışına etkisi üzerine bir çalışma. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1125-1139.
- Seismosoft. SeismoStruct (2012). A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures. 2012. Available online: <http://www.seismosoft.com>
- Sisman, R. (2022). Determination and Evaluation of Local Site Factors in Zeytinburnu, Istanbul, Turkey: A Scenario-Based Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-12.
- TBEC-2007. Turkish Seismic Design Code; T.C. Resmi Gazete: Ankara, Turkey, 2007.
- TBEC-2018 Turkish Building Earthquake Code; T.C. Resmi Gazete: Ankara, Turkey, 2018.
- Tohumcu, P., Kılıç, H., & Özyayın, K. (2003). Yerel zemin koşullarının depremler sırasında yapısal davranış üzerinde etkileri yönünden



sınıflandırılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 4, 85-101.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/2018>

Yön, B., Emin Öncü, M., & Calayır, Y. (2015). Effects of seismic zones and local soil conditions on response of RC buildings. *Gradevinar*, 67(06.), 585-596.  
<https://doi.org/10.14256/JCE.1192.2014>

Yön, B., & Calayır, Y. (2015). The soil effect on the seismic behaviour of reinforced concrete buildings. *Earthquakes and structures*, 8(1), 133-152. <http://doi.org/10.12989/eas.2015.8.1.133>

Yunatçı, A., & Çetin, Ö. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleriyle Tümleştirilmiş, Sahaya Özel Sismik Tepki ve Zemin Sıvılaşması Değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 17-28.

## Kaman (Kırşehir-Türkiye) floritlerinin mineralojik ve gemolojik özellikleri

### *Mineralogical and gemological characteristics of Kaman (Kırşehir-Türkiye) fluorites*

İlkay KAYDU AKBUDAK<sup>\*1</sup>, Doğanay Elif KETENCİ<sup>2</sup>, Meltem GÜRBÜZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir

<sup>2</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 40100, Kırşehir

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Taki Teknolojisi ve Tasarımı Yüksekokulu, Çiflikköy, 33343, Mersin

• Geliş tarihi / Received: 06.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 05.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 25.07.2022

#### Öz

Floritler Kaman (Kırşehir) ilçesine bağlı Hamit, Karakütük, Bayındır ve Yeniyanan köyleri arasında kalan bölgede bulunmaktadır. Floritler, Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu Granitoidleri içindeki gri- pembe renkli K-feldispat, plajiyoklaz ve kuvars ile amfibol ve biyotit türü mafik mineralleri içeren kuvars siyenitler içerisindeki faylara bağlı altere seviyelerde yer almaktadır. Floritler, birkaç santimetreden iki metreye kadar ulaşan damarlar halinde mor ve yer yer yeşil, pembe, sarı, beyaz renklerde gözlenmektedir.

X Işınlari Kırınım (XRD) analiz sonuçlarına göre kuvars siyenitler kuvars, feldispat ve kil minerali birlikteliğinden; floritler ise florit ve kuvars minerali birlikteliğinden oluşmaktadır. Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresansı (WDXRF) analiz sonuçlarına göre mor floritlerde F miktarının %39.8, CaO miktarının %51.2, SiO<sub>2</sub> miktarının %8.68 olduğu, yeşil floritlerde F miktarının %46.7, CaO miktarının %51.5, SiO<sub>2</sub> miktarının %1.15 olduğu gözlenmektedir. Katodoluminesans (CL) analizi sonucunda floritler içerisinde nadir toprak elementlerinden (NTE) terbiyum (Tb), erbiyum (Er), disprozyum (Dy) ve samaryum (Sm) elementlerinin varlığı gözlenmiştir.

Bölgedeki floritlerin süstaşı olarak kullanılabilmesi için; renk çeşitliliği, dokusu ve kolay işlenebilirliği olumlu özellikler olarak ortaya açığa çıkarken düşük sertliğe sahip olmaları, atmosferik koşullardaki dayanımlarının düşüklüğü ve iri kristallerin dilinimli yapıları gibi özellikleri ise olumsuz özellikler olarak belirlenmiştir. Bu nedenle bölgedeki floritlerin süstaşı olarak kullanılabilir olduğu ancak iyileştirme yöntemlerinden (epoksi ile doyurma) geçirilmeleri gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Florit, Kaman-Kırşehir, Mineraloji, Petrografi, Süstaşı

#### Abstract

Fluorites are found in the region between Hamit, Karakütük, Bayındır and Yeniyanan villages of the Kaman District (Kırşehir-Türkiye). Fluorites are located in altered levels due to faults in quartz syenites containing gray-pink colored K-feldspar, plagioclase and quartz, amphibole and biotite type mafic minerals in the Upper Cretaceous aged. Central Anatolian Granitoids, Fluorites observed in purple and green in places, pink, yellow, white colors as veins reaching from a few centimeters to two meters, purple and green in places, pink, yellow, white colors.

According to X-Ray diffraction (XRD) analysis results, quartz syenites are composed of quartz, feldspar and clay minerals; fluorites are composed of fluorite and quartz mineral combination. According to Wavelength Dispersive XRF (WDXRF) analysis results, it is observed that the amount of F in purple fluorites is 39.8%, the amount of CaO is 51.2%, the amount of SiO<sub>2</sub> is 8.68%, the amount of F in green fluorites is 46.7%, the amount of CaO is 51.5%, and the amount of SiO<sub>2</sub> is 1.15%. As a result of cathodoluminescence analysis, the presence of rare earth elements (REE) terbium (Tb), erbium (Er), dysprosium (Dy) and samarium (Sm) elements were observed in fluorites.

In order for the fluorites in the region to be used as a gemstone; while features color variety, texture, and easy workability are revealed as positive features, features such as low hardness, low strength in atmospheric conditions, and cleaved structure in coarse crystals are determined as negative features. For this reason, the fluorites in the region can be used as gemstones, however it is important that they undergo improvement methods (saturation with epoxy).

**Keywords:** Fluorite, Kaman-Kırşehir, Mineralogy, Petrography, Gemstone

\*a İlkay KAYDU AKBUDAK, i.akbudak@ahievran.edu.tr, Tel: 0530 300 70 84, orcid.org/0000-0003-0884-5991

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2320-5458

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-2501-0697

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Saf minerallerinde ağırlıkça %48.9 F içeren, ticari olarak kullanılan tek F minerali olan florit (fluorspar), Avrupa Birliği (2010) tarafından tedarik açısından kritik olarak kabul edilen 14 hammadde arasında sıralanmıştır (Dill vd., 2016). Florit (CaF<sub>2</sub>) yüzey merkezli kübik sistemde kristalleşmekte olup genellikle küpler veya oktahedronlar (Simmons, 2020) ve daha az yaygın olarak dodekahedronlar oluşturur (Muntyan, 2017; Mao vd., 2016). Mohs sertlik cetvelinde sertliği 4 (Mauthner, 2020), yoğunluğu 3.2, rengi morun değişik tonları, mavi, yeşil, sarı, beyaz, pembe, kahverengi, mavimsi ve siyahtır (Francis, 2020; Lasmanis, 2001; Coşanay, 2017). Parlaklığı camsı veya donuk (Jacobson, 2013) olan florit genellikle şeffaf veya yarı şeffaf (Aydın vd., 1998) ve kırılma indeksi 1.433-1.448 arasında düşüktür. Mükemmel dilinime sahip olan florit, kırıklı, kıymıklı veya yarı konkoidal (Pohwat, 2013) ve böbreğimsi kabuklar halinde bulunabilir ve sütunlu, lifli, taneseli ve masif agregatlar oluşturabilir (Anthony vd., 1997). Florit oldukça geniş aralıklı fiziksel ve kimyasal şartların oluşturduğu çok farklı jeolojik ortamlarda yataklanabilir (Megaw, 2013; Baybörü vd., 1983). Florit, bazı kumtaşlarında çimento olarak, fosillerin için yerini alan mineral olarak, granitik kayalar ve pegmatitlerin çatlak damarlarında ve ağsal yapılarda, oksitlenmiş cevher yataklarında nadiren ikincil bir mineral olarak, karbonatitler ile ilişkili olarak, metamorfik kayalarda, hidrotermal damar yataklarında (Uras, 2007), volkaniklerde ve tabakalara bağlı tortul birikintiler dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda oluşur (Chan vd., 1996; Palache vd., 1951).

Florit demir-çelik sanayinde (Karakurt, 2008), kimya sanayinde (Cairncross vd., 2008), alüminyum sanayinde, seramik sanayinde, mobilya, cam ve çimento sanayi gibi değişik sanayi dallarında kullanımının (Atakul vd., 2007; Miller, 2013) yanı sıra süstaşı ve koleksiyon amaçlı da kullanılmaktadır (Scovil, 2013; Malkani ve Mahmood, 2017; Fisher, 2013; Fisher, 2020).

### 1.1. Jeoloji

#### 1.1. Geology

İnceleme alanı Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde Orta Kızılırmak olarak bilinen bölümde bulunan, Kaman (Kırşehir) ilçesine bağlı olan Hamit, Karakütük, Bayındır ve Yeniyapan köyleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. İnceleme alanının jeoloji haritası Kara ve Dönmez (1990)'a ait 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasının güncellenmesiyle hazırlanmıştır (Şekil 1). Kırşehir

yöresi, Kırşehir bloğu (Floyd vd., 2000), Kırşehir Kompleksi (Lünel, 1985), Orta Anadolu Masifi (Tolluoğlu, 1986; Tenekecioğlu, 2005) veya Kızılırmak Masifi olarak adlandırılan masifin bir parçasıdır. Kırşehir ve çevresinde önceki çalışmacılar tarafından 'Kırşehir Masifi' (Ketin, 1963; Seymen, 1982; Erler vd., 1991) olarak adlandırılan magmatik ve metamorfik kayalar toplulukları yer almaktadır. Dolayısıyla "Kırşehir Masifi" adı altında "Kırşehir Metamorfikleri (Orta Anadolu Metamorfikleri)" belirtilmektedir (Şekil 1).

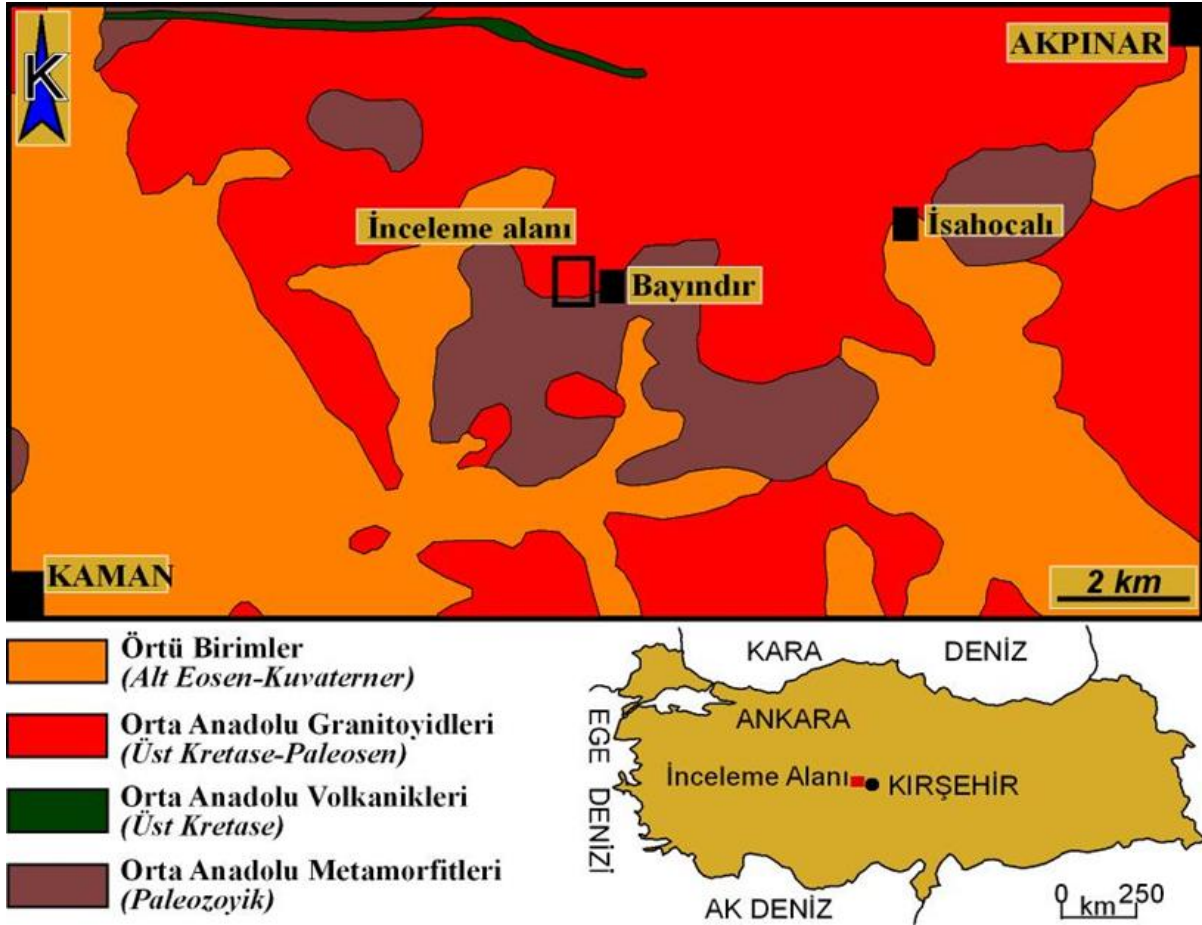
Seymen (1981) inceleme alanındaki litolojik birimleri genel olarak dört gruba ayırmış ve bu birimlerin en yaşlısını oluşturan metamorfik kristalin temeli, "Kaman Grubu" (Mesozoyik öncesi) olarak adlandırmıştır. Paleozoyik yaşlı bu metamorfik kayalar genellikle Kırşehir'in kuzeyinde yüzeylenmektedir (Başbüyük vd., 2015) ve yaşlıdan gence doğru, Kalkanlıdağ, Tamadağ ve Bozçaldağ formasyonları olmak üzere üç formasyondan oluşmaktadır (Seymen, 1981). Kalkanlıdağ formasyonu, başlıca lökokrat (açık renkli) ve daha yaygın mesokrat ve melanokrat (koyu renkli) gnayslar, biyotitistler, amfibolist gibi görülen piroksenistler, yer yer rastlanabilen ince mermer bantları ve bunlara eşlik eden volastonitli, diyopsitli kalkışitlerden oluşurken; Tamadağ formasyonu, mermer ve kalkışit aralanmasından ve Bozçaldağ formasyonu saf mermerlerden meydana gelir (Seymen, 1981). Orta Anadolu Ofiyolitleri (Ankara Karışığı (Jura-Kampaniyen) ve Karakaya Ultramafiti) Orta Anadolu Metamorfikleri'nin (Kaman Grubu) üzerine tektonik dokanakla gelmektedir. Orta Anadolu Ofiyolitleri, metamorfiklerle birlikte Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu granitoidleri tarafından kesilmektedirler (Başbüyük vd., 2015). Göncüoğlu ve Türel (1993) bu bölgedeki ofiyolitlerin dalma-batma zonunda bir ensimatik adayayı ile ilişkili olarak meydana gelmiş olabileceklerini savunmaktadır. Ankara Karışığı okyanusal kabuk ile üzerindeki sedimanların karışımı özelliğindedir. Karakaya Ultramafiti ise zaman zaman kümülat yapısı göstermekle beraber, inceleme alanında genelde uralit-gabro özelliğindedir (Seymen, 1981). Otlu (1998), bölgedeki magmatik kayaların iki plütonik fazda oluştuğunu belirtmiştir. Araştırmacı I. plütonik faz olarak tanımlanan birimleri; Baranadağ Kuvars Monzoniti, Hamit Kuvars Siyeniti ve Çamsarı Kuvars Siyeniti olmak üzere üç ayrı litodem birimine ayırtlamıştır. II. plütonik faz birimleri olarak tanımlanan birimleri ise Durmuşlu Nefelin-Nozean-Melanit Siyenit Porfiri ve Bayındır

Nefelin-Kankrinit Siyeniti olmak üzere iki ayrı litodem birimine ayırıştır.

Orta Anadolu Metamorfikleri ve Orta Anadolu Granitoidleri, Eosen – Kuvaterner yaşlı denizel ve karasal kaya birimleri tarafından örtülmektedir. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ve yer yer tuf ve jipsli seviyelerin ardalanmasından oluşan örtü birimleri, yaşlıdan gence doğru, Baraklı formasyonu, Arzılar kireçtaşı üyesi, Meşeköy formasyonu, Kozaklı kireçtaşı üyesi, Kızılırmak formasyonu, traverten ve alüvyon olarak

tanımlanmıştır (Kara ve Dönmez, 1990; Otlu ve Boztuğ, 1998; Boztuğ vd., 2009).

Paleosen'de çarpışma ile ilişkili magmatiklerden Orta Anadolu Granitoidleri olarak adlandırılan plütonik kayalar, temele ait metamorfik birimler ile ofiyolitleri sıcak dokanaklarla kesmişlerdir (Başbüyük vd., 2015). Türkiye florit yataklarının çoğu İç Anadolu Metamorfik Masifi içine sokulan siyenitik intrüsyonlar ve onun örtü kayaları içinde yer alır. Yatakların en çok yoğunlaştığı bölge Kırşehir Masifi'dir (Altuncu, 2009).



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Kara ve Dönmez, 1990)

Figure 1. Geological map of the study area (Kara ve Dönmez, 1990)

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Floritlerin arazideki dağılımı, parajenetik ilişkileri ile mineralojik-petrografik ve gemolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme sahasından örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Araziden alınan yan kayaç ve florit örneklerinin ince kesitleri Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Mineraloji-Petrografi Laboratuvarında alttan aydınlatmalı polarizan

mikroskopta incelenmiştir. Örneklerin XRD analizleri, Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-Işınları difraktometresinde; XRF analizleri Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde Rigaku ZSX Primus II marka dalga boyu dağılımlı X-ışını floresans spektrometresinde; FESEM analizleri, Dumlupınar Üniversitesi, İleri Teknolojiler Merkezi Eğitim Laboratuvarında (İLTEM), FEI NOVANANOSEM650 alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopunda yapılmıştır. Ayrıca

inceleme sahasından alınan florit örneklerinin süstaşı olarak kullanılabilirliklerini belirlemek amacıyla Mersin Üniversitesi gemoloji laboratuvarında kabaşon kesim uygulamaları yapılmıştır.

### 3.Bulgular

#### 3. Results

#### 3.1. Arazi çalışması

##### 3.1. Field study

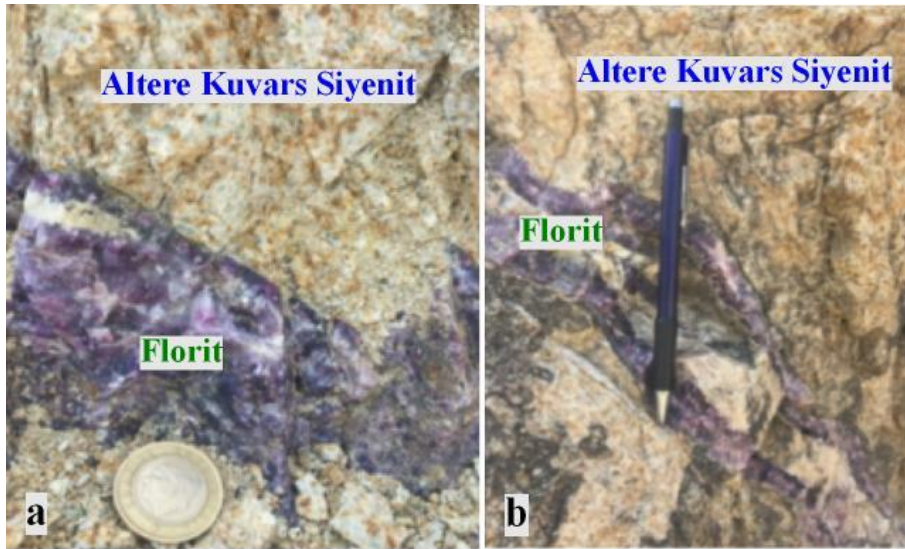
İnceleme alanındaki floritler, Üst Kretase yaşlı, gri-pembe renkli K-feldispat, plajiyoklas, kuvars, amfibol ve biyotit türü mafik mineralleri içeren

Orta Anadolu Granitoidlerinde faylara bağlı altere seviyelerde, birkaç santimetreden iki metreye kadar ulaşan damarlar halinde gözlenmektedir (Şekil 2, 3). Yüzeysel ve hidrotermal alterasyondan yer yer yoğun olarak etkilenen kuvars siyenitler, florit damarları tarafından kesilmektedir. Alterasyondan yoğun olarak etkilenen kayalarda killeşmeler ve karbonatlaşmalarla birlikte mor renkli florit kristalleri sıklıkla izlenmektedir.

İnceleme alanındaki floritler saydam veya yarı saydam olarak, mor, pembe, yeşil, sarı ve beyaz renklerde, bol kırıklı çatlaklı şekilde gözlenmektedir (Şekil 4).



Şekil 2. Bayındır karakütük mevkiinde bulunan florit damarı  
Figure 2. The fluorite vein in Bayındır karakütük



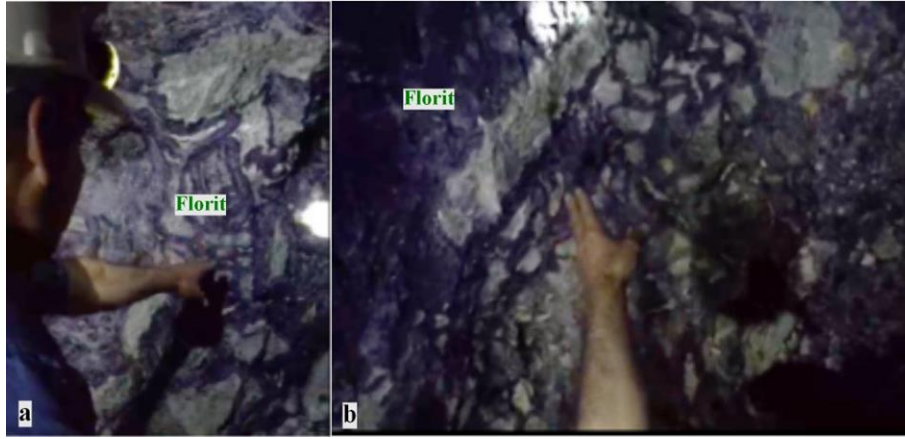
Şekil 3. İnceleme alanında damarlar halinde gözlenen mor renkli floritlerin görüntüsü  
Figure 3. Image of purple fluorites observed as veins in the study area



**Şekil 4.** İnceleme alanından alınan florit örneğinin yakından görünümü  
**Figure 4.** A close-up view of the fluorite sample taken from the study area

İnceleme alanındaki floritler, Keleş Maden İşletmeciliği tarafından işletilmekte olup endüstriyel hammadde olarak yurt içi ve yurt dışına satışları yapılmaktadır. Keleş Madencilğe ait

yeraltı işletmesi içerisindeki florit damarlarının kalınlıkları yaklaşık olarak 2 metreye kadar ulaşmaktadır (Şekil 5).



**Şekil 5.** Yeraltı işletmesi içerisindeki mor renkli florit damarları  
**Figure 5.** Purple fluorite veins in the underground mine

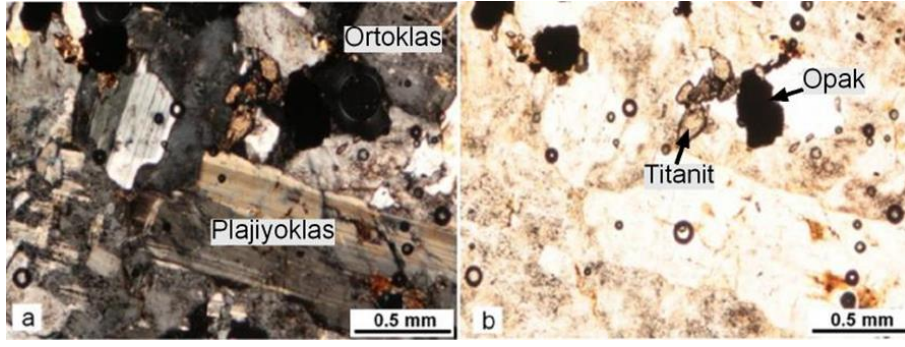
### 3.2. Mineralojik-petrografik incelemeler

#### 3.2. Mineralogical-petrographical investigations

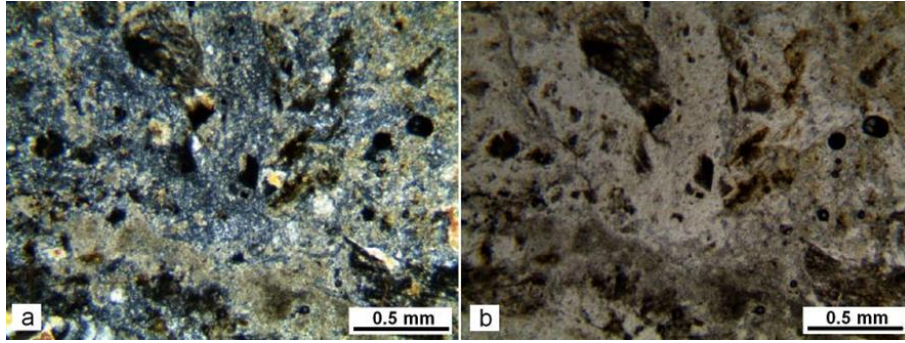
İnceleme alanından alınan örneklerden yapılan ince kesitlerde yapılan petrografik incelemelerde yan kayaçta ortoklas, kuvars, plajiyoklas, biyotit ve homblend minerallerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 6). İçerdiği minerallere göre kayacın, kuvars siyenit olduğu belirlenmiştir. Ortoklazlarda antirapakivi dokusu, pertitik doku gözlenmiş ve yoğun killeşmeler belirlenmiştir. Bazı yan kayaç örneklerinde aşırı alterasyon nedeniyle yaygın şekilde silisleşme, killeşme ve karbonatlaşma gözlenmiştir (Şekil 7). Aynı zamanda mafik

minerallerde opasitleşmeye rastlanmış; özşekli kübik demir oksit minerallerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 8).

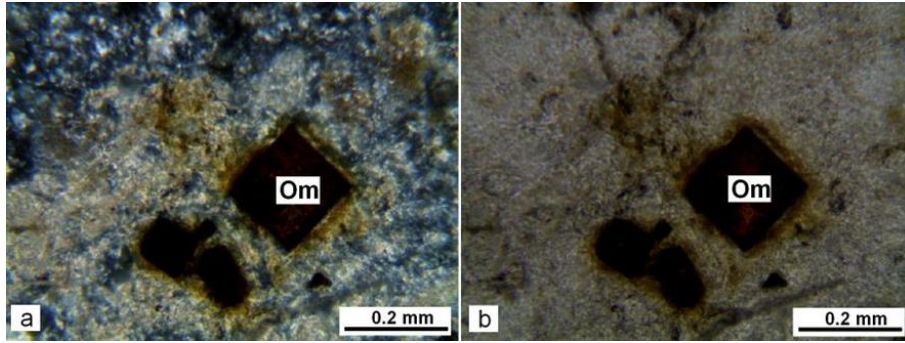
Florit içeren örneklerden yapılan ince kesitlerdeki petrografik incelemelerde ise floritler paralel nikolde renksiz ya da morumsu renk tonlarında gözlenirken; çapraz nikolde ise izotropik bir mineral olmasından ötürü siyah/karanlık olarak gözlenmiştir (Şekil 9). Floritlerin paralel nikolde yüksek rölyefe sahip oldukları ve bolca kırık çatlak içerdikleri belirlenmiştir. Örneklerde mikrokristalli kuvarslarla birlikte bulunan florit mineralleri çok iri kristaller halinde görülmektedir.



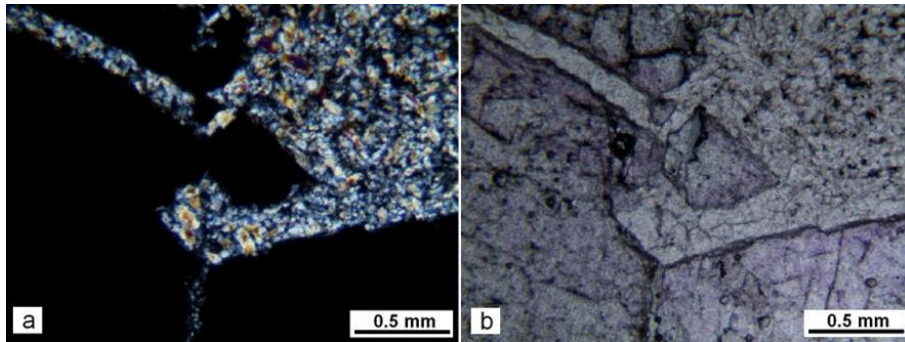
**Şekil 6.** Kuvars siyenitlerde ortoklaz, plajiyoklaz, titanit ve opak mineraller (a: +N, b: //N)  
**Figure 6.** Orthoclase, plagioclase, titanite and opaque minerals in quartz syenites(a: +N, b: //N)



**Şekil 7.** Kuvars siyenitlerde silisleşme, killeşme ve karbonatlaşma (a: +N, b: //N)  
**Figure 7.** Silicification, argillization and carbonation in quartz syenites



**Şekil 8.** Kuvars siyenitlerde opasitleşme ve özşekilli kübik demir oksitler (a: +N, b: //N, Om: Opak mineral)  
**Figure 8.** Opacitization and euhedral cubic iron oxides in quartz syenites



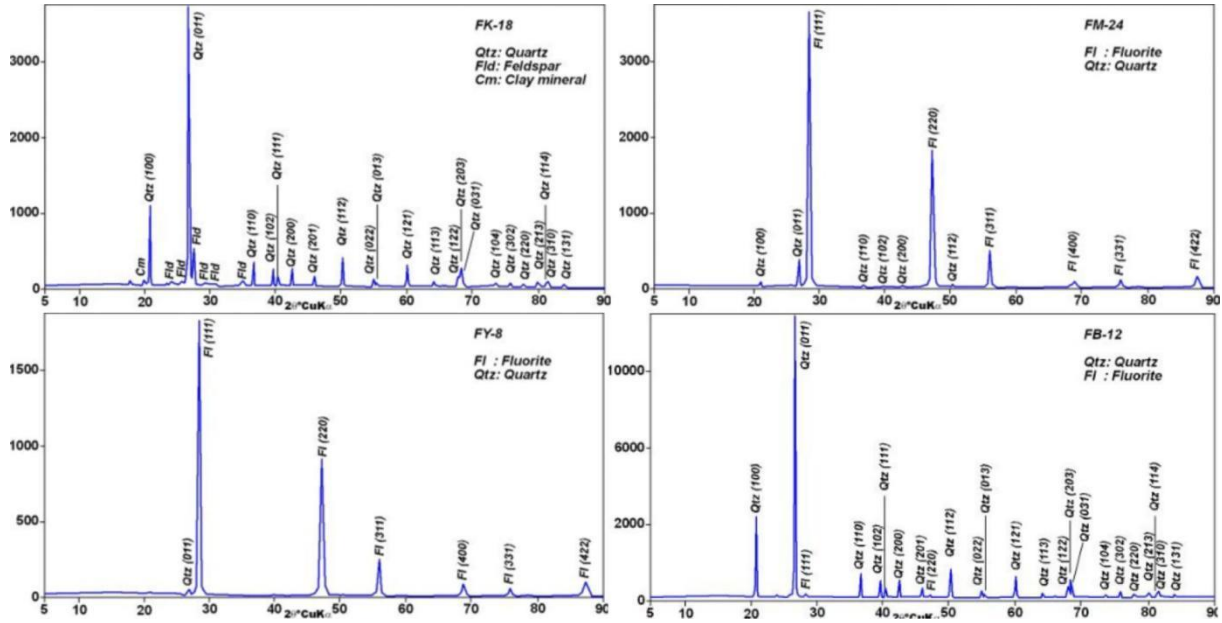
**Şekil 9.** Mikrokristalli kuvarslar ile floritin paralel nikelde morumsu/pembemsi; çapraz nikelde karanlık görüntüsü (a: +N, b: //N)  
**Figure 9.** Microcrystalline quartzes and purplish/pinkish image in parallel nicol; dark image in cross nicol of fluorite

### 3.3. X-Işını Difraktometresi (XRD) incelemeleri

#### 3.3. X-Ray Diffractometry (XRD) investigations

İnceleme alanından alınan yan kayaç örneğinden (FK-18) yapılan XRD analiz sonucuna göre

kuvars, feldispat ve kil mineralleri belirlenirken; mor (FM-24), yeşil (FY-8) ve beyaz (FB-12) florit örneklerinden yapılan XRD analizlerinde florit ve kuvarslar belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Altere kuvars syenit (FK-18), mor florit (FM-24), yeşil florit (FY-8) ve beyaz florit+kuvars örneklerinin (FB-12) XRD difraktogramlarında kuvars, feldispat, kil mineralleri ve floritler.

Figure 10. Quartz, feldspar, clay minerals and fluorites in the XRD diffractograms of altered quartz syenite (FK-18), purple fluorite (FM-24), green fluorite (FY-8) and white fluorite+quartz samples (FB-12).

### 3.4. Jeokimyasal incelemeler

#### 3.4. Geochemical investigations

##### 3.4.1. X-Işını Floresans (XRF) incelemeleri

##### 3.4.1. X-Ray Fluorescence (XRF) investigations

İnceleme alanından alınan yan kayaç örneklerinden yapılan WDXRF analizlerinde %78.10 SiO<sub>2</sub>,

%14.20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %5.34 K<sub>2</sub>O ve %1.27 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tespit edilmiştir (Tablo 1). Florit örneklerinden yapılan WDXRF analizlerine göre mor floritte %39.80 F, %51.20 CaO ve %8.68 SiO<sub>2</sub>, yeşil floritte %46.70 F, %51.50 CaO ve %1.15 SiO<sub>2</sub> belirlenmiştir (Tablo 1). Florit içeren beyaz renkli örnekte ise %2.04 F, %94.60 SiO<sub>2</sub>, %1.81 CaO ve %0.94 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tespit edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** İnceleme alanından alınan yan kayaç ve florit örneklerinden yapılan WDXRF analiz sonuçlarına göre ana oksit miktarları

**Table 1.** Main oxide amounts according to the WDXRF analysis results of the country rock and fluorite samples taken from the study area

(%mass)	FK-18 (Yan Kayaç)	FM-24 (Mor Florit)	FY-8 (Yeşil Florit)	FB-12 (Florit içeren beyaz örnek)
F	0.00	39.80	46.70	2.04
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.07	0.00
MgO	0.51	0.031	0.05	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.20	0.19	0.24	0.94
SiO <sub>2</sub>	78.10	8.68	1.15	94.60
SO <sub>3</sub>	0.06	0.04	0.08	0.06
Cl	0.00	0.01	0.05	0.00
K <sub>2</sub> O	5.34	0.01	0.01	0.05
CaO	0.28	51.20	51.50	1.81
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.00	0.00	0.00



**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continuing**

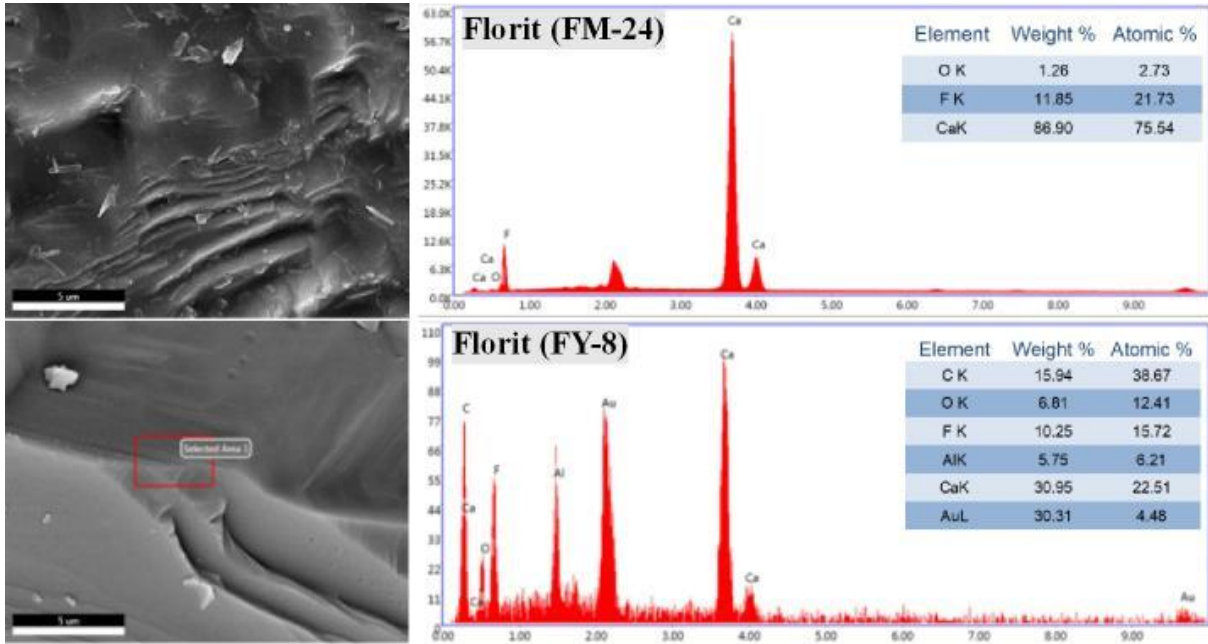
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.01	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.27	0.05	0.03	0.49
ZnO	0.00	0.03	0.08	0.06
Rb <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	0.05	0.00	0.00	0.00
SrO	0.10	0.02	0.02	0.10
MoO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.10
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00
PbO	0.01	0.00	0.00	0.00

### 3.4.2. Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopi (FESEM) analizleri

#### 3.4.2. Field emission scanning electron microscopy (FESEM) analysis

İnceleme alanından alınan mor renkli florit örneğinden (FM-24) FESEM görüntüsü alınmış

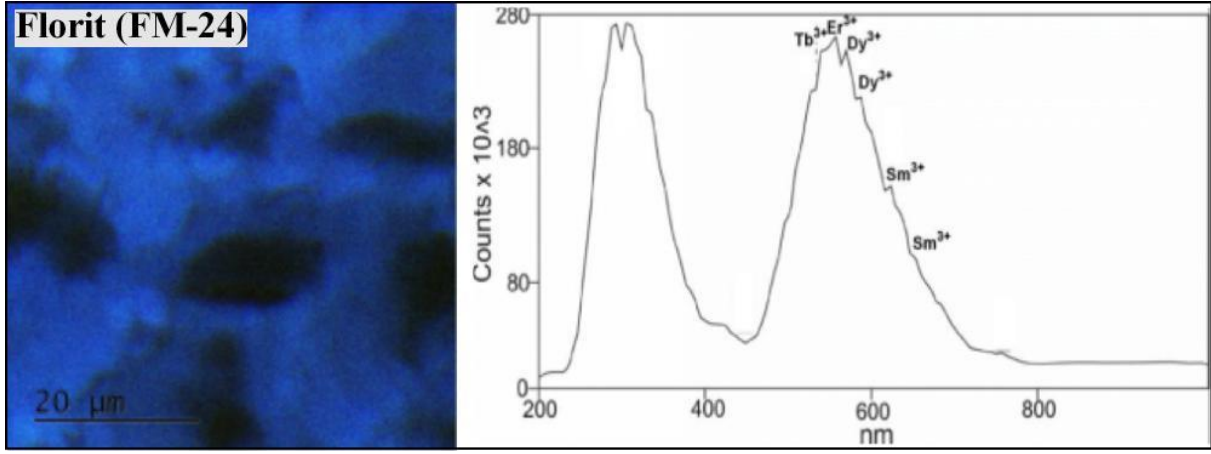
olup analiz sonucuna göre örnekte %86.9 Ca, %11.85 F ve %1.26 O varlığı tespit edilmiştir (Şekil 11). Yeşil renkli florit örneğinde (FY-8) kimyasal içeriğe Al da eşlik ettiği görülmüştür. Au içeriği ise analiz sırasında örneklerin altın ile kaplanmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 11).



**Şekil 11.** İnceleme alanından alınan florit örneklerinin FESEM görüntüsü, element içerikleri ve spektrumu.  
**Figure 11.** FESEM image, element contents and spectrum of fluorite samples taken from the study area

Mor renkli florit örneğinden (FM-24) yapılan katodoluminesans (CL) analiz sonucuna göre örnekte nadir toprak elementlerinden (NTE)

terbiyum (Tb), erbiyum (Er), disprozium (Dy) ve samaryum (Sm) varlığı belirlenmiştir (Şekil 12).



**Şekil 12.** İnceleme alanından alınan mor florit örneğinin katodoluminesans görüntüsü ve spektrumu.

**Figure 12.** Cathodoluminescence image and spectrum of the purple fluorite sample taken from the study area

### 3.5. Süstaşı (gemolojik) çalışmaları

#### 3.5. Gemstone (gemological) studies

İnceleme alanından alınan mor, yeşil, pembe ve beyaz renkli florit örneklerinden süstaşı ve takıda kullanılmak amacıyla Mersin Üniversitesi gemoloji laboratuvarında kabaşon kesim uygulamaları yapılmıştır (Şekil 13). Oval, damla, üçgen, daire vb. formlarda işlenen floritlerin renk

kompozisyonu, yarısaydam görüntüsü ve kolay işlenebilirliği gibi özellikleri değerlendirildiğinde süstaşı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Ancak inceleme alanındaki floritlerin bol kırık çatlaklı olmaları onların saydam görüntüsüne bulutumsu bir etki katmaktadır ve dayanıklılığını azaltmaktadır.



**Şekil 13.** İnceleme alanından alınan florit örneklerinin ham (a: işlenmemiş) ve süstaşı olarak işlenmiş (b:serbest kesim, c:yuvarlak kabaşon kesim) halleri.

**Figure 13.** Raw (a: untreated) and processed as gemstones (b: free cut, c: round cabochon cut) of fluorite samples taken from the study area

### 4.Sonuçlar

#### 4. Conclusion

İnceleme alanındaki floritler, Üst Kretase yaşlı, gri-pembe renkli K-feldispat, plajiyoklaz, kuvars, amfibol ve biyotit türü mafik mineralleri içeren Orta Anadolu Granitoidlerinde faylara bağlı altere seviyelerde, birkaç santimetreden iki metreye kadar ulaşan damarlar halinde bulunmaktadır. İnceleme alanındaki floritler, mor, yeşil, pembe, sarı, beyaz renklere bol kırık çatlaklı olarak saydam veya yarı saydam şekilde gözlenmektedir.

Petrografik incelemelerde floritler paralel nikelde renksiz ya da morumsu; çapraz nikelde ise karanlık olarak gözlenmiştir. Yan kayaçların kuvars siyenit olduğu belirlenmiştir. XRD analizlerinde yan kayaçta kuvars, florit, kalsit, albit, muskovit, mikroklin ve kaolinit minerallerinin birlikteliği; florit içeren örnekte ise ~ %86 kuvars, %12 florit ve %2 diğer minerallerin varlığı belirlenmiştir.

XRF analizlerinde yan kayaçta %59.64 SiO<sub>2</sub>, %26.69 CaO ve %6.19 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ölçülürken; florit içeren örnekte ise %85.13 SiO<sub>2</sub>, %12.03 CaO ve

%1.22 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının varlığı belirlenmiştir. Florit örneklerinden yapılan FESEM analiz sonucuna göre örnekte %86.9 Ca, %11.85 F ve %1.26 O tespit edilmiştir. Florit örneğinden yapılan katodoluminesans analizlerinde (CL) nadir toprak elementlerinden (NTE) terbiyum (Tb), erbiyum (Er), disprozyum (Dy) ve samaryum (Sm) varlığı belirlenmiştir.

İnceleme alanından alınan florit örnekleri süstaşı olarak takıda kullanılmak üzere kabaşon kesim yöntemi uygulanmıştır. Büyük boyutlu parçalar ise süs eşyası (aksesuar) üretiminde kullanılabilir. Mauthner (2020) çalışmasında; “Mohs ölçeğinde 4 sertliğinde, kolayca geliştirilebilen bir oktahedral bölünme ile floritin, günlük takılar için ideal olmadığını, ancak özel günlerde kullanılabilen çok güzel parçalar olabileceğini, özellikle yüzük veya bileklik ve yıpranmaya meyilli olmayan kolyeler için geçerli olabileceğini” belirtmiştir. İnceleme alanındaki floritlerin de bol kırık çatlaklı olması dayanıklılığını azaltmaktadır. Bu nedenle bölgedeki floritlerin günlük takılar için kullanılacak olanlarının süstaşı iyileştirme yöntemleri (epoksi ile doyum) uygulanarak dayanıklılığının ve görsel güzelliğinin artırılarak kullanılması ya da yüzük veya bilezik gibi aşınmaya müsait olan takılarda değil de daha çok küpe ve kolyelerde kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışma ile inceleme alanındaki floritlerin ilk kez süstaşı olarak kullanılabilirlikleri araştırılmış ve endüstriyel kullanımlarının yanı sıra süstaşı olarak da değerlendirilebilir oldukları belirlenmiştir.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Araştırmacılardan Kaydu Akbudak; saha çalışması, makalenin düzenlenmesi, literatür kısmı, verilerin elde edilmesi - yorumlanması ve ilerleyişinin denetlenmesinde, Ketenci; saha çalışması, literatür taraması, ilgili tabloların/şekillerin hazırlanması ve yorumlanmasında, Gürbüz ise gemolojik çalışmalar, bulgular ve sonuç kısmının şekillendirilmesinde katkı sunmuştur.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

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

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Kaynaklar

##### References

- Altuncu, S. (2009). *Türkiye florit yataklarının oluşumlarının karşılaştırmalı incelenmesi*. [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W., & Nichols, M. C. (1997). *Handbook of mineralogy*. Vol. 3: Halides, hydroxides, oxides. Tucson, AZ: Mineral Data Publishing.
- Atakul, A., Küçükuysal, C., Sayı, K., & Süer, S. (2007). “Süs Taşları”, *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara.
- Aydin, S., Zühre, N., Bektur, F. & Çelebioğlu, N., (1998). MTA tabiat tarihi müzesinde sergilenen mineraller. Yayınlarından/Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara
- Baybörü, R., Kayabalı, I., Bakkaloğlu, A., Irkeç, T., & Ender, I. (1983). Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcacören köyü fluoritli baritli kompleks cevher sahasının ait ara rapor. MTA Rapor No: 7507 (yayımlanmamış).
- Başbüyük, Z., Ekincioğlu, G., Ekdur, E., Ballı, F., Kanbir, E. S., & Kiliç, E. (2015). Barınadağ magmatiklerindeki dokusal ve mineralojik farklılaşmanın yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirlikteki fiziko-mekanik özelliklerine etkisi. Proje No: AEÜ-BE-11-18, 57 s, Kırşehir.
- Boztaş, D., Güney, Ö., Heizler, M., Jonckheer, R. J., Tichomirowa, M., & Otlu, N. (2009). 207Pb-206Pb, 40Ar-39Ar and fission-track geochronology quantifying cooling and exhumation history of the kaman-kırşehir region intrusions, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(1), 85-108. <https://doi.org/10.3906/yer-0806-3>
- Cairncross, B., Windisch, W., Smit, H., Fraser, A., & Gutzmer, J. (2008). The Vergenoeg: Gauteng Province, South Africa Fluorite Mine. *Rocks & Minerals*, 83(5), 410-421.
- Chang, L. L. Y., Howie, R. A., & Zussman, J. (1996). *Rock-forming minerals*. Vol. 5B: Non-silicates: Sulphates, carbonates, phosphates and halides. London, England: The Geological Society.
- Coşanay, P. (2017). *İç Anadolu florit yataklarının izotop (Sr-O-C-S) jeokimyası*. [Yüksek lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Dill, H. G., Luna, L. I., Nolte, N., & Hansen, B. T. (2016). Chemical, isotopic and mineralogical characteristics of volcanogenic epithermal fluorite deposits on the Permo-Mesozoic foreland of the Andean volcanic arc in Patagonia (Argentina). *Geochemistry*, 76(2), 275-297. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.03.002>
- Erler, A., Akıman, O., Unan, C., Dalkılıç, B., Geven, A., & Önen, P. (1991), Kaman (Kırşehir) ve Yozgat yörelerinde Kırşehir Masifi magmatik kayaların petrolojisi ve jeokimyası: Doğa Tr. *Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 15, 76-100.
- Fisher, J. (2013). The Weardale Giant: A large fluorite specimen recovered from the Rogerley Mine, Weardale Northern England, *Rocks & Minerals*, 88(1), 12-19.
- Fisher, J. (2020). Fluorite from the North Pennines Orefield England. *Rocks & Minerals*, 95(4), 306-347.
- Floyd, P. A., Göncüoğlu, M. C., Winchester, J. A., & Yaliniz, M. K. (2000). Geochemical character and tectonic environment of Neotethyan ophiolitic fragments and metabasites in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 173(1), 183-202. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.09>
- Francis, C. A. (2020). Fluorite Specialist Jim Gebel. *Rocks & Minerals*, 95(4), 348-356.
- Göncüoğlu, M.C., & Türel, T.K. (1993), Petrology and geodynamic interpretation of plagiogranites from Central Anatolian Ophiolites (Aksaray-Turkey). *Doğa-Türk Yer Bilimleri Dergisi*, 2, 195-203.
- Jacobson, M. I. (2013). Fluorite in granitic pegmatites. *Rocks & Minerals*, 88(2), 134-147.
- Kara, H., & Dönmez, M. (1990), 1/100000 ölçekli açınısıma nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Kırşehir-G17 paftası: M.T.A. Enst., Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara, s.17.
- Karakurt, Ü. (2008). Orta Anadolu fluorit provansı (OAFP) fluorit yataklarının sınıflandırılması ve cevherleşme potansiyeli (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ketin, İ., (1963), 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası Kayseri paftası, MTA yayınları, 83
- Lasmanis, R. (2001). Green Fluorite from the Kettle Mine, Ferry County, Washington. *Rocks & Minerals*, 76(4), 218-221.
- Lünel, A., T. (1985). An Approach to the naming, origin and age of Baranadağ Monzonite of Kırşehir Intrusive Suite, METU J1. *Pure Appl.Sc.*,18-3; 385-404.
- Malkani, M. S., & Mahmood, Z. (2017). Fluorite from Loralai-Mekhtar and Celestite from Barkhan, Dera Bugti, Kohlu, Loralai and Musakhel districts (Sulaiman Foldbelt) and Karkh area of Khuzdar district (Kirthar Range): a glimpse on Tectonic and Sedimentary Mineral Resources of Indus Basin (Pakistan). *Geological Survey of Pakistan, Information Release*, 981, 1-16.
- Mao, M., Simandl, G. J., Spence, J., Neetz, M., & Marshall, D. (2016). Trace element composition of fluorite and its potential use as an indicator in mineral exploration. *Geological Fieldwork, British Columbia Geol. Surv. Pap.*, (2016-1), 181-206.
- Mauthner, M. (2020). Faceted Fluorite. *Rocks & Minerals*, 95(4), 357-361.
- Megaw, P. K. M. (2013) Mexican Fluorite, *Rocks & Minerals*, 88(2), 120-133
- Miller, M., (2013). Fluorspar. *Minerals Yearbook 2012*, 26. 2-26.11
- Muntyan, B. L. (2017) Fluorite in Arizona, *Rocks & Minerals*, 92(3), 270-283.
- Otlu, N. (1998). *Kortundağ-Baranadağ arası (D Kaman, KIRŞEHİR) plütonik kayaların petrolojik incelenmesi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Otlu, N., & Boztuğ, D. (1998), İç Anadolu alkali plütonizmasındaki Kortundağ ve Baranadağ plütonlarında (Dkaman, KB Kırşehir) silisçe aşırı doygun (Alkos) ve silisçe tüketilmiş (Alkus) alkali kayaç birlikteliği. *Geosound Yer Bilimleri*, 30
- Palache, C., Berman, H., Frondel, C., & Dana, E. S. (1951). The system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana, Yale University, 1837-1892: Halides, nitrates, borates, carbonates, sulfates, phosphates, arsenates, tungstates, molybdates, etc. J. Wiley and Sons.
- Pohwat, P. W. (2013). Connoisseur's Choice: Fluorite Elmwood Mine, Carthage, Smith County, Tennessee. *Rocks & Minerals*, 88(1), 72-86.
- Scovil, J. A. (2013). The Robert Brandstetter Fluorite Collection: Warth, Austria. *Rocks & Minerals*, 88(1), 60-65.
- Seymen, İ. (1981), Kaman (Kırşehir) dolayısında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. *TJK Bülteni*, C.24, 7-14.
- Seymen, İ. (1982), Kaman dolayında Kırşehir Masifi'nin jeolojisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Simmons, P. (2020) New Mexico Fluorite: A Statewide Survey, *Rocks & Minerals*, 95:5, 400-431.

Tenekecioğlu, G. (2005), *Kırşehir yöresinde bölgesel metamorfik kayalardaki 'granat-biyotit' jeotermometresi kullanılarak metamorfizma sıcaklığının belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]

Tolluoğlu, A. Ü. (1987), Orta Anadolu masifi metamorfitlelerinin (Kırşehir kuzeybatısı) petrografik özellikleri, *Doğa Bilim Dergisi, Müh. ve Çevre*, 11(3), 344-361.

Uras, Y. (2007). *Pöhrenk (Kırşehir) florit yataklarının kökensel incelenmesi*. [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]

## Asidik ve bazik karakterli tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırılması: Elazığ ve Gümüşhane yörelerinden örnek bir çalışma

*Investigation of pozzolanic properties of acidic and basic tuffs: A case study from Elazığ and Gümüşhane regions*

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU\*<sup>1,a</sup>, Zülfü GÜROCAK<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/TURKEY

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 01.08.2022

### Öz

Puzolanlar killi zeminlerin stabilize edilmesinde katkı malzemesi olarak ve çimento üretiminde tras olarak kullanılmaktadırlar. Stabilizasyon işleminde zemine eklenen doğal ve yapay puzolanlar, zeminin taşıma gücünü ve dayanımını arttırmakta, oturmaları, gerilmeler sonucunda meydana gelecek olan deformasyonları, şişme potansiyelini, sıvılaşma potansiyelini ve geçirgenliği azaltmaktadır. Çimentoda kullanılan ve tras adı verilen puzolanlar ise hidrasyon ısını azaltmakta, betonun çatlamaya karşı direncini arttırmakta, betonun su geçirmezliğini arttırmakta ve alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önlemektedir. Bu nedenle, doğal puzolanik özelliğe sahip malzemelerin araştırılması ve puzolanik özelliklerinin incelenmesi ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada asidik ve bazik karakterli iki tüfün puzolanik özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal ve mineralojik incelemeler yapılmış ve tüflerde puzolanik aktivite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Kızılkaya Formasyon'una ait asidik karakterli tüfler standartlarda önerilen stabilizasyonda ve çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilme şartlarını sağlamasına karşın, yapılan puzolanik aktivite deneyinde yeterli basınç dayanımı sağlayamamaktadır. Bu durum, CaO oranının azlığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle asidik tüflerin kullanımında kireç katkısı ile CaO oranının artırılması gereklidir. Karabakır Formasyon'una ait bazik karakterli tüflerin kimyasal özelliklerinin standartlarda verilen limit değerlere uygun olmadığı, yeterince puzolanik reaksiyon oluşturmayacağı ve katkı malzemesi olarak kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kil, Puzolan, Stabilizasyon, Tras, Tüf

### Abstract

Pozzolans are used as additives in stabilizing clayey soils and as trass in cement production. Natural and unnatural pozzolans added to the ground in the stabilization process increase the bearing strength and strength of the soil, reduce the deformations that will occur as a result of stresses, settlements, swelling potential, liquefaction potential and permeability. It Pozzolans, which are used in cement and called trass, reduce the heat of hydration, increase the resistance of concrete against cracking, increase the waterproofing of the concrete and prevent the expansion caused by the alkali-aggregate reaction. For this reason, researching materials with natural pozzolanic properties and examining their pozzolanic properties are important for the country's economy.

In this study, chemical and mineralogical studies were carried out to determine the pozzolanic properties of acidic and basic tuffs, and pozzolanic activity tests were carried out on the tuffs. As a result of the studies, although the acidic character tuffs belonging to the Kızılkaya Formation meet the conditions for use as an additive in the stabilization and cement production recommended in the standards, they cannot provide sufficient compressive strength in the pozzolanic activity test. This is due to the low CaO ratio. For this reason, it is necessary to increase the CaO ratio with lime additives in the use of acidic tuffs. It has been concluded that the chemical properties of the basic character tuffs of the Karabakır Formation are not in accordance with the limit values given in the standards, they will not create sufficient pozzolanic reaction and cannot be used as an additive material.

**Keywords:** Clay, Pozzolan, Stabilization, Trass, Tuff

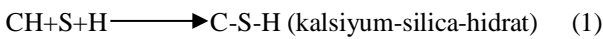
\*a Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU; yaslan@firat.edu.tr, Tel: (0553) 6281910, orcid.org/0000-0002-3135-5926

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1049-8346

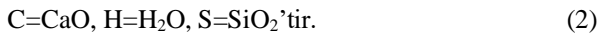
## 1. Giriş

### 1. Introduction

Puzolan, [ASTM C 618 \(2012\)](#) tarafından yapılan tanıma göre, kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan ya da hiç olmayan, ancak uygun nem şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip ürünler ortaya çıkararak, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelerdir. Puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere iki grupta incelenirler ve başlangıcından sonra değişikliğe uğramış volkanik kökenli veya sedimanter kayalar doğal puzolanları oluşturur. Bunların kökeni çoğunlukla volkanik camlar, tüfler ve volkanik kül gibi piroklastik kayalardır. Ayrıca ısı işlem görmüş doğal puzolanlar da vardır ki bunlar killer, şeyller ve diatomitlerdir. Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünler ise yapay puzolanlara örnek olarak verilebilir ([Ün, 2007](#)). Bu katkı malzemelerinin en önemli özelliği puzolanik reaksiyon oluşturmalarıdır. Puzolanik reaksiyon; öğütülerek ince daneler haline getirilen (dane boyu tercihen 0.0075 mm'den daha küçük) puzolanların, sönmüş kireç ve suyla birleştiğinde oluşan kimyasal reaksiyonlardır. Portland çimentosunun hidrasyonundaki gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar sebep olmaktadır. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir ([Erdoğan, 2003](#)).



Bu reaksiyon oldukça yavaş bir reaksiyondur ve burada;



[ASTM C 618 \(2012\)](#) standardına göre puzolanik reaksiyonun en iyi şekilde gelişebilmesi için puzolandaki  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  miktarının %70,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  miktarının %5, ateşte kaybının maksimum %8,  $\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının maksimum %8 ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı ise maksimum %6 olmalıdır. Diğer önemli bir özellik ise mineralojik bileşimdir. Ayrıca, katkı malzemesindeki camsı faz miktarı %8'den fazla, oligoklas sanidin, albit, ortoklas gibi alkali feldspatların miktarı fazla, montmorillonit, kaolinit, halosit gibi kil minerallerinin miktarı ise düşük miktarda olmalıdır ([Mazsazza, 1989](#)).

Daha ekonomik ve çevreci olmaları nedeniyle tercih edilen doğal puzolanlar konusunda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. [Akgül \(2006\)](#) Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve yapı sektörüne kazandırılması, çimentoya göre daha az enerji gerektiren ve kolay elde edilip uygulanabilen, günümüz koşullarına uygun, ekonomik ve sağlıklı yapı malzemelerinin geliştirilmesi bakımından önemli olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacı Datça bölgesindeki tüflerin puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amacıyla deney programı doğrultusunda kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), malzeme miktarı ve su oranları değiştirilerek aralarındaki farkları ve en uygun üretim koşullarını belirlemiştir. [Alp vd. \(2004\)](#) doğal malzemelerin katkı malzemesi olarak kullanımlarının belirlenmesi konusunda Taşhane (Terme) andezitik tüflerini çalışma konusu olarak seçmişler ve bu tüflerin TS 25 (2008)' e göre çimentoda tras olarak kullanılabilecek özellikte olduğunu belirlemişlerdir. [Aydın \(2010\)](#) tarafından yapılan çalışmada Yenikent (Ankara) bölgesindeki şişme ve büzülme potansiyeline sahip sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılarak geoteknik özelliklerindeki iyileşme incelenmiştir. Araştırmacı uçucu külün zemin iyileştirmede kullanımı halinde, daha az çimento veya diğer katkı maddeleri kullanılarak ülke ekonomisine fayda sağlanabileceğini, doğal malzemelerin daha fazla kullanılması ile daha az doğa tahribi oluşacağı ve çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlayacağını belirtmiştir. [Bulut \(2007\)](#) yapı üretiminde yaygın olarak tüketilen çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkilerine dikkat çekerek, alternatif malzeme-bağlayıcı araştırmaları gereğinin ortaya çıktığını belirtmiş ve bu kapsamda ülkemizdeki rezervleri göz önüne alındığında, perlitin yapı malzemesi alanında kullanım olanaklarının araştırılmasının önemine vurgu yaparak perlitin kullanılabilirliğini araştırmıştır. [Ceylan \(2020\)](#) çimentonun beton üretimindeki maliyetinin %50'nin üzerinde olduğunu, Portland çimento endüstrisinin çok fazla  $\text{CO}_2$  emisyonu üreten, karbon ayak izi çok yüksek bir sektör olduğunu belirterek, çimento tüketiminin azaltılmasını sağlayacak ve çimentoya alternatif volkanik tuf gibi materyallerin betonda mineral katkı olarak kullanımının çimento tüketimini ciddi oranda azaltacağına, hem ekonomik hem de çevresel yararlar sağlayacağına vurgu yapmıştır. Araştırmacı malzeme olarak Isparta tufünü seçmiş ve bu tüflerin puzolanik özelliklerini incelemiştir. [Çavdar \(2004\)](#) yaptığı çalışmada tuf gibi doğal malzemelerin tras olarak kullanımının önemine değinerek, Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliğini, çimento inceliği ve tras oranının traslı çimentonun özelliklerine olan

etkilerini incelemiştir. [Ghabae \(2015\)](#) kirecin bir inşaat malzemesi olması yanı sıra, zemin stabilizasyonunda kullanılmasının hem çevresel hem de ekonomik olarak önemli olduğunu, kirecin yüksek plastisiteli bentonit ile karıştırılmasının, serbest basınç mukavemetini önemli ölçüde arttırdığını, aynı zamanda kirecin düşük maliyeti nedeniyle yüzeysel zemin stabilizasyonu uygulamalarında dayanımı arttırmak amacı ile kullanılmasının faydalı olacağını belirtmiştir. [Hossain & Mol \(2011\)](#) çevreci bir yaklaşımla doğal puzolanlar ile endüstriyel atıkları kullanarak killi zeminleri stabilize etmiş ve zeminlerin mühendislik özelliklerini incelemiştir. Böylece stabilizasyonda katkı olarak doğal malzemelerin veya uçucu kül gibi endüstriyel atık kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmuşlardır. [Kalay \(2010\)](#) köpük beton, talaş, ağaç kabuğu, çakıl taşı, endüstriyel atıklar, yonga, deniz kabuğu, atık pirinç kabuğu külü, yanmış yağ atığı, volkanik kül, mermer tozu, atık lastik gibi malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini ve bu tür atık maddelerin depolama için daha az alan ayrılması ve ucuz olması nedeniyle tercih edildiğini belirterek, yüksek plastisiteli bir kile mermer tozu, pomza ve kireç eklenmesi sonucunda kilin mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. [Kavas & Çelik \(2001\)](#) yaptıkları çalışmada doğal bir malzeme olması nedeniyle Ayazini tüflerinin katkılı portland çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. [Liebig & Althaus \(1998\)](#) çalışmalarında doğal bir malzeme olan tüflerin puzolanik özelliklerini ve kalsinasyonun etkilerini incelemiştir. [Taban & Şimşek \(2009\)](#) çimento üretiminde enerji harcamalarının büyük bir kısmının hammadde ve klinker öğütme prosesinde harcandığını, harcanan bu enerjinin azaltılması ve klasik çimento hammaddelerine alternatif olarak değişik katkı malzemelerinin denenmesinin önemine vurgu yaparak, daha kolay öğütülebilir özelliğe sahip olan Bigadiç (Balıkesir) bölgesindeki zeolitik tüflerin puzolan olarak kullanımını incelemiştir.

Killi zeminlerin stabilizasyonu için katkı malzemesi olarak kullanılan puzolanların zemindeki elementlerle kimyasal reaksiyona girmesiyle birlikte ilk olarak zeminin su içeriğinde azalma oluşmaktadır. Su içeriğindeki azalma ile birlikte zemin daha kolay işlenebilir hale gelmektedir. Daha uzun süre uygulanan kürlemenin etkisiyle zeminin dayanımı, sıkışabilirliği ve duraylılığı önemli ölçüde iyileşmektedir ([Locat vd., 1990](#); [Wild vd., 1996](#); [Mallela vd., 2004](#); [Geiman, 2005](#)). Bu süreçte zemin daneleri topaklanma olarak tanımlanan ve

zeminin dokusunu değiştiren büyük boyutlu kümeler oluşturmaktadır. Topaklanma ile birlikte zeminin boşluk oranında ve optimum su içeriğinde artışlar oluşmakta, maksimum kuru yoğunlukta ise azalma meydana gelmektedir. ([Kinuthia vd., 1999](#)). [Mallela vd., \(2004\)](#) yaptıkları çalışmada, stabilizasyon sonucunda zeminin likit limitinde azalma, plastik limitinde artış ve plastisite indisinde ise azalma olduğunu, böylece zeminin non-plastik özellik kazanabildiğini belirtmektedirler. Aynı araştırmacılar, stabilizasyon sonrası zeminde meydana gelen dayanım artışında kür süresinin önemli olduğunu ve ayrıca, zeminin pH değeri ile birlikte, organik karbon içeriği, doğal drenaj, aşırı miktarda değiştirilebilir sodyumun, kil mineralojisi, bozunma derecesi, karbonatların varlığı, çıkarılabilir demir, silika-seskuioksit oranı ve silika-alümin oranının da önemli bir etkisi olduğunu belirtmektedirler. [Thompson & Dempsey \(1969\)](#) puzolanik reaksiyon sonucunda zeminde meydana gelen sertleşmenin, zeminin çevresel şartlarındaki değişimler sonucunda ıslanma-kuruma veya donma-çözülme gibi döngülerden kaynaklanan olumsuz etkilere karşı koyma olarak ifade edilen (duraylılık) durabiliteyi artırdığını ifade etmişlerdir. [Little vd., \(1995\)](#) stabilizasyon sonucu zeminin şişme potansiyelinin ve hacimsel değişimin azaldığını, zeminin plastisite indisindeki azalmanın şişme potansiyeli ve şişme basıncını azalttığını belirtmiştir. Killi zeminlerin stabilizasyonu için katkı malzemesi olarak kullanılan puzolanlar oluşturdukları puzolanik reaksiyon sonucunda zeminin dayanımındaki artışlardan başka, zeminde meydana gelecek oturma ve deformasyonları, zeminin sıvılaşma potansiyeli ile geçirgenliği de azaltmaktadır ([Locat vd., 1990](#); [Wild vd., 1996](#); [Mallela vd., 2004](#); [Geiman, 2005](#)).

Puzolanların çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda puzolanik reaksiyonun oluşmakta, trasın bağlayıcı özelliğe sahip olmasını ise klinkerin su ile reaksiyonuyla açığa çıkan kireç sağlamaktadır. Doğal puzolan katkılı çimentolar geçirgenliği düşük ve portland çimentosuna göre sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, hidrasyon ısısını azaltmakta, betonun çatlamaya karşı direncini artırmakta ve alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önlemektedir ([Massazza, 1999](#)). Bu etkilerinden dolayı birçok doğal malzemenin çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda çalışmalar yapılmıştır. [Ceylan \(2020\)](#) yaptığı çalışmada doğal puzolanların ince öğütülmesi sonucunda çimento hamurundaki mikro boşlukları kolaylıkla doldurarak, çimento



hamurunun iskelet yapısında değişiklikler oluşturduğunu ve böylece beton dayanımının arttığını belirtmektedir. Araştırmacıya göre puzolanların oluşturdukları kayganlaştırıcı etki nedeniyle taze betonun işlenebilirliği de olumlu yönde etkilenmektedir. [Demir Şahin vd. \(2019\)](#) Afşin Elbistan Termik Santralinden elde edilen uçucu külün öğütmeye bağlı olarak çimento bileşiminde mineral katkı olarak kullanımı amaçladıkları çalışmada farklı öğütme süresi ve katkı oranının betonun aşındırma ve karbonatlaşma performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar öğütme süresinin betonun yarmada çekme dayanımı üzerinde pek fazla etkili olmadığını, ama referans numuneye göre uçucu kül katkısının dayanımı artırdığını belirlemişlerdir. [Demir Şahin vd. \(2020\)](#) yaptıkları çalışmada C tipi uçucu külün beton bileşiminde çimento katkı malzemesi olarak kullanılması ile %10, %30 ve %50 ikame oranlarında geçirimsiz beton üretilmesini amaçlamışlardır. Beton örneklerde 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda geçirgenliği belirlemek için kılcallık testi yapmışlardır. Araştırmada 28 günlük kür sonunda en iyi geçirimsizlik %50 uçucu kül katkılı örnekte ve 60 dakika öğütme süresi olan karışımda elde edilirken, 90 günlük kür süresi sonunda en iyi sızdırmazlık %30 uçucu kül katkısında ve 0 dakika öğütme süresi olan karışımda elde edilmiştir. Sonuç olarak, beton bileşiminde uçucu külün artan inceliği ve katkı oranı ile geçirgenliğin azaldığı görülmüştür. [Demir Şahin vd. \(2021\)](#) C sınıfı uçucu kül katkısının betonunun kısa ve uzun dönem basınç dayanımına olan etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, altı farklı Blaine incelik değerinde ve üç farklı uçucu kül katkı oranında örnekler hazırlamışlardır. Araştırmacılar hazırladıkları örnekler için deneysel sonuçlara dayalı olarak betonun basınç dayanımını simüle etmek ve tahmin etmek için bir Yapay Sinir Ağı modelini kullanmışlardır. Çalışmada 3, 7, 28, 56 ve 90 kürlenme süreleri için %99 doğrulukla basınç dayanımı değerini simüle etmek için katkı oranı, Blaine inceliği ve kür süresi (gün) girdi olarak kullanılmıştır. Tahmin edilen hedef değerler deneylere ait sonuçlar ile karşılaştırılmış ve 0.99'lük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçların, herhangi bir çalışma koşulunda uçucu kül inceliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi tahmin etmede kullanılabileceği ifade edilmiştir. [Erdoğan vd. \(2003\)](#) çimentoya puzolan ilave edilmesi ile birlikte ilk etapta çimento ve beton dayanımının düştüğünü, ancak meydana gelen dayanım kaybının puzolan türü ve miktarına bağlı olarak bir süre sonunda ortadan kalktığını belirtmektedirler. [Hsu vd. \(2018\)](#) uçucu külün betonun 14, 28 ve 56

günlük basınç dayanım değerleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve kür süresine göre inceliği daha yüksek olan uçucu kül katkılı örneklerin basınç dayanım değerlerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar ince uçucu kül katkısının basınç dayanımını geliştirmeye katkısını, puzolanik aktivitenin daha kolay gelişmesine, harcın boşluk yapısını ve su ihtiyacını azaltmaya, çimento hidrasyonunu geliştirmeye ve filler etkisine bağlamışlardır. [Pan vd. \(2003\)](#) çimentoda kullanılan katkı malzemesinin inceliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi inceledikleri araştırma sonucunda, öğütülme süresinin artmasıyla artan inceliğin çimento harçlarının basınç dayanımını artırdığını belirlemişlerdir. [Wang vd. \(2003\)](#) uçucu küllerin çimentoda katkı olarak kullanılabilirliği konusundaki çalışmalarında katkı içerisindeki çok ince partiküllerinin oranı arttıkça, çimento harçlarının basınç dayanımlarının da arttığını belirtmişlerdir.

Son zamanlarda madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanılan bir yöntem çimentolu macun dolgu yöntemidir ve bu yöntemde madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan ve çevre kirliliğine neden olan cevher zenginleştirme atıklarının bir miktar çimento (%2-10) ve su ile karıştırılarak yeraltı üretim boşluklarına depolanmaktadır. Bu yöntemde bağlayıcı olarak çimento kullanılmakta ve bu nedenle maliyet oldukça artmaktadır. Maliyeti düşürmek amacıyla çimento yerine daha ucuz ve çevreci olan doğal puzolanların kullanımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır. [Başçetin vd. \(2020\)](#) çimentolu macun dolgu (ÇMD) yönteminde kullanılan çimento yerine kullanılabilecek malzemeleri belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu yöntem son zamanlarda geliştirilen ve yaygın bir şekilde kullanılan, madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan cevher zenginleştirme atıklarının bir miktar çimento (%2-10) ve su ile karıştırılarak yeraltı üretim boşluklarına depolanması işlemidir ve bağlayıcı olarak çimento kullanımı yöntemin maliyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu maliyeti azaltmak amacıyla araştırmacılar Portland çimento yerine zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik katkı malzemelerinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Araştırmadan edilen sonuçlara göre; 28 ve 90 gündeki en yüksek basınç ve eğilme dayanımları ile Puzolanik aktivite indeksi uçucu kül katkılı örneklerde elde edilmiştir. [Başçetin vd. \(2021\)](#) yaptıkları çalışmada madencilik faaliyetlerinde kullanılan çimentolu macun dolgu yönteminde çimento ve uçucu külün kullanımını incelemişlerdir. Araştırmacılar çimento kullanımının malzemeyi dış etkenlere

karşı daha dayanıklı hale getirdiğini, ancak endüstriyel uygulamalar açısından uzun süreli depolama maliyetini azaltmak için çimento yerine %50 katkı oranı ile uçucu kül kullanılabilirliğini önermişlerdir. Eker & Başçetin (2022) çimentolu macun dolgu yönteminde zeolit kullanımının etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, ilk olarak Küre (Kastamonu), bakır madeninden alınan cevher hazırlama tesisi artıklarına belli oranlarda Portland çimentosu ve su ekleyerek referans örnekler hazırlamışlardır. Daha sonra Bigadiç Bölgesi'nden alınan doğal zeoliti Portland yerine her çimento oranı için belirli oranlarda cevher artıklarına ekleyerek örnekler hazırlamış ve tüm örneklerin 3, 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar genel olarak, zeolit katkısının erken dayanımda (28. güne kadar) daha etkili olduğunu, zeolit katkılı macun dolgu karışımlarının uzun vadeli dayanım kayıplarının, sülfat ve hidrasyon ürünlerinin reaksiyona girerek ikincil jips, etrenjit ve demir sülfat oluşturmamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Doğal puzolanların aktivitesi konusunda yaptıkları çalışmada Camacho & Afif (2002) doğal puzolanların aktivitesinde rol oynayan en önemli faktörlerin özgül yüzey, kimyasal bileşim ve mineralojik yapı olduğunu belirtmektedirler. SiO<sub>2</sub> içeriği, aktif fazların yapısı ve miktarı, kür süresi, karışımın kireç/puzolan oranı, puzolan tarafından bağlanan kireç miktarına etki eden faktörlerdir (Hewlett, 1998; Swamy, 1986). Doğal puzolan katkılı çimentodan imal edilen betonun kısa dönem dayanımı özgül yüzey ile ilişkili iken, uzun dönemdeki dayanımı ise SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile ilişkilidir (Costa & Massazza, 1981).

Bu çalışmada daha önce puzolanik özellikleri incelenmemiş olan Gümüşhane ili civarında yüzeyleme veren Kızılıkaya Formasyonu'na ait tüfler ve Elazığ ili yakın çevresinde yüzeyleme

veren Karabakır Formasyonu'na ait tüfler araştırma konusu olarak seçilmiştir. Böylece, bu tüflerin puzolan olarak kullanılabilirliği ortaya konularak ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, derlenen örneklerin kimyasal, mineralojik ve puzalanik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar standartlarda verilen limit değerler ile karşılaştırılarak bu tüflerin stabilizasyonda ve çimento üretiminde puzolan olarak kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmiştir.

## 2. Materyal

### 2.1. Material

Volkanizma ürünü olan tüflerin katkı maddesi olarak kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Yapılan çalışmalar tüflerin de puzalanik reaksiyona neden olduğunu ve bu sebeple zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirdiklerini göstermiştir. Fakat farklı kimyasal karakterde olan (asidik ve bazik) tüflerin hepsi için bu durum söz konusu değildir. Özellikle riyolitik ve dasitik tüflerin iyi bir puzolan oldukları bilinmektedir. En iyi puzalanik özellik gösteren malzemeler dasitik tüfler, zeolitli tüfler ve riyolitik tüflerdir. Fakat bazalt, andezit ve bazalt tüfü genellikle yeterli performansa sahip değildir. Ayrıca, trasların farklı tipleri ojit, apatit, biyotit, manyetit, kristobalit, muskovit, hematit, illit, kaolinit ve homblend gibi mineraller de içermektedirler (Ün, 2007). Tras olarak asit ve nötr kökenli volkanik tüfler kullanılır. Fakat pratikte bazalt tüflerin de kullanıldığına rastlanmaktadır.

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan tüfler Ağın (Elazığ) ve Çemişgezek (Tunceli) bölgelerinde geniş yüzeylemeler veren Karabakır Formasyonu'ndan ve Gümüşhane ili sınırlarında yüzeyleme veren Kızılıkaya Formasyonu'ndan arazi çalışmalarıyla derlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan tüflere ait örnekleme noktaları  
Figure 1. Sampling locations of the tuffs used in the study

İlk kez Güven (1993) tarafından tanımlanan, Espiye'nin (Giresun) güneyinde geniş yüzeylemeler veren, riyodasit, dasit ve bunların piroklastlarından oluşan Kızılkaya Formasyonu, Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelirken, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile de uyumlu olarak üstlenmektedir. Çoğunlukla dasitik özellikteki piroklastik kayalardan oluşan Kızılkaya Formasyonu, az miktarda dasit de içermektedir. Formasyona ait piroklastik kayalarda yoğun bir bozunma gözlenmektedir (Merdan Tutar, 2015). Bölgede yapılan çalışmalarda (Boynukalın, 1990; Yalçınalp, 1992; Köprübaşı, 1992; Korkmaz, 1993) formasyonun yaşı Geç Kretase olarak belirlenmiştir. Güven (1993), tarafından yapılan çalışmada ise Kızılkaya Formasyonu'nun Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelmesi ve Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmesinden dolayı formasyona Santoniyen yaşlı verilmiştir.

Karabakır Formasyonu ilk defa Naz (1979), tarafından adlandırılmıştır. Formasyon piroklastitler volkanoklastitler, epiklastitler, volkanitler ve bunlarla yanal düşey yönde geçişli olan gölsel kireçtaşı ile akarsu çökellerinden

oluşmaktadır. Birim içerisinde Pertek çevresinde geniş yüzeylemeler veren andezitik kayalar Pertek Andezit üyesi, bazaltik kayalar ise Bazalt üyesi olarak adlandırılmıştır (Herece, 2016). Karabakır Formasyonu Elazığ, Ağın ve Çemişgezek dolayında yüzeylemeler vermekte olup, Geç Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. Formasyon karasal volkanizma ürünleriyle, karasal ortam çökelleri olan konglomera, kumtaşı, silttaşı, mam ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Turan & Bingöl, 1991). Karabakır Formasyonu tabanda bölgede yüzeyleyen ve kendinden daha yaşlı Keban Metamorfitleri Elazığ Magmatitleri, Kırkgeçit ve Alibonca Formasyonları gibi birimler üzerine uyumsuz olarak gelirken, Palu Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Turan & Bingöl, 1991). Pliyo-Kuvaterner'de oluşmuş örgülü nehir ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluşan Palu Formasyonu kumtaşı, konglomera, ve silttaşlarıyla temsil olmaktadır (Aksoy vd., 1996).

Bu çalışmada kullanılan Karabakır Formasyonu'na ait tüfler genellikle sarımtırak renkli ve yüksek boşluk oranına sahip iken, Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfler gri renkli ve boşluk oranı düşük, dolayısıyla daha yüksek birim ağırlığa sahiptir. Çalışmada kullanılan ve öğütülerek 200 nolu elekten elenen tüfler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan öğütülmüş asidik ve bazik tüfler  
Figure 2. Basic and acidic tuffs used in the study

### 3. Laboratuvar çalışmaları

#### 3. Laboratory Studies

Katkı olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesinde en önemli faktörler malzemenin kimyasal ve mineralojik özellikleri ile puzolanik aktivite deneyi sonucunda elde edilen serbest basınç değerinin standartlarda önerilen limit değerlere uygunluğudur. Bu nedenle kimyasal özellikleri belirlemek için XRF (X-ışınları

Flöresans), mineralojik özellikleri belirlemek amacıyla XRD (X-Işını Difraksiyonu) analizleri yapılmaktadır. Ayrıca, malzemede puzolanik aktivite deneylerinin de yapılması gereklidir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen XRF analizleri ACME (Kanada) Laboratuvarlarında, XRD analizleri Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı (MERLAB)'nda, puzolanik aktivite deneyleri ise TÇMB (Türkiye Çimento

Müstahsilleri Birliği) AR-GE Enstitüsü laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

### 3.1. XRF (X-ışınları Flöresans) analizleri

#### 3.1. XRF (X-ray Fluorescence) analyzes

Hızlı ve basit örnek hazırlığıyla en iyi analitik tekniklerden biri olan XRF analizi sıvı ve katı gibi her türlü örnekte, elemental analiz yapmak için kullanılmaktadır. X-ışınları Flöresans (XRF) spektroskopisi olarak adlandırılan bu yöntem, %100 ppm seviyesinin altında yüksek kesinlik ve doğruluk oranıyla Berilyumdan (Be) Uranyuma (U) kadar olan element konsantrasyonlarını verebilen ve elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden birisidir. Teknolojik ve bilimsel araştırmadaki önemi duyarlı, hızlı, kolay kullanımı ve malzemeye zarar özellikleri dikkate alındığında gün geçtikçe artmaktadır.

Foton-madde etkileşmesiyle meydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının

nicel ve nitel değerlendirilmesine bağlı olarak uygulanana XRF cihazları temel olarak 2 farklı ölçüm prensibi kullanırlar. Analiz edilen örnekten elde edilen X ışınlarının enerjisini hesaplayarak elementleri belirlerken gelen ışınları da sayarak element miktarlarının belirlenmesini sağlayan sistem Enerji ayrımlı XRF (EDXRF)'dir. Diğer sistem ise Dalga boyu ayrımlı XRF (WDXRF) sistemi olarak adlandırılan yöntemdir ve örnekten elde edilen X ışınlarını önce özel kristallerde yansıtılmakta, sonra yansıma açıları belirlenmektedir. Böylece, elementleri ve ışınları sayarak miktarları belirlenmektedir. WDXRF sistemlerde X ışını tüpünün gücüne bağlı olarak hassasiyet değişirken, EDXRF sistemlerinin hassasiyeti ise kullanılan detektörün çözünürlüğüne göre değişmektedir.

Çalışmada kullanılan tüflerin kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan XRF analizlerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kızılkaya ve Karabakır Formasyon'una ait tüflerin kimyasal özellikleri  
**Table 1.** Chemical properties of tuffs of Kızılkaya and Karabakır Formation

Ana Oksitler (%)	Kızılkaya Fm.	Karabakır Fm.
SiO <sub>2</sub>	69.10	31.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.70	7.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	3.49
MgO	0.19	2.11
CaO	0.76	28.70
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.60
K <sub>2</sub> O	1.43	0.87
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.41
MnO	<0.01	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.09
SO <sub>3</sub>	0.90	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.01	0.02
Sr	0.024	0.03
Kızdırma kaybı	5.50	24.80
Toplam	99.81	99.74

Tablo 1'de verilen XRF analizlerine ait sonuçlara incelendiğinde Kızılkaya Formasyonu'na ait tüflerde SiO<sub>2</sub> miktarı %69.10 iken bu değer Karabakır Formasyonu'na ait tüflerde %31.40'tır. XRF analizlerinden elde edilen SiO<sub>2</sub> miktarları dikkate alındığında, SiO<sub>2</sub> miktarı %63'ten fazla olduğu için Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfler asidik karakterli, Karabakır Formasyonuna ait tüflerin SiO<sub>2</sub> miktarı %45'ten az olduğu için bu tüfler de bazik karakterlidir. Ayrıca, Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfün SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %90.27, MgO miktarı %0.19, SO<sub>3</sub> miktarı

%0.90 iken Karabakır Formasyonu'na ait tüflerde SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %42.04, MgO miktarı %2.11, SO<sub>3</sub> miktarı ise %0.04 olarak bulunmuştur.

### 3.2. XRD (X-Işını Difraksiyonu) analizleri

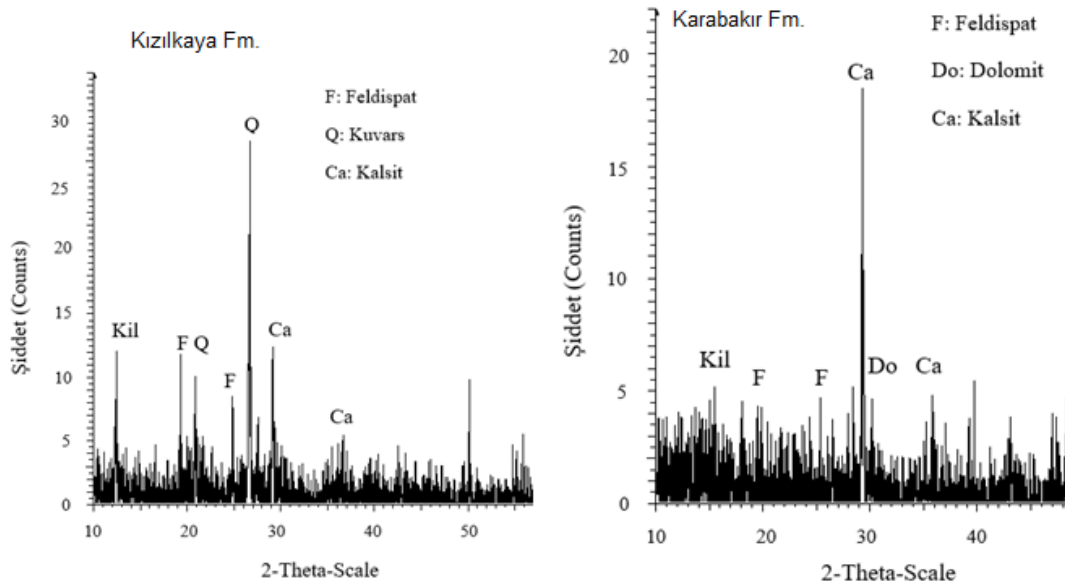
#### 3.2. XRD (X-Ray Diffraction) analyzes

Malzemelerin kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan, hasarsız bir analiz yöntemi olan XRD yönteminde belli bir kristal yapısına sahip minerallerin üç

boyutlu yapısı, bir kristal örgüdeki atomların tekrarlanan düzenli düzlemleriyle tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, odaklanmış bir X-ışını demeti, atomların bu düzlemleriyle etkileşime girdiğinde, ışık demetinin bir kısmı yayılmakta, bir kısmı atom tarafından soğurulmakta, bir kısmı saçılmakta ve diğer bir kısmı ise kırılmaktadır. Mineralin kristal yapısına ve atomların dizilimine bağlı olarak X-ışını, her mineralden, farklı şekilde kırılır. Malzemelerin karakteristiğini belirlemek amacıyla farklı analitik teknikler kullanılmaktadır ve bunlardan bir tanesi XRD'dir. Minerallerin iyi bir şekilde tanımlanması sağlar ve özellikle ince daneli minerallerin ve karışımların belirlenmesi için oldukça yararlıdır. XRD verileri bir karışımdaki farklı minerallerin

oranını belirlemek amacıyla kullanılabilir. Minerallerin yapısal durumları, mevcut mineral veya minerallerin kristallik derecesi gibi özellikleri de ayrıca bu teknikle belirlenebilir.

Çalışmada kullanılan tüflerin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan XRD analizlerine ait sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Kızılkaya Formasyonu'na ait tüflerin XRD grafiğine göre bu tüfler esas olarak kuvars, feldspat, kalsiyum ve kil minerallerinden, bazik tüfler ise kalsit, dolomit, feldspat ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır. Karabakır Formasyonu'na ait tüfler ise esas olarak feldspat, dolomit, kalsit ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır.



**Şekil 3.** Kızılkaya ve Karabakır formasyonlarına ait tüflerin XRD grafikleri  
**Figure 3.** XRD graphs of tuffs of Kızılkaya and Karabakır formations

### 3.3. Puzolanik aktivite deneyi

#### 3.3. Pozzolanic activity experiment

Doğal puzolanın gerekli kaliteyi göstermesi ve katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi açısından en önemli özellik kimyasal bileşimidir. Bazı doğal puzolanik malzemeler önemli sayılabilecek bir puzolanik aktiviteye sahip iken bazı puzolanlarda düşük bir puzolanik aktivite görülebilmektedir. Bu nedenle puzolanik aktivitelerinin belirlenmesi gerekir (Camacho & Afif, 2002). Puzolanik aktivite, puzolanik malzemelerin sönmüş kireçle ve su ile hangi oranda reaksiyona girebileceği ve hangi oranda bağlayıcılık sağlayabileceği olarak tanımlanır. TS 25 (2008)'de yapılan tarife göre de doğal puzolanın belirli bir incelikte öğütülüp su ve kalsiyum hidroksitle karıştırılması ile elde edilen harcın basınç dayanımı cinsinden belirlenen hidrolik özelliğidir. Puzolanik aktivite

belirlenirken TS 25 (2008)'de belirtilen oranlarda kullanılan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmaktadır ve bu örneklerde 7, 28 veya 90 gün sonrasında serbest basınç deneyleri yapılmaktadır. TS 25 (2008)'e göre hazırlanan harç çubuklarının 7 günlük serbest basınç dayanımlarının en az 4 MPa olması durumunda malzemenin puzolanik aktiviteye sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında asidik ve bazik tüflerin puzolanik aktiviteleri TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) AR-GE Enstitüsü laboratuvarlarında yaptırılan puzolanik aktivite deneyleri ile belirlenmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Asidik ve bazik tüflere ait puzolanik aktivite deney sonuçları  
**Table 2.** Pozzolan activity test results of acidic and basic tuffs

Örnek	7 günlük serbest basınç dayanımı (MPa)	28 günlük serbest basınç dayanımı (MPa)
Asidik Tüf	2.05	8.16
Bazik Tüf	3.60	6.20

#### 4. Laboratuvar sonuçlarının değerlendirilmesi

##### 4. Evaluation of laboratory results

Bir malzemenin puzolanik özelliğine sahip olup olmadığına, o malzemeye ait deney sonuçlarının standartlarda önerilen limit değerler ile karşılaştırılması sonucunda karar verilebilmektedir. Doğal puzolanların kullanım uygunluğu konusunda farklı kuruluşlar tarafından önerilmiş standartlar bulunmaktadır. Bu

standartlardan TS 25 (2008) çimentoda kullanılacak katkı malzemeleri için, TS EN 450-1 (2013) ve ASTM C 618 (2012) ise uçucu kül ve kalsine edilmiş ya da edilmemiş doğal puzolanların kullanıma uygunluğu konusunda önerilmiş standartlardır. Bu çalışmada incelenen tüf örneklerine ait analiz ve deney sonuçları bu standartlarda verilen limit değerler ile karşılaştırılmış (Tablo 3) ve puzolan olarak kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Tüflerin doğal puzolanlar için önerilen standartlardaki limitlere göre değerlendirilmesi

**Table 3.** Evaluation of tuffs according to the limits in the standards recommended for natural pozzolans

Özellik		Asidik Tüf	Bazik Tüf	TS 25 (2008)	TS EN 450-1 (2013)	ASTM C 618 (2012)
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	90.27	42.04	≥ 70.00	≥ 70.00	≥ 70.00
MgO	%	0.19	2.11	≤ 5.00	≤ 4.00	
SO <sub>3</sub>	%	0.90	0.036	≤ 3.00	≤ 3.00	≤ 4.00
K <sub>2</sub> O + 0.658Na <sub>2</sub> O *	%	1.69	1.27	-	≤ 5.00	≤ 1.50
Serbest CaO	%	0.76	28.70	-	≤ 2.50	-
Reaktif SiO <sub>2</sub>	%	28.11	23.15	≥ 25.00	≥ 25.00	-
Ateşte kayıp	%	5.50	24.80	-	≤ 5.00-9.00	≤ 10.00
7 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	2.05	3.60	≥ 4 MPa	-	-

\* Eşdeğer alkali madde içeriği

Yapılan değerlendirmelere göre; Kızılkaya Formasyonu'na ait asidik tüflerin puzolanik aktivite deneyi ile belirlenen 7 günlük basınç dayanımı değeri hariç tüm özellikleri TS 25 (2008)'de verilen limit değerlere uygundur. Bu tüflerin 7 günlük basınç dayanımı 2.05 MPa iken, TS 25 (2008) standardında bu değerin en az 4 MPa olması koşulu bulunmaktadır. Asidik tüfler, uçucu küllerin puzolan olarak kullanılabilirliği için önerilen TS EN 450-1 (2013) standardında önerilen tüm limit değerlere uygunluk göstermektedir. ASTM C 618 (2012) standartlarında verilen limitlere göre değerlendirildiğinde ise asidik tüflerin eşdeğer alkali madde içeriği hariç diğer özellikleri kalsine edilmiş veya edilmemiş doğal puzolanlar için önerilen limitlere uygundur. Asidik tüflerde eşdeğer alkali madde içeriği değeri %1.69 dur ve limit değerin çok az üstünde bir değerdir. Karabakır Formasyonu'nun bazik karakterli tüflerinin puzolan olabilirliği TS 25 (2008), TS EN

450-1 (2013) ve ASTM C 618 (2012) standartlarına göre değerlendirildiğinde ise bu tüflerin hemen hemen tüm değerlerinin limit değerlere uygun olmadığı belirlenmiştir.

#### 5. Sonuçlar ve Öneriler

##### 5. Results and Recommendations

Farklı bölgelerden derlenmiş ve farklı mineralojik ve kimyasal özelliklere sahip tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Santoniyen yaşlı Kızılkaya Formasyonuna ait tüfler esas olarak kuvars, kalsit, feldspat ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır ve asidik karakterli bir tüftür. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu'na ait tüfler ise bazik karakterlidir ve mineralojik

olarak feldspat, dolomit, kalsit ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır.

2. Asidik tüflere ait sonuçlar **TS 25 (2008)** standardında çimentoda tras olarak kullanılabilirlik için verilen limit değerler ile karşılaştırıldığında, bu tüflerin 7 günlük basınç dayanımı 2.05 MPa'dır ve limit değer olan 4.00 MPa değerinden daha düşüktür. Diğer değerler ise limit değerlere uygundur. 28 günlük basınç dayanımı değeri 8.16 MPa olarak belirlenmiştir. Asidik tüflerde diğer tüm özellikler gereken değerlere sahip iken basınç dayanımı değerlerinin düşük çıkmasının, bu tüflerde serbest CaO yüzdesinin çok düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.
3. Asidik tüfler, uçucu kül için **TS EN 450-1 (2013)** ve **ASTM C 618 (2012)** standartlarına göre değerlendirildiğinde, hemen bütün özelliklerinin bu standartlarda verilen limit değerlere uygun olduğu ve bu tüflerin puzolan olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ancak, asidik tüflerde gerçekleştirilen puzolanik aktivite deneyinden elde edilen sonuçlara göre bu tüfler CaO miktarının az olması nedeniyle yeterli puzolanik aktivite göstermemektedir. Bu nedenle asidik tüflerin puzolan olarak kullanılabilmesi için CaO eksikliğinin giderilerek puzolanik aktivitenin geliştirilmesi gereklidir.
4. Bazik tüflere ait laboratuvar sonuçlarının **TS 25 (2008)**, **TS EN 450-1 (2013)** ve **ASTM C 618 (2012)** standartlarında önerilen limit değerlere göre değerlendirilmesi sonucunda, bu tüflere ait değerlerin birçoğunun standartlarda verilen limitler dışında olduğu ve bu tüflerin tek başına puzolanik özellik göstermediği belirlenmiştir.
5. Bu çalışma kapsamında incelenen Karabakır Formasyonu'na ait bazik tüfler puzolanik özellik göstermediği için hem killerin stabilizasyonunda hem de çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanımı söz konusu değildir. Ancak, Kızılkaya Formasyonu'na ait asidik tüflerin tek başına killerin stabilizasyonunda ve çimentoda katkı olarak kullanılması durumunda yeterli basınç dayanımı sağlamadığı, serbest CaO yüzdesinin azlığından kaynaklandığı düşünülen bu olumsuzluğun giderilmesi için sönmüş kireçle birlikte kullanılması gerektiği önerilmektedir.

## **Teşekkür**

### *Acknowledgement*

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.16.64 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

## **Yazar katkısı**

### *Author contribution*

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir

## **Etik beyanı**

### *Declaration of ethical code*

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

## **Çıkar çatışması beyanı**

### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

## **Kaynaklar**

### *References*

- Akgül, E. (2006). *Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Aksoy, E., Turan, M., Türkmen, İ., & Özkul, M. (1996). Elazığ havzasının Tersiyerdeki Evrimi. *KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 293-310.
- Alp, İ., Deveci, H., Yılmaz, A.O., Kesimal, A., & Yılmaz, E. (2004). Taşhane (Terme) andezitik tüflerinin çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- ASTM C 618-12, (2012). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in Concrete*. West Conshohocken, ASTM International. PA.
- Aydın, S. (2010). *Yenikent (Ankara) yerleşim alanı killerinin kireç ve uçucu külle geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Başçetin, A., Eker, H., Adıgüzel, D., & Tüylü, S. (2020). Çimentolu macun dolgu yönteminin uygulanmasında bazı katkı malzemelerinin puzolanik özelliklerinin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*,

- 10 (2). 415-424.  
https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.627059
- Bascetin, A., Adiguzel, D., Eker, H., Odabas, E., & Tuylu, S. (2021). Effects of puzzolanic materials in surface paste disposal by pilot-scale tests: observation of physical changes. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 18, 949-964.  
https://doi.org/10.1007/s13762-020-02892-w
- Eker, H., & Başçetin, A. (2022). The study of strength behaviour of zeolite in cemented paste backfill. *Geomechanics and Engineering*, 29(4), 421-434.  
https://doi.org/10.12989/gae.2022.29.4.421
- Boynukalın, S. (1990). *Dereli (Giresun) baraj yeri ve göl alanının mühendislik jeolojisi ve çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bulut, Ü. (2007). *Perlitin puzolanik aktivitesi* [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Camacho, R.E.R., & Afif, R.U. (2002). Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cement and Concrete Research*, 32(12), 1851-1858.  
https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00714-1
- Ceylan, H. (2020). Isparta Tüfünün Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması. *Journal of Technical Sciences*, 10(2), 1-6.
- Costa, U., & Massazza, F. (1981). Factors affecting the reaction with lime of italian pozzolanas. *II Cemento*, 131-139.
- Çavdar, A. (2004). *Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliği, çimento inceliği ve tras oranının traslı çimentonun özelliklerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demir Şahin, D., Çullu, M., & Eker, H. (2019). Betonların aşındırma ve karbonatlaşma performanslarına kireçsi uçucu küllerin farklı incelik ve ikame oranlarının etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1150-1163.  
https://doi.org/10.31590/ejosat.654733
- Demir Şahin, D., Çullu, M., & Eker, H. (2020). The effect of different fineness values of Afşin Elbistan fly ash on permeability in concrete. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 6(2), 73-83.  
https://doi.org/10.20528/cjsmec.2020.02.004
- Demir Şahin, D., Isik, E., Isik, I., & Cullu, M. (2021). Artificial neural network modeling for the effect of fly ash fineness on compressive strength. *Arabian Journal of Geosciences*, 14: 2705.  
https://doi.org/10.1007/s12517-021-09120-w
- Erdoğan, T.Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Erdoğan, K., Tokya, M., & Türker, P. (2003). *Traslar ve traslı çimentolar*. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge, Y99-2, 32.
- Geiman, C.M. (2005). *Stabilization of soft clay subgrades in virginia phase ı laboratory study* [M.A. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Civil Engineering].
- Ghabae, S. (2015). *Kireç ile stabilize edilmiş bentonitin kür süresinin mukavemet üzerindeki etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Güven, İ.H. (1993). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu*. MTA, Ankara (yayınlanmamış).
- Herece, E. (2016). *Altınkuşak (Elazığ) ile Pertek (Tunceli) arasının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No. 11907*, Ankara (yayımlanmamış).
- Hewlett, P.C. (1998). *Lea's chemistry of cement and concrete*, John Wiley and Sons Inc. *Fourth Edition*, New York, USA.
- Hossain, K.M.A., & Mol, L. (2011). Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3495-3501.  
https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.042
- Hsu, S., Chi, M., & Huang, R. (2018). Effect of fineness and replacement ratio of ground fly ash on properties of blended cement mortar. *Construction and Building Materials*, 176, 250-258.  
https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.060
- Kalay, E. (2010). *Sıkıştırılmış yüksek plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda pomza, mermer tozu ve kirecin kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kavas, T., & Çelik, M.Y. (2001). Ayazini (Afyon) Tüflerinin çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Madencilik*, 44(2).
- Kinuthia, J.M., Wild, S., & Jones, G.I. (1999). Effects of monovalent and divalent metal sulphates on consistency and compaction of lime-stabilised kaolinite. *Applied Clay Science*, 14(1-3), 27-45.  
https://doi.org/10.1016/S0169-1317(98)00046-5



- Korkmaz, S. (1993). Tonya-Düzköy (GB Trabzon) Yöresinin Stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36(1), 151-158.
- Köprübaşı, N. (1992). *Aşağı Harşit bölgesinin mağmatik petrojenezi ve masif sülfidlerde jeokimyasal hedef saptama uygulamaları* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Liebig, E., & Althaus, E. (1998). Pozzolan activity of volcanic tuff and suevite: Effects of calcination. *Cement and Concrete Research*, 28(4), 567-575. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00024-6)
- Little, D.N., Scullion, T., Kota, P.B.V.S., & Bhuiyan, J. (1995). *Guidelines for mixture design and thickness design for stabilized bases and subgrades*. Texas A and M University.
- Locat, J., Berube, M.A., & Choquette, M. (1990). Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: Shear strength development. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(3), 294-304. <https://doi.org/10.1139/t90-040>
- Mallela, J., Harold Von Quintus, P., Smith, K.L., & Consultants, E. (2004). Consideration of limestabilized layers in mechanistic-empirical pavement design. *The National Lime Association*, Arlington, Virginia, USA.
- Massazza, F. (1989). *Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları semineri*, 11-12 Mayıs, Ankara.
- Massazza, F. (1999). *Pozzolans and durability of concrete*, Cement World, 3(21), 19-44.
- Merdan Tutar, Z. (2015). *Bahçecik (Torul/Gümüşhane) ve civarındaki Eosen yaşlı volkanik kayaların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Naz, H. (1979). *Elazığ-Palu dolayının jeolojisi*. TPAO Raporu, 1360, (yayımlanmamış).
- Pan, S., Tseng, D., Lee, C., & Lee, C. (2003). Influence of the finesses of sewage sludge ash on the mortar properties. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1749-1754. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00165-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00165-0)
- Swamy, R.N. (1986). *Cement Replacement Materials*, Blackie & Son Ltd, London, England.
- Taban, S., & Şimşek, O. (2009). Zeolitik tüf katkı oranı ve deniz suyunun çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24(1), 145-153.
- Thompson, M., & Dempsey, B. (1969). Autogenous healing of lime-soil mixtures. *Highway Research Board*, 263, 1-7.
- TS 25, (2008). *Doğal puzolan (tras) - Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 450-1 (2013). *Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, M., & Bingöl, A.F. (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Ahmet Acar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 213-227.
- Ün, H. (2007). PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Ders Notları, Denizli.
- Yalçınalp, B. (1992). *Güzelyayla (Maçka-TRABZON) Porfiri cu-mo cevherleşmesinin jeolojik yerleşimi ve jeokimyası* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Wang, A., Zhang, C., & Sun, W. (2003). Fly ash effects: I. the morphological effect of fly ash. *Cement and Concrete Research*, 33(12), 2023-2029. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00217-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00217-5)
- Wild, S., Kinuthia, J., Robinson, R., & Humphreys, I. (1996). Effects of ground granulated blast furnace slag (GGBS) on the strength and swelling properties of lime-stabilized kaolinite in the presence of sulphates. *Clay Minerals*, 31(3), 423-433. <https://doi.org/10.1180/claymin.1996.031.3.12>

## Peyzaj uygulamalarında kullanılan bazı çim çeşitlerinde farklı tuz yoğunluklarının çimlenme üzerine etkileri

*Effects of different salt concentrations on the germination in some turfgrass varieties used in landscape applications*

Pervin YEŞİL<sup>1,a</sup>, Mesut GÜZEL<sup>\*1,b</sup>, Şeyma ŞENGÜR<sup>1,c</sup>  
<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 52200, Ordu

• Geliş tarihi / Received: 07.04.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 02.08.2022

### Öz

Bu çalışma bazı serin iklim çim çeşitlerinin (*Lolium perenne* Caddieshack, *Lolium multiflorum* Jivet, *Poa pratensis* Evora, *Festuca rubra* Rassinante, *Festuca arundinacea* Starlet, *Festuca ovina* Ridu) çimlenme döneminde farklı tuz yoğunluklarına tepkilerini belirlemek amacı ile laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Çalışmada 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 mM olmak üzere 8 farklı NaCl dozu uygulanmış, çimlenme oranı (%), çimlenme hızı (%), sapçık uzunluğu (cm), kökçük uzunluğu (cm) ve vigor indeksi değerleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda çimlenme oranı, sapçık ve kökçük uzunluklarının 30 mM konsantrasyonlarında arttığı, genel olarak 90 mM dozundan itibaren önemli zararlanmalar ortaya çıktığı gözlenmiştir. İncelenen tüm özelliklerde *Lolium perenne* Caddieshack ve *Lolium multiflorum* Jivet çeşitleri en yüksek ortalama değerleri sergilemiş ve artan tuz dozlarından daha az etkilenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çimlenme, Fizyolojik stres, NaCl, Serin iklim çimleri, Tuzluluk stresi

### Abstract

This study was conducted in laboratory conditions to determine the response of some cool season turf grass species (*Lolium perenne* Caddieshack, *Lolium multiflorum* Jivet, *Poa pratensis* Evora, *Festuca rubra* Rassinante, *Festuca arundinacea* Starlet, *Festuca ovina* Ridu) to different salt doses during the germination period. In the study, 8 different NaCl doses, 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 mM, were applied, germination rate (%), germination time (%), plumula length (cm), radicle length (cm) and vigor index values were examined. Because of the research, it was observed that the germination rate, plumula and radicle lengths increased at 30 mM concentrations and in general, significant damage occurred after the dose of 90 mM. *Lolium perenne* Caddieshack and *Lolium multiflorum* Jivet species showed the highest mean values and were less affected by increasing salt doses in all properties examined.

**Keywords:** Germination, Physiological stress, NaCl, Cool season turf grasses, Salinity stress

<sup>a</sup> Mesut GÜZEL; mesutguzel@odu.edu.tr, Tel: (0534) 410 20 94, orcid.org/0000-0001-6172-5812

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-4395-6881

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-9416-6399

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Kentsel peyzajın önemli bir bileşeni olan çim alanlar; fonksiyonel, estetik, rekreasyonel, sosyal ve ekonomik açıdan pek çok faydalar sağlamaktadır (Monteiro, 2017). Ayrıca çim yüzeylerle kaplı kentsel yeşil alanlar, karbon döngüsünü olumlu yönde etkileme potansiyeline sahiptir (Allaire vd., 2008). Yapılan çalışmalar, çim alanların karbon tutma potansiyeli sayesinde atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu düşürmeye yardımcı olabileceğini göstermiştir (Allaire vd., 2008; Law & Patton, 2017). Çim alanlar, çayır ve tarım alanlarına göre daha fazla biyokütle ürettiğinden buna paralel olarak daha fazla karbon depolamaktadır (Golubiewski, 2006). Çim alanlar ayrıca erozyon ve taşkın kontrolü, toz stabilizasyonu, gürültü kirliliğinin azaltılması, toprak iyileştirme ve kentsel ısı dağılımının sağlanması gibi etkileri ile kent ekosisteminin iyileştirilmesine katkıda bulunur (Bandaranayake vd., 2003). Ancak dünya çapında yaşanan tatlı su kıtlığı göz ardı edilemeyen bir gerçektir ve bu da kentsel alanlarda çim alanlarının sulanması noktasında bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Çim alan sulaması, özellikle su kıtlığı meydana geldiğinde, genellikle tatlı su için düşük öncelikli bir kullanım olarak kabul edilmektedir (Kjelgren vd., 2000). Kıyıların yakınında tuzlu yağmur suları, tuzlu su sızıntısı veya deniz suyu girişinin neden olduğu acı yeraltı suları, ana kayalardan ve okyanus tuzlarından kaynaklanan kirlilik gibi doğal nedenlerin (Türkan & Demiral, 2009) yanı sıra yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerde akışı, geri kazanılmış su ve deniz suyu karışımları ile yapılan sulama uygulamaları bitkilerin kök bölgesinde tuz konsantrasyonunu artırmaktadır. Ülkeler bu olumsuz durumla mücadelede farklı stratejiler ortaya koymak durumunda kalmışlardır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bazı eyaletler, daha büyük çim sahaları için artırılmış su veya tuzlu yeraltı suyunun kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Marcum, 2006). Yakın gelecekte bu tip uygulamaların yaygınlaşması beklenen bir durum olduğundan çim üzerine uygulanan sulama suyu genellikle geçmişte olduğundan daha tuzlu olacaktır (Miyamoto vd., 2005; Miyamoto & Chacon, 2006). Bunların yanı sıra yollardaki kar ve buz gidermek için tuzların ve buz çözücü kimyasalların kullanıldığı bölgelerde yol kenarlarında yer alan çim alanlarda tuzluluk kaynaklı sorunlar meydana gelmektedir (Greub vd., 1985; Bushman vd., 2020).

Biyotik ve abiyotik stres koşulları en iyi ihtimalle çoğu bitkinin büyüme ve gelişmesini

yavaşlatmakta, en kötü ihtimalle ise büyüme ve gelişmenin tamamen durmasına hatta bitkinin ölmesine neden olabilmektedir (McMaster & Wilhelm, 2003). Kaynağının ne olduğuna bakılmaksızın tuz, çimlenme ve bitki gelişimini olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres kaynaklarından biridir (McMaster & Wilhelm, 2003; Chinnusamy vd., 2005; Borawska-Jarmułowicz vd., 2017). Tuz ve tuzun ortamda bulunmasından kaynaklanan tuzluluk etkisi bitkilerde osmotik strese, iyonik toksisiteye ve beslenme dengesizliklerine yol açarak (Türkan & Demiral, 2009) bitkilerde büyüme hızı ve biyokütle artışının engellenmesine neden olmaktadır (Khaleghi & Ramin, 2005; Abbasi vd., 2016).

Bitki tohumların tuzluluğa karşı en hassas durumda olduğu safha çimlenme safhasıdır ve bu alandaki çalışmalar, tuzluluğa gösterilen toleransın çim tohumlarının tür ve çeşitleri içinde önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir (Hujun vd., 2001; Jalali vd., 2010). Tohumların hayatta kalabilme durumları belirlenirken, çimlenme hızı ve enerjisinin değerlendirilmesi önemlidir. Canlılık düzeyi yüksek olan tohumlar elverişsiz habitat koşullarına daha fazla tolerans gösterir (Mastalerczuk, 2010; Borawska-Jarmułowicz vd., 2017). Bu nedenle hem tohum çimlenmesi hem de vejetatif büyüme sırasında tuza toleranslı olan çim çeşitlerinin belirlenerek bunların yetiştirilmesi önem kazanmaktadır (Dai vd., 2009). Bu bilgiler ışığında çalışmanın temel amacı farklı tuz yoğunluklarının, peyzaj düzenlemelerinde sıklıkla tercih edilen bazı serin iklim çim türlerine ait çeşitlerde çimlenme üzerine etkisini ortaya koymaktır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

Bu çalışma farklı tuz yoğunluklarının bazı serin iklim çim türlerine ait çeşitlerde, çimlenme üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada Ulusoy Tohumculuk firmasından sağlanan *Lolium perenne* Caddieshack (LP), *Lolium multiflorum* Jivet (LM), *Poa pratensis* Evora (PP), *Festuca rubra* Rassinante (FR), *Festuca arundinacea* Starlet (FA) ve *Festuca ovina* Ridu (FO) çeşitlerine ait iki yıllık tohumlar kullanılmıştır.

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülmüş; denemelerde 0 (kontrol), 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 mM olmak üzere 8 farklı NaCl (SIGMA, 746398) dozu uygulanmıştır. Her tekrarda 50 adet tohum kullanılmış, tüm tohumlar öncelikle yüzey



Farklı tuz konsantrasyonlarındaki çimlenme oranları değerlendirilecek olursa; *Lolium perenne* Caddieshack çeşidi için genel olarak bir azalmayı ifade ederken 60 mM ve 210 mM tuz dozlarında artışlar saptanmıştır. Çeşidin 60 mM tuz konsantrasyonu ile kontrol grubundaki %96.7'lik en yüksek çimlenme oranına yeniden eriştiği görülmektedir. En düşük çimlenme oranı 180 mM dozunda olmuştur. 120 mM dozundan itibaren çimlenme oranı çeşit ortalamasının altında kalmaktadır.

*Lolium multiflorum* Jivet çeşidinin farklı tuz konsantrasyonlarına olan tepkisi *Lolium perenne* Caddieshack çeşidi ile benzer şekilde gerçekleşmiş olup genel olarak bir düşüş yaşamakla birlikte çimlenmenin ilk döneminde 60 mM tuz konsantrasyonu ile kontrol grubundaki %88.7'lik çimlenme oranını aşarak %91.3 çimlenme oranına erişmiştir. 60 mM dozunda kontrolden daha yüksek çimlenme oranı görülmesi dikkat çekicidir. Yine 150 mM'lık tuz dozunun verildiği dönemde ise çimlenme oranı bir önceki tuz konsantrasyonuna göre %3.4 oranında artmıştır. En düşük çimlenme oranı 210 mM dozunda görülmüştür. 90 mM dozundan itibaren çimlenme oranı tür ortalamasının altında kalmaktadır.

*Lolium perenne* Ovation çeşidinin farklı tuz konsantrasyonlarındaki çimlenme performansının değerlendirildiği bir çalışmada 2, 4 ve 8 dS m<sup>-1</sup> tuz konsantrasyonlarında çimlenme oranının yüksek olduğu, daha yüksek dozlarda ise çimlenme oranlarında belirgin bir düşüşün görüldüğü belirtilmiştir (Nizam, 2011). Bir başka çalışmada ise dört farklı *Lolium perenne* çeşidi üzerinde farklı tuz konsantrasyonlarında ölçülen çimlenme oranlarının artan tuz konsantrasyonu ile azalma göstermiş olduğu belirtilmiş olup *Lolium perenne* Apple için çimlenmenin son aşamasında, *Lolium perenne* Ecologic için çimlenmenin ilk orta aşamasında, *Lolium perenne* Solstice II için ise çimlenmenin son aşamasında çimlenme oranlarında artışlar görülmüştür (Yılmaz, 2009). Bu araştırma kapsamında benzer sonuçlar *Lolium perenne* Caddieshack ve *Lolium multiflorum* Jivet türleri için saptanmıştır. Aynı cinse ait bu iki tür karşılaştırıldığında çimlenmenin ilk ve son döneminde verilen tuz takviyesinin çimlenme oranına olumlu yönde etki edebileceği öngörülebilmektedir.

*Festuca rubra* Rassinante çeşidinde ise 60 mM tuz konsantrasyonundan itibaren önemli düzeyde azalma görülmekle birlikte 120, 150 ve 180 mM tuz konsantrasyonlarına dayanımı çeşit ortalamasının altındadır ve oldukça düşüktür. 210

mM tuz uygulanan tohumlarda ise hiç çimlenme görülmemiştir. *Festuca ovina* Ridu'da çimlenme oranı oldukça düşük olup, 150 mM tuz dozundan sonra çimlenme gerçekleşmemiştir.

Çimlenme oranı açısından bir başka *Festuca* türü olan *Festuca arundinacea* Starlet değerlendirildiğinde, 60 mM tuz dozunda 30 mM doza göre küçük bir artış, 120 mM dozda 90 mM'e göre %6, 180 mM dozda ise 150 mM'e göre %5.3'lük artışlar saptanmıştır. Aynı cinse ait olan bu iki çeşidin tuz konsantrasyonlarına olan tepkisi araştırmaya dahil olan tüm çeşitler ile benzer olup çimlenme oranı artan dozlarda azalma eğilimindedir ve 90 mM dozundan itibaren çimlenme oranı çeşit ortalamasının altında kalmakta ve önemli düzeyde azalma gözlemlenmektedir.

*Poa pratensis* Evora çeşidinde ise çimlenmenin ilk aşamasında 30 mM'lık tuz konsantrasyonunun kontrol grubunda %78 görülen çimlenme oranını %81.3'e çıkardığı görülmektedir. Ancak, 90 mM tuza maruz kalma durumundan itibaren çeşit ortalamasının altında kaldığı, 120 mM'da çimlenme oranının önemli ölçüde düştüğü; 150, 180 ve 210 mM tuz konsantrasyonlarında çimlenmenin gerçekleşmediği saptanmıştır. Çalışmanın bulguları Alagöz ve Türk (2020) tarafından gerçekleştirilen benzer çalışmanın bulguları ile uyumludur. Alagöz & Türk (2020) *Poa pratensis* L. çeşidi üzerine uygulanan farklı tuz konsantrasyonlarının çimlenme oranını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Carrow vd. (2008) *Lolium perenne* L. tuzluluk kaynaklı strese karşı orta derecede toleranslı/toleranslı, *Festuca arundinacea* Schreb ve *Festuca rubra* L. orta derecede toleranslı/toleranslı ve *Poa pratensis* L. çok hassas/orta derecede toleranslı olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada da *Festuca arundinacea* Schreb çeşidinin tuzluluğa karşı orta derecede toleranslı olduğu belirtilmiştir (Shiade & Boelt, 2020). Kusvuran (2014) ve Kusvuran (2015) yapmış oldukları çalışmalarda da olası istisnai çok yıllık çim türü *Lolium perenne* L. dışında serin iklim çim türlerinin çoğunun, tohum çimlenmesi sırasında tuzluluk stresine karşı son derece duyarlı olduğu saptanmıştır (Dai vd., 2009; Kusvuran vd., 2014; Kusvuran vd., 2015). Çimlenme oranlarıyla ilgili genel bir değerlendirme yapılacak olursa araştırmaya konu olan tüm türler için farklı tuz konsantrasyonlarında bir azalma söz konusu olup birçok araştırmacı tarafından tuz yoğunluğunun çimlenme oranında azalma yarattığı tespit edilmiştir (Atis, 2011; Kusvuran vd., 2014;

Kusvuran vd., 2015; Topçu vd., 2016; Borawska-Jarmułowicz vd., 2017; Kıldış, 2021).

Çimlenme oranının yanı sıra farklı tuz konsantrasyonları uygulanan türlerin çimlenme hızları da değerlendirilmiş olup sonuçlar diğer parametrelere benzer şekilde saptanmıştır. Pagliarini vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada Poacea familyasına ait türlerde tuzluluk etkisi değerlendirilmiş ve çimlenme oranındaki düşüşün çimlenme hızında da benzer şekilde görüldüğü tespit edilmiştir. 6 numuneye ait kontrol gruplarındaki toplam çimlenme hızları incelendiğinde en yüksek oran %53.1 ile *Lolium multiflorum* Jivet, çeşidinde görülmüş olup bunu sırasıyla %40.9 ile *Lolium perenne* Caddieshack, %32.3 *Festuca rubra* Rassinante, %24.1 *Festuca arundinacea* Starlet ve %24 ile *Poa pratensis* Evora, çeşitleri takip etmektedir. Çimlenme hızı üzerindeki tek olumlu etki 30 mM tuz konsantrasyonunda %1.5 artış ile *Lolium perenne*

Caddieshack çeşidinde gerçekleşmiştir. Genel olarak 90 mM tuz konsantrasyonundan itibaren önemli düzeyde bir azalma olduğu görülmektedir. Tür bazında; *Festuca arundinacea* Starlet, *Lolium multiflorum* Jivet ve *Lolium perenne* Caddieshack 90 mM, *Festuca ovina* Ridu ve *Festuca rubra* Rassinante 60 mM, *Poa pratensis* Evora 30 mM tuz konsantrasyonlarında önemli düzeyde düşüş görülmüştür. Ayrıca *Lolium multiflorum* Jivet ve *Lolium perenne* Caddieshack 120 mM, *Festuca arundinacea* Starlet ve *Festuca rubra* Rassinante 90 mM, *Festuca ovina* Ridu ve *Poa pratensis* Evora 60 mM dozundan itibaren çeşit ortalamasının altında performans sergilemiştir. Genel olarak 90 mM dozundan sonra anlamlı bir düşüş gerçekleşmektedir. En yüksek çimlenme hızı değeri *Lolium multiflorum* Jivet'e ait olup (% 40.9), tür x doz etkileşimini bakımından da en yüksek değer aynı tür için 30 mM tuz konsantrasyonunda (%50.9) gözlenmektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Farklı tuz dozlarının çimlenme hızı üzerindeki etkileri (%)

**Table 2.** Effects of different salt doses on germination time (%)

Çeşitler	Tuz dozu (mM NaCl)								
	Kontrol	30	60	90	120	150	180	210	Çeşit ort.
FA	24.3 <sup>k</sup> ± 1.2	22.6 <sup>l</sup> ± 2.1	22.2 <sup>lm</sup> ± 0.7	15.4 <sup>o</sup> ± 1.1	13.3 <sup>p</sup> ± 0.5	4.2 <sup>q</sup> ± 0.9	5.2 <sup>r</sup> ± 0.4	1.7 <sup>t</sup> ± 0.3	17.4 <sup>d</sup> ± 0.29
FO	9.9 <sup>qr</sup> ± 1.0	8.2 <sup>r</sup> ± 0.6	5.0 <sup>st</sup> ± 1.1	3.9 <sup>st</sup> ± 0.8	3.3 <sup>st</sup> ± 0.6	0.6 <sup>t</sup> ± 0.0	-	-	6.3 <sup>e</sup> ± 0.24
FR	32.3 <sup>q</sup> ± 1.0	32.6 <sup>q</sup> ± 2.1	26.2 <sup>ij</sup> ± 0.5	23.3 <sup>kl</sup> ± 2.3	11.9 <sup>pq</sup> ± 2.8	3.4 <sup>st</sup> ± 1.0	2.0 <sup>t</sup> ± 0.2	-	24.9 <sup>c</sup> ± 0.39
LM	53.3 <sup>a</sup> ± 3.0	50.9 <sup>b</sup> ± 3.6	50.0 <sup>b</sup> ± 2.7	41.2 <sup>cd</sup> ± 3.0	39.6 <sup>e</sup> ± 2.9	36.0 <sup>f</sup> ± 1.6	27.5 <sup>hi</sup> ± 3.2	22.3 <sup>lm</sup> ± 2.5	40.9 <sup>a</sup> ± 0.36
LP	41.0 <sup>d</sup> ± 0.9	42.4 <sup>c</sup> ± 2.8	40.4 <sup>de</sup> ± 1.0	35.0 <sup>f</sup> ± 1.5	28.8 <sup>h</sup> ± 2.9	23.5 <sup>kl</sup> ± 3.9	17.1 <sup>o</sup> ± 2.0	19.7 <sup>n</sup> ± 2.0	32.3 <sup>b</sup> ± 0.31
PP	24.7 <sup>jk</sup> ± 2.4	20.7 <sup>m</sup> ± 0.2	16.7 <sup>n</sup> ± 0.7	13.1 <sup>p</sup> ± 1.1	4.4 <sup>st</sup> ± 0.1	-	-	-	17.9 <sup>d</sup> ± 0.29
<b>Doz ort.</b>	34.4 <sup>a</sup> ± 0.5	33.4 <sup>ab</sup> ± 0.53	31.4 <sup>b</sup> ± 0.55	26.3 <sup>c</sup> ± 0.5	23.6 <sup>d</sup> ± 0.62	25.0 <sup>c</sup> ± 0.71	17.9 <sup>e</sup> ± 0.62	19.2 <sup>e</sup> ± 0.43	
<i>p</i>									Çeşit: <0.001 Doz: <0.05 Çeşit x Doz: <0.001

Tohum çimlenmesi ve bitkinin hızlı ve düzgün bir gelişme göstermesi çim alanların tesisini etkileyen en önemli unsurlardır. Bilindiği gibi tuzluluk osmotik strese neden olmakla birlikte iyon dengesini bozmakta ve bitki hücrelerinde besinsel streslere neden olarak çimlenmeyi ve bitki gelişimini geciktirmektedir (Türkan & Tijen, 2009; Guo vd., 2010). Bu anlamda, çimlenme oranı ve çimlenme hızının yansısı çim bitkilerinde gelişimin en önemli göstergelerinden kökçük ve sapçık uzunluklarının farklı tuz dozlarındaki durumu da değerlendirmeye alınmıştır. 6 numuneye ait kontrol gruplarındaki sap uzunlukları incelendiğinde en yüksek sapçık uzunluğu 6.68 cm ile *Lolium multiflorum* Jivet çeşidinde görülmüş olup bunu 5.55 cm ile *Lolium perenne* Caddieshack, 3.98 cm ile *Festuca arundinacea* Starlet, 3.63 cm ile *Festuca rubra* Rassinante ve 2,68 cm sapçık uzunluğu ile *Poa pratensis* Evora

takip etmektedir. Sap uzunlukları farklı tuz konsantrasyonlarında tüm çeşitlerde giderek azalma eğiliminde olup *Lolium multiflorum* Jivet çeşidi için 30 mM tuz dozunda 6.68 cm'den 8.27 cm'ye, *Lolium perenne* Caddieshack çeşidi için yine 30 mM tuz dozunda 5.55 cm'den 5.99 cm'ye ve *Festuca arundinacea* Starlet çeşidi için ise 60 mM tuz dozunda 3.82 cm'den 3.89 cm'ye artışların olduğu görülmüştür. Çeşit ortalamaları incelendiğinde yine en yüksek sapçık uzunluğu ortalaması *Lolium multiflorum* Jivet (5.91 cm)'e ve en düşük sapçık uzunluğu ortalaması *Festuca ovina* Ridu (2.14 cm)'ya aittir. 90 mM tuz dozundan itibaren sap uzunlukları kontrolden önemli ölçüde farklılaşan bir düşüş sergilemektedir. Çeşit x doz etkileşimini açısından en yüksek sapçık uzunluğu *Lolium multiflorum* Jivet çeşidinde 30 mM tuz dozunda (8.27 cm) gözlenmektedir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Farklı tuz dozlarının sapçık uzunluğu üzerindeki etkileri (cm)**Table 3.** Effects of different salt doses on plumula length (cm)

Türler	Tuz dozu (mM NaCl)								Tür ort.
	Kontrol	30	60	90	120	150	180	210	
FA	3.98 <sup>gh</sup> ± 0.18	3.82 <sup>ghj</sup> ± 0.18	3.89 <sup>ghi</sup> ± 0.16	2.95 <sup>jikm</sup> ± 0.15	1.75 <sup>nop</sup> ± 0.13	0.48 <sup>p</sup> ± 0.06	0.63 <sup>op</sup> ± 0.10	0.47 <sup>p</sup> ± 0.14	2.89 <sup>c</sup> ± 0.08
FO	2.93 <sup>ikm</sup> ± 0.26	2.50 <sup>lmn</sup> ± 0.28	2.00 <sup>mno</sup> ± 0.27	1.51 <sup>nop</sup> ± 0.23	1.51 <sup>nop</sup> ± 0.25	0.87 <sup>nop</sup> ± 0.42	-	-	2.14 <sup>d</sup> ± 0.12
FR	3.63 <sup>ghjk</sup> ± 0.12	3.37 <sup>hijkl</sup> ± 0.11	3.07 <sup>iklm</sup> ± 0.11	2.67 <sup>lm</sup> ± 0.12	2.17 <sup>mn</sup> ± 0.13	0.65 <sup>nop</sup> ± 0.12	1.88 <sup>mno</sup> ± 0.19	-	2.95 <sup>c</sup> ± 0.06
LM	6.68 <sup>bc</sup> ± 0.19	8.27 <sup>a</sup> ± 0.23	7.24 <sup>b</sup> ± 0.20	7.10 <sup>b</sup> ± 0.20	5.97 <sup>cd</sup> ± 0.19	4.17 <sup>e</sup> ± 0.14	3.80 <sup>ghj</sup> ± 0.15	3.08 <sup>ikm</sup> ±	5.91 <sup>a</sup> ± 0.09
LP	5.55 <sup>de</sup> ± 0.12	5.99 <sup>cd</sup> ± 0.15	5.18 <sup>e</sup> ± 0.13	5.01 <sup>ef</sup> ± 0.13	4.31 <sup>fg</sup> ± 0.13	3.55 <sup>ghk</sup> ± 0.11	2.81 <sup>klm</sup> ± 0.12	2.46 <sup>mn</sup> ±	4.52 <sup>b</sup> ± 0.06
PP	2.68 <sup>lm</sup> ± 0.08	2.31 <sup>mno</sup> ± 0.08	2.22 <sup>mno</sup> ± 0.08	1.74 <sup>nop</sup> ± 0.08	1.09 <sup>nop</sup> ± 0.08	-	-	-	2.17 <sup>d</sup> ± 0.04
Doz	4.52 <sup>a</sup> ± 0.08	4.77 <sup>a</sup> ± 0.11	4.41 <sup>ab</sup> ± 0.09	4.02 <sup>b</sup> ± 0.1	3.62 <sup>b</sup> ± 0.11	3.24 <sup>b</sup> ± 0.11	2.76 <sup>bc</sup> ± 0.1	2.54 <sup>c</sup> ± 0.09	
<i>p</i>									Tür: <0.001 Doz: <0.05 Tür x Doz: <0.001

Çeşitler kökçük uzunlukları açısından değerlendirildiğinde sapçık uzunluğunda olduğu gibi benzer bir azalma eğilimi görülse de tek tek değerlendirildiğinde bazı çeşitlerde farklı tuz konsantrasyonlarında artış eğilimi görülmektedir. Bu çeşitler sırasıyla belirtilecek olursa ilk olarak *Festuca arundinacea* Starlet çeşidinin 60 mM tuz konsantrasyonunda bir önceki dozda düşüş eğiliminde olan kökçük uzunluğunun 3.12 cm'den 3.63 cm'ye ve 180 mM tuz dozunda 0.91 cm'den 1.21 cm'ye çıktığı görülmektedir. *Festuca rubra* Rassinante çeşidinde ise 180 mM tuz dozunda 0.42 cm'den 0.82 cm'ye çıktığı görülmektedir. *Lolium multiflorum* Jivet çeşidine bakıldığında 30 ve 90 mM tuz konsantrasyonlarında bir önceki doz

sonuçlarına göre 7.24 cm'den 7.95 cm'ye ve 6.63 cm'den 6.98 cm'ye çıkışlar gözlemlenmiştir. *Lolium perenne* Caddieshack için bu durum 90 mM tuz konsantrasyonunda 4.90 cm'den 5.37 cm'ye çıkış şeklinde görülmüştür. *Poa pratensis* Evora çeşidi ise kökçük uzunluğu açısından genel bir düşüş eğilimindedir. En yüksek kökçük uzunluğu ortalaması *Lolium multiflorum* Jivet (5.32 cm), en düşük kökçük uzunluğu ortalaması *Festuca ovina* Ridu (2.78 cm) çeşitlerine aittir. 120 mM tuz dozundan itibaren kök uzunluklarında kontrolden önemli ölçüde farklılaşan bir düşüş ortaya çıkmaktadır. Çeşit x doz interaksyonu açısından en uzun kök *Lolium multiflorum* Jivet için 30 mM tuz dozunda ortaya çıkmaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Farklı tuz dozlarının kökçük uzunluğu üzerindeki etkileri (cm)**Table 4.** Effects of different salt doses on radicle length (cm)

Çeşitler	Tuz dozu (mM NaCl)								Çeşit ort.
	Kontrol	30	60	90	120	150	180	210	
FA	3.53 <sup>d</sup> ± 0.14	3.12 <sup>de</sup> ± 0.13	3.63 <sup>d</sup> ± 0.13	3.00 <sup>def</sup> ± 0.13	2.18 <sup>ghij</sup> ± 0.10	0.91 <sup>kl</sup> ± 0.08	1.21 <sup>kl</sup> ± 0.10	0.70 <sup>kl</sup> ± 0.08	2.78 <sup>c</sup> ±
FO	1.69 <sup>hijkl</sup> ± 0.11	2.04 <sup>ghijk</sup> ± 0.18	1.60 <sup>hijkl</sup> ± 0.14	0.86 <sup>kl</sup> ± 0.08	0.90 <sup>kl</sup> ± 0.14	0.41 <sup>kl</sup> ± 0.10	-	-	1.45 <sup>e</sup> ±
FR	2.21 <sup>ghi</sup> ± 0.08	1.93 <sup>ghjk</sup> ± 0.08	1.84 <sup>ghjk</sup> ± 0.07	1.22 <sup>kl</sup> ± 0.06	1.05 <sup>kl</sup> ± 0.07	0.42 <sup>kl</sup> ± 0.06	0.82 <sup>kl</sup> ± 0.12	-	1.64 <sup>d</sup> ± 0.9
LM	7.24 <sup>ab</sup> ± 0.22	7.95 <sup>a</sup> ± 0.23	6.63 <sup>b</sup> ± 0.21	6.98 <sup>b</sup> ± 0.23	5.58 <sup>c</sup> ± 0.20	3.01 <sup>def</sup> ± 0.15	2.59 <sup>efg</sup> ± 0.17	1.18 <sup>kl</sup> ± 0.09	5.32 <sup>a</sup> ± 3.1
LP	5.56 <sup>c</sup> ± 0.18	5.50 <sup>c</sup> ± 0.17	4.90 <sup>c</sup> ± 0.17	5.37 <sup>c</sup> ± 0.15	3.71 <sup>d</sup> ± 0.17	2.54 <sup>efgh</sup> ± 0.17	1.80 <sup>ghjk</sup> ± 0.16	1.75 <sup>hijk</sup> ± 0.14	4.11 <sup>b</sup> ± 0.1
PP	1.55 <sup>ijkl</sup> ± 0.06	1.32 <sup>kl</sup> ± 0.05	1.26 <sup>kl</sup> ± 0.05	0.77 <sup>kl</sup> ± 0.04	0.33 <sup>kl</sup> ± 0.02	-	-	-	1.17 <sup>e</sup> ± 0.03
Doz ort.	4.04 <sup>a</sup> ± 0.1	4.02 <sup>a</sup> ± 0.12	3.78 <sup>a</sup> ± 0.1	3.61 <sup>a</sup> ± 0.12	3.20 <sup>b</sup> ± 0.1	2.40 <sup>c</sup> ± 0.1	1.93 <sup>d</sup> ± 0.1	1.43 <sup>d</sup> ± 0.1	
<i>p</i>									Çeşit: <0.05 Doz: <0.001 Çeşit x Doz: <0.01

Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile bu çalışmada elde edilen bulgular büyük ölçüde uyumludur. *Festuca arundinacea* Starlet'in çimlenme performansı üzerine yapılan bir çalışmada, 15 dS/m NaCl ön uygulamasının tohumların sapçık ve kökçük uzunluğunu önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir (Tilaki vd., 2010). Araştırma kapsamında sap ve kökçük uzunluklarında artış tespit edilse bile tüm çeşitler için farklı tuz konsantrasyonlarının genel bir azalma yarattığı tespit edilmiştir. Bu durum yine birçok çalışmadaki bulgularla desteklenmektedir. *Festuca arundinacea* Schreb. türünde tuz stresinin çimlenme performansı üzerindeki etkilerinin

araştırıldığı bir çalışmada (Öztürk vd., 2018), 50 mM tuz dozunda sapçık uzunluğunun etkilenmediği ancak daha yüksek dozlarda sapçık gelişiminin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Kökçük uzunluğunda ise 150 mM'e kadar herhangi bir olumsuz etkinin görülmediği ancak bu dozdan sonra kökçük uzunluğunda kısalma tespit edilmiştir (Öztürk vd., 2018). *Festuca arundinacea* Schreb. türünün 9 farklı çeşidinde yürütülen bir başka çalışmada da farklı tuz dozlarına maruz bırakılan tohumlarda sapçık ve kökçük uzunluklarında azalma görülmüştür (Shiade & Boelt, 2020).

*Lolium perenne* L. türünün dört farklı çeşidi (Apple Gl, Ecologic, Barm., Solstice) üzerinde yürütülen bir çalışmada artan tuz yoğunluğuna bağlı olarak kökçük uzunluğunda genel bir azalma olduğu belirlenmiş olup kontrol grubuna göre 50 mM tuz yoğunluğunda kökçük uzunluğunda artış olduğu saptansa da bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirtilmiştir (Yılmaz & Kısakürek, 2018). Sapçık uzunluğunun da değerlendirildiği çalışmada yine 50 mM tuz yoğunluğunda bir artış tespit edilmiş olup istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış olup aksine artan tuz yoğunluğunun sapçık uzunluğunda önemli bir azalma yarattığı saptanmıştır. Aynı tür ve çeşitler üzerine yürütülen bir diğer araştırmada (Yılmaz & Kısakürek, 2021) ise artan tuz yoğunluğuna bağlı olarak kökçük uzunluğunun 100 mM tuz yoğunluğuna kadar arttığı ve 150 mM uygulamasında azalmakta olduğu ancak artış ve azalışların istatistiksel olarak farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Sürmen vd. (2018) tarafından *Lolium perenne* L. türünün “Ecologic” çeşidi için yapılan çalışmada kökçük uzunluğunda genel bir azalmanın olduğu sapçık uzunluğu açısından ise 5 ve 10 ds/m tuz dozlarında anlamlı artışların saptandığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra sapçık uzunluğu açısından artan tuz yoğunluklarının azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Tatar vd. (2018) da *Lolium perenne* L. tohumlarının sapçık uzunluklarında artış saptanmış ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Kökçük uzunluklarında ise anlamlı bir değişime rastlanmamıştır. Bunların yanı sıra artan tuz dozları ile çimlenme performansı arasında genel bir azalma eğiliminin bulunduğu ifade edilmiştir.

*Festuca rubra* Rassinante türü için de literatür bulgularımızı destekler niteliktedir. Sürmen vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmada farklı tuz dozlarına olan tepkiyi ölçtüğü çalışmalarda *Festuca rubra* rubra türü için kökçük uzunluğunda 5-10 ds/m tuz dozunda ufak ölçüde bir artış sapçık uzunluğunda ise 10 ds/m dozunda belirgin bir artış tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada üç farklı *Festuca rubra* çeşidi için (*Festuca rubra* subsp. *commutata* Gaudin, *Festuca rubra* subsp. *rubra* L.,

*Festuca rubra* subsp. *trichophylla* L.) farklı tuz yoğunluklarının kökçük ve sapçık uzunluklarında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Kıldış, 2021).

Son olarak *Poa pratensis* Evora türü için yapılan birçok çalışmada kökçük ve sapçık uzunluklarının farklı tuz konsantrasyonlarında giderek azaldığı tespit edilmiş olup diğer türler arasında daha olumsuz etkilendiği belirtilmiştir (Borawska-Jarmulowicz vd., 2017; Sürmen vd., 2018; Kıldış, 2021).

Sapçık ve kökçük uzunlukları ile çimlenme yüzdesi kullanılarak tohum canlılık (vigor) indeksi hesaplanmış (Abdulbaki & Anderson, 1973), sonuçlar Tablo 5’te sunulmuştur. Çeşitler ortalaması bakımından vigor indeksi değeri en yüksek *Lolium multiflorum* Jivet (939.6), en düşük *Festuca ovina* Ridu (75.5) olarak; doz ortalamaları bakımından en yüksek ortalama 60 mM (624.0), en düşük ortalama 210 mM (222.0) olarak belirlenmiştir. Ancak 90 mM dozundan itibaren önemli bir düşüş görülmektedir. Çeşit x doz konsantrasyonlarının interaksyonu incelendiğinde ise en yüksek vigor indeksi değerini *Lolium multiflorum* Jivet 30 mM konsantrasyonunda (1416.1) bulunduğu görülmektedir.

Tüm çeşitler farklı tuz konsantrasyonlarında vigor indeksi bakımından incelendiğinde *Festuca arundinacea* Schreb. çeşidinin 60 mM tuz dozunda, *Festuca rubra* Rassinante 180 mM tuz dozunda, *Lolium multiflorum* Jivet çeşidinin 30 mM tuz dozunda, *Lolium perenne* Caddieshack çeşidinin 210 mM tuz dozunda bir önceki doza göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. *Poa pratensis* Evora çeşidi genel bir azalma eğiliminde olup 120 mM, *Festuca ovina* Ridu’da ise 150 mM tuz dozundan sonra tohum canlılığını yitirdiği saptanmıştır. Tüm çeşitler için artan tuz konsantrasyonlarının vigor indeksini azalttığı söylenebilir (Foti vd., 2019; Shiade & Boelt, 2020; Yılmaz vd., 2021).



**Tablo 5.** Farklı tuz dozlarının vigor indeksi üzerindeki etkileri  
**Table 5.** Effects of different salt doses on vigor index

Çeşitler	Tuz dozu (mM NaCl)								
	Kontrol	30	60	90	120	150	180	210	Çeşit ort.
FA	550.3 <sup>hi</sup> ± 22.1	499.7 <sup>hi</sup> ± 21.0	546.7 <sup>hi</sup> ± 20.1	313.5 <sup>kl</sup> ± 13.3	230.5 <sup>lm</sup> ± 12.7	34.4 <sup>n</sup> ± 2.9	55.1 <sup>n</sup> ± 5.6	13.1 <sup>n</sup> ± 2.0	376.2 <sup>c</sup> ±
FO	116.8 <sup>mn</sup> ± 7.9	96.5 <sup>mn</sup> ± 8.3	71.9 <sup>mn</sup> ± 7.3	44.3 <sup>n</sup> ± 5.3	28.9 <sup>n</sup> ± 4.4	5.1 <sup>n</sup> ± 1.9	-	-	75.5 <sup>e</sup> ± 4.2
FR	509.5 <sup>hi</sup> ± 14.2	462.7 <sup>ji</sup> ± 14.3	382.8 <sup>kl</sup> ± 11.9	290.6 <sup>kl</sup> ± 11.7	130.8 <sup>mn</sup> ± 6.2	13.5 <sup>n</sup> ± 1.6	45.1 <sup>n</sup> ± 4.9	-	353.7 <sup>c</sup> ±
LM	1235.0 <sup>bc</sup> ± 32.9	1416.1 <sup>a</sup> ± 37.4	1266.9 <sup>b</sup> ± 34.3	1126.6 <sup>cd</sup> ± 30.8	915.8 <sup>f</sup> ± 27.6	593.8 <sup>gh</sup> ± 20.2	464.7 <sup>ij</sup> ± 20.5	252.5 <sup>lm</sup> ± 11.8	939.6 <sup>a</sup> ±
LP	1074.8 <sup>de</sup> ± 25.9	1065.5 <sup>de</sup> ±	974.8 <sup>ef</sup> ± 26.2	968.4 <sup>ef</sup> ± 22.8	652.3 <sup>g</sup> ± 20.3	474.9 <sup>ij</sup> ± 19.1	248.5 <sup>lm</sup> ± 13.4	299.5 <sup>kl</sup> ± 15.8	765.9 <sup>b</sup> ±
PP	329.9 <sup>kl</sup> ± 9.6	295.6 <sup>kl</sup> ± 9.4	243.2 <sup>lm</sup> ± 8.1	150.8 <sup>mn</sup> ± 6.4	35.7 <sup>n</sup> ± 2.1	-	-	-	242.2 <sup>d</sup> ±
<b>Doz ort.</b>	<b>626.0<sup>a</sup> ± 18.0</b>	<b>610.0<sup>a</sup> ± 20.5</b>	<b>624.0<sup>a</sup> ± 19.2</b>	<b>569.0<sup>b</sup> ± 19.5</b>	<b>437.0<sup>c</sup> ± 18.7</b>	<b>297.0<sup>d</sup> ± 16.5</b>	<b>260.0<sup>d</sup> ± 14.2</b>	<b>222.0<sup>e</sup> ± 10.7</b>	
<i>p</i>									Çeşit: <0.001 Doz: <0.001 Çeşit x Doz: <0.001

#### 4. Sonuç

##### 4. Conclusion

Farklı tuz yoğunluklarının, bazı serin iklim çimlerinde çimlenme özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacı ile yürütülen bu çalışmada, tuz yoğunluğunun çimlenme oranı, çimlenme hızı, sapçık uzunluğu, kökçük uzunluğu ve vigor indeksi değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. İncelenen çeşitler arasında tuza en dayanıklı olanların *Lolium multiflorum* Jivet ve *Lolium perenne* Caddieshack olduğu tespit edilmiştir. Çimlenme oranı, sapçık ve kökçük uzunluklarının 30 mM konsantrasyonlarında arttığı, genel olarak 90 mM dozundan itibaren önemli zararlanmalar ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Kentlerin vazgeçilmez parçası olan açık yeşil alan varlığı içerisinde çim alanlar oldukça geniş ve önemli yer tutmaktadır. Çim alanlar için sulama ihtiyacı önemli bir konu teşkil etmekte olup, suyun içeriği bu alanlara zarar verebilmektedir. Dolayısı ile tohum gelişiminden başlayan süreçte, özellikle tuzlu su baskısına dayanıklı tür ve çeşitlerin kullanımı, günümüz dünyasında gündemde olan bir konudur. Bu çalışma, bazı çim türlerine ait çeşitlerin tuza dayanımını test etmek için yürütülmüştür. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, literatürde yer almayan farklı tür ve çeşitlere de odaklanılmalı, bunun da ötesinde arazi denemeleri ile çimlerin tüm yaşam periyodu içerisinde tuza dayanımına odaklanan çalışmalar da yürütülmelidir.

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Çalışmada kullanılan tohumları sağlayan Ulusoy Tohumculuk firmasına teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Birinci yazar araştırma konusunun seçiminde, araştırma kurgusunun oluşturulmasında, çimlenme parametrelerinin ölçümünde ve literatür araştırması aşamalarında katkı sunmuştur. İkinci yazar çimlenme parametrelerinin ölçülmesinde, istatistiksel analizlerin yapılmasında ve makalenin son yazım aşamalarında katkı sunmuştur. Üçüncü yazar çalışmanın temel materyali olan tohumların temininde, çimlendirme için ön hazırlığın yapılmasında, literatür taraması ve sonuçların raporlanmasında katkı sunmuştur.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

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

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Kaynaklar

##### References

- Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., Ali, S., Ahmad, R., Malik, Z., & Parveen, Z. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(2), 229-238. <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.030>
- Alagöz, M., & Türk, M. (2020). Çayır salkım otu (*Poa pratensis* L.) tohumlarının çimlenme üzerine farklı tuz uygulamalarının etkilerinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 23-26.

- Allaire, S. E., Dufour-L'Arrivee, C., Lafond, J. A., Lalancette, R., & Brodeur, J. (2008). Carbon dioxide emissions by urban turfgrass areas. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(4), 529-532. <https://doi.org/10.4141/CJSS07043>
- Atis, I., Atak, M., Can, E., & Mavi, K. (2011). Seed coat color effects on seed quality and salt tolerance of red clover (*Trifolium pratense*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(3), 363-368.
- Aydın, İ., & Atıcı, Ö. (2015). Tuz stresinin bazı kültür bitkilerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-15. <https://doi.org/10.18586/msufbd.98402>
- Bandaranayake, W., Qian, Y. L., Parton, W. J., Ojima, D. S., & Follett, R. F. (2003). Estimation of soil organic carbon changes in turfgrass systems using the CENTURY model. *Agronomy Journal*, 95(3), 558-563.
- Borawska-Jarmułowicz, B., Mastalerczuk, G., Gozdowski, D., Małuszyńska, E., & Szydłowska, A. (2017). The sensitivity of *Lolium perenne* and *Poa pratensis* to salinity and drought during the seed germination and under different photoperiod conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 71-78. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.010>
- Bushman, B. S., Robbins, M. D., Robins, J. G., Thorsted, K., Harris, P., & Johnson, P. G. (2020). Response to salt stress imposed on cultivars of three turfgrass species: *Poa pratensis*, *Lolium perenne*, and *Puccinellia distans*. *Crop Science*, 60(3), 1648-1659. <https://doi.org/10.1002/csc2.20014>
- Carrow, R., Duncan, R. R., & Huck, M. T. (2008). Turfgrass and landscape irrigation water quality: Assessment and management (1st ed.). CRC Press.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A., & Zhu, J. K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45(2), 437-448.
- Dai, J., Huff, D. R., & Schlossberg, M. J. (2009). Salinity effect on seed germination and vegetative growth of greens-type *Poa annua* relative to other cool-season turfgrass species. *Crop Science*, 49, 696-703.
- Foti, C., Khah, E. M., & Pavli, O. I. (2019). Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. *Plant Biology*, 21(3), 480-486. <https://doi.org/10.1111/plb.12714>
- Golubiewski, N. E. (2006). Urbanization increases grassland carbon pools: Effects of landscaping in Colorado's front range. *Ecological Applications*, 16(2), 555-571.
- Greub, L. J., Drolsom, P. N., & Rohweder, D. A. (1985). Salt tolerance of grasses and legumes for roadside use. *Agronomy Journal*, 77(1), 76-80.
- Guo, R., Shi, L., Ding, X., Hu, Y., Tian, S., Yan, D., & Yang, Y. (2010). Effects of saline and alkaline stress on germination, seedling growth, and ion balance in wheat. *Agronomy Journal*, 102(4), 1252-1260. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0022>
- Güldüren, Ş., & Elkoca, E. (2012). Kuzey Doğu Anadolu Bölgesi ve Çoruh Vadisi'nden toplanan bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin çimlenme döneminde tuza toleransları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 29-41.
- Hu, J., Zhu, Z. Y., Song, W. J., Wang, J. C., & Hu, W. M. (2005). Effects of sand priming on germination and field performance in direct-sown rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 33(1), 243-248.
- Hujun, L., Youzhen, G., Jihe, W., Mingui, H., & Zihui, Y. (2001). A comparison on salt tolerance of 28 breeds of cold type lawn grass. *Acta Prataculturae Sinica*, 10(3), 52-59.
- Jalali, N., Daneshvar, N., Shahi-Gharahlar, A., Teixeira da Silva, J. A., & Farhoudi, R. (2010). Response of fescue (*Festuca rubra*) to salinity sources and levels at seed germination and seedling stage. *Seed Science and Biotechnology*, 4(1), 33-36.
- Khaleghi, E., & Ramin, A. A. (2005). Study of the effects of salinity on growth and development of lawns (*Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* and *Cynodon dactylon*). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9(3), 57-68.
- Kıldış, M. H. (2021). Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı serin iklim çim alan buğdaygillerinin çimlenme ve sürgün gelişimine etkileri [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kjelgren, R., Rupp, L., & Kilgren, D. (2000). Water conservation in urban landscapes. *HortScience*, 35(6), 1037-1040.
- Kusvuran, A., Nazlı, R. I., & Kusvuran, S. (2014). Salinity effects on seed germination in different tall fescue (*Festuca arundinaceae* Schreb.) varieties. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(2), 8-12.
- Kusvuran, A., Nazli, R. I., & Kusvuran, S. (2015). The effects of salinity on seed germination in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) varieties.

- Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(1), 78-84.
- Law, Q. D., & Patton, A. J. (2017). Biogeochemical cycling of carbon and nitrogen in cool-season turfgrass systems. *Urban Forestry and Urban Greening*, 26, 158-162. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.001>
- Marcum, K. B. (2006). Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: Constraints and developments. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 132-146. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.009>
- McMaster G. S., & Wilhelm W. W. (2003). Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving models. *Journal of Agricultural Science*, 141, 129-147.
- Monteiro, J. A. (2017). Ecosystem services from turfgrass landscapes. *Urban Forestry and Urban Greening*, 26, 151-157. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.001>
- Miyamoto, S., Chacon, A., Hossain, M., & Martinez, I. (2005). Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water: I. Spatial variability. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4), 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.03.006>
- Miyamoto, S., & Chacon, A. (2006). Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water: II. Soil factors. *Landscape and Urban Planning*, 77(1-2), 28-38.
- Nizam, I. (2011). Effects of salinity stress on water uptake, germination and early seedling growth of perennial ryegrass. *African Journal of Biotechnology*, 10(51), 10418-10424. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1243>
- Öztürk, Y., Tatar, N., & Çarpıcı, E. B. (2018). Tuz stresi koşullarında polietilen glikol ön uygulamalarının kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Schreb.) tohumlarının çimlenme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 141-149.
- Pagliarini, M. K., Pontim, B. C. A., Baptista, C.R., Gordin, C.R.P., Monaco-Mello K.A., Zomerfeld, P.S., Nogueira, J.S., & Souza, L.C.F. (2021). Seeds germination of Poaceae family species in saline water. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 8(5), 201-212.
- Shiade, S. R. G., & Boelt, B. (2020). Seed germination and seedling growth parameters in nine tall fescue varieties under salinity stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 70(6), 485-494. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1779338>
- Sürmen, M., Erdoğan, H., Özeroğlu, A., & Kara, E. (2018). Farklı tuz konsantrasyonlarının çim bitkilerinde çimlenme ve erken fide dönemi özellikleri üzerine etkileri. Uluslararası Katılımlı AGRIFOR Kongresi (pp. 636-642), Muğla.
- Tatar, N., Öztürk, Y., & Çarpıcı, E. B. (2018). NaCl ön uygulamalarının farklı tuz seviyelerinde çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in çimlenme özellikleri üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 28-33.
- Tilaki, G. A. D., Shakarami, B., Tabari, M., & Behtari, B. (2010). Increasing salt tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) by seed priming techniques during germination and early growth. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 44(3), 177-182.
- Topçu, G. D., Çelen, A. E., Kuru, E., & Özkan, Ş. S. (2016). Farklı tuz konsantrasyonlarının kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*) ve mavi ayrık (*Agropyron intermedium*) bitkilerinin çimlenme ve erken gelişme dönemindeki etkileri üzerine araştırma. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25, 219-224. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.282429>
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.05.008>
- Yılmaz, M. B., & Kısakürek, Ş. (2018). Bazı çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) çeşitlerinde tuz stresinin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2), 204-217.
- Yılmaz, M. B. (2019). *Çok yıllık çim (Lolium perenne L.) çeşitlerinde tuz ve kuraklık stresinin çimlenme ve fide gelişimine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Yılmaz, M., Doğru, A., & Kıldış, M. H. (2021). Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı serin iklim çim alan buğdaygillerinin çimlenmesi ve sürgün gelişimi üzerine etkileri. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 2(2), 66-77.
- Yılmaz, M. B., & Kısakürek, Ş. (2021). *Lolium perenne* L. çeşitlerinde kuraklık stresinin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(3), 529-538. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.2021.24.3.529-538>

## Endüstriyel bir 3 boyutlu yazıcı ile imal edilen ABS malzemeli parçaların boyut hatalarının incelenmesi

*Investigation of dimensional form errors of parts manufactured with an industrial 3-dimensional printer using ABS material*

**Kadir KIRAN<sup>\*1,2,a</sup>, Bahri ŞEKERCİ<sup>2,b</sup>, Kemal Burak URGANCI<sup>2,c</sup>, Yunus Emre DELİKANLI<sup>3,d</sup>, Baki GEZGEN<sup>4,e</sup>**

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM), Tasarım ve İmalat Birimi, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Senirkent Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>4</sup>Z Eksen Baskı Sistemleri ve Bilgi Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 08.01.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.08.2022

### Öz

Eklemeli imalatta parça boyut hataları temel problemler arasında yerini almaktadır. Cihaz pozisyon hatalarına, parça çekmesine ya da büzülmesine ve STL dosya hatalarına bağlı olarak ortaya çıkan parça boyut hataları üretkenliği olumsuz etkilemektedir. Genel olarak, her bir cihaz-malzeme-imalat parametresi-geometri kombinasyonuna göre parçalarda farklı boyut hataları meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla bu hataların hesaplanması ve analiz edilmesi son kullanıcılar ve cihaz imalatçıları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda adı geçen çalışmada endüstriyel bir üç boyutlu yazıcı olan Zaxe Z1 cihazı ile ABS malzemeli parça imalatında parça boyut hataları araştırılmıştır. İlk olarak, farklı boyutlarda daire, kare ve eşkenar üçgen geometrilerini üzerinde barındıran bir test parçası tasarlanmıştır. Ardından, test parçalarının imalat tablasındaki konumuna göre ortaya çıkan hataları incelemek amacıyla imalat tablasının farklı bölgelerine toplam 5 adet test parçası konumlandırılarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Üçüncü adımda, bu test parçaları üzerinde yer alan tüm test geometrileri koordinat ölçme makinesi ile taranarak iki boyutlu profilleri elde edilmiştir. Dördüncü adımda ise, geliştirilen en küçük kareler tabanlı geometri uydurma algoritması ile taranan profillere geometri uydurma yapılmıştır. Son olarak da, uydurulan ve tasarlanan geometriler arasındaki profil toleransı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar analiz edildiğinde, profil tolerans değerlerinin imalat tablasındaki konuma ve geometriye bağlı olarak değişkenlik sergilediği görülmüştür ve imal edilen tüm geometriler tasarlanan boyutlarından daha küçüktür. Başka bir ifadeyle tüm geometriler çekmeye maruz kalmıştır. Genel olarak bakıldığında, geometri boyutu arttıkça profil tolerans değerlerinde artış söz konusudur. Tüm geometriler için ortalama profil tolerans değeri 0.1987 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerın yarısı, yani  $\approx +0.1$  mm, kadar tarama yollarının kaydırılması ile daha hassas geometriler elde edilebilir.

**Anahtar kelimeler:** Boyut hatası, Eklemeli imalat, Geometri uydurma, Parça çekmesi, Profil toleransı

### Abstract

Part dimensional form errors are among the main problems in additive manufacturing. Part dimensional form errors due to device position errors, part shrinkage, and STL file errors negatively affect productivity. In general, different dimensional form errors may occur in parts according to each device-material-manufacturing parameter-geometry combination. Therefore, the calculation and analysis of these errors is of great importance for end users and device manufacturers. With this scope, in this study, part dimensional form errors were investigated in the manufacturing of parts using ABS material with the Zaxe Z1 device which is an industrial three-dimensional printer. First, a test part accommodating different sizes of circle, square and equilateral triangle geometries was designed. Then, in order to examine the errors that occur according to the position of the test parts on the building platform, a total of 5 test parts were positioned in different regions of the building platform and manufactured. In the third step, all the test geometries on these test parts were scanned with a coordinate measuring machine and their two-dimensional profiles were obtained. In the fourth step, geometry fitting was performed to the scanned profiles with the least squares-based geometry fitting algorithm. Finally, the profile tolerance values between the fitted and designed geometries were calculated. When the results are analyzed, it has been seen that the profile tolerance values vary depending on the location in the building platform and geometry, and all the manufactured geometries are smaller than their designed dimensions. In other words,

<sup>\*a</sup> Kadir KIRAN; kadirkiran@sdu.edu.tr, Tel: (0246) 211 19 16, orcid.org/0000-0002-6109-435X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7304-0594

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-5787-5770

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-5647-1755

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0002-5689-9241

all the geometries were subjected to shrinkage. Generally speaking, there is an increase in the profile tolerance values as the geometry size increases. The average profile tolerance value for all the geometries was calculated as 0.1987 mm. By offsetting the scanning paths by half of this value, i.e.,  $\approx +0.1$  mm, more precise geometries can be obtained.

**Keywords:** Dimensional form errors, Additive manufacturing, Geometry fitting, Part shrinkage, Profile tolerance

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Günümüzde, sanayide kullanılan metal parçaların yerine plastik parçaların kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Gelişen yeni imalat teknikleri ve mekanik özellikleri iyileştirilen yeni nesil plastiklerin kullanımı ile geleneksel metal parçanın yerini giderek plastik parçalar almaktadır (Ashtankar vd., 2016). Akrilonitril bütadien stiren (ABS) yüksek rijitliği, iyi darbe ve aşınma direnci, iyi yalıtım vb. gibi özellikleri sayesinde günümüzde sanayide sıklıkla kullanılan plastik ham maddelerden biridir (Yadav vd., 2019). En yaygın şekilde, uzay ve havacılıkta hem yüksek darbe dayanımı gerektirmeyen stratejik ara bağlantı elemanları olarak Ergiyik Biriktirmeli Eklemeli İmalat (EBEİ) yöntemi ile imal edilip kullanılmaktadır. Bununla birlikte biyomedikal alanında %10-20 doluluk oranlarında ABS malzeme kullanılarak EBEİ yöntemi ile hem kişiye özgü hem de yeterli mukavemette ve hafiflikte protez, ortez vb. gereçler imal edilerek insan-uzuv etkileşimi sağlanabilmektedir. EBEİ yönteminde kullanılan ABS, yukarıda bahsedilen alanlar haricinde endüstride de oldukça sık kullanılmaktadır. Televizyon ve güç donanımı kabinleri, elektrolitik kaplamaya uygun farlar, aynalar, dekoratif eşyalar, tıbbi emme pompaları ve oyuncaklar, darbe dayanımlı tiplerinden güç kutuları, telefon gövdeleri gibi birçok alana hitap etmektedir. Öte yandan, büro-iş makinaları gövde ve parçaları, boru ve bağlantıları, depo ve soğutucu iç astarları, çanta ve bavul (sert görünümde), askeri amaçlı tüfek dipçikleri ve daha birçok parça üretimi yapılmaktadır. Üç boyutlu yazıcı ile özelleştirilmiş ve karmaşık geometriye sahip ABS parçaların herhangi bir kalıp veya takıma ihtiyaç duymadan hızlı bir şekilde imal edilebilmesi, bu parçaların boyutsal doğruluğu, mukavemetleri ve yüzey kalitesi gibi soruları beraberinde getirmektedir (Pascu vd., 2018). Nihai kullanım parçalarının, endüstriyel üretimi için boyutsal doğruluk ve meydana gelen sapmalar bilinmelidir (Knoop & Schoeppner 2017). Parçaların montaj halinde çalışması söz konusu olduğunda, özellikle boyutsal doğruluk oldukça önemli bir faktör haline gelmektedir. İmal edilen parçaların tutarlı bir şekilde çalışabilmesi için tolerans değerlerine ihtiyaç vardır. EBEİ yönteminde nihai parça boyutunu temel olarak cihaz pozisyon hataları,

parça çekmesi ya da büzülmesi ve STL dosya hataları ya da kalitesi etkilemektedir (Bahnini vd., 2020). Bu boyut hataları kullanılan cihaz, malzeme, imalat parametreleri ve geometriye göre farklılık gösterebilmektedir. Literatürde bahsi geçen problemlerin altı çizilerek birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Pennington vd. (2005), Stratasys FDM2000 cihazını kullanarak ABS parçada ortam sıcaklığı, parça boyutu ve tabla üzerindeki konum faktörlerinin boyutsal doğruluk üzerindeki etkilerini incelemiştir. Boyutsal doğruluğun değerlendirilmesi için koordinat ölçme makinesi (KÖM) ve kumpas kullanılmıştır. KÖM ölçüm alması istenilen 135 farklı nokta programlanmış ve bu noktalardan alınan ölçüler ile nominal parçadaki aynı konumların ölçüleri karşılaştırılmıştır. Tabla üzerindeki konumun belirlenen 11 ölçüden 10'u üzerinde anlamlı bir etki ye sahip olduğu belirtilmiştir. Bir başka çalışmada, Melenka vd. (2015) Makerbot Replicator 2 cihazı ile imal edilen standart bir çekme numunesini incelemiş ve numune üzerindeki genişlik, uzunluk, kalınlık değerleri dijital bir kumpasla ölçülerek nominal ölçüler ile karşılaştırılmıştır. Ölçümlerde en yüksek sapmanın %6.05 ile numunenin dar kısmının genişliğinde meydana geldiği ve en düşük sapmanın %0.51 ile numune boyunda olduğu görülmüştür. Sudin vd. (2016) ise Stratasys FDM 400MC yazıcısı için bir çalışma ortaya konmuştur. Yazarlar ABS malzemeden imal edilmiş test numunesinin boyutsal doğruluğu incelenmiştir. Bir plaka üzerinde daire ve dikdörtgen şeklinde kesitler, yarım küre, daire ve dikdörtgen şeklinde yükseltmelerden oluşan test numunesinin unsurları KÖM kullanılarak üç ayrı noktadan üçer defa ölçülmüştür. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak nominal değerlerle arasındaki farklılıklar tayin edilmiştir. Sonuçta, EBEİ cihazının küre silindir ve delik gibi yuvarlak unsurlarda  $\pm 0.127$  mm tolerans aralığının dışında ölçüler imal ettiği görülmüştür. Düz kenarlı kare gibi parçalarda daha yüksek hassasiyet elde edilerek  $\pm 0.127$ mm tolerans aralığının içinde değerler elde edilmiştir. Birden fazla EBEİ cihazının birbirleri ile kıyaslandığı bir çalışmada (Roberson vd., 2013) ise Stratasys uPrint Plus, Bits from Bytes 3D Touch ve Makerbot Replicator, 3D Systems V-Flash ve Solido SD300 Pro üç boyutlu yazıcıları ile imal edilen standart parçaların boyutsal doğrulukları, yüzey kaliteleri, tek ve çoklu inşa zamanları, harcanan malzeme

miktarları ve birim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Test parçası tasarımında dikdörtgen, kare, daire gibi basit geometrilerin kullanıldığı çalışmada, imal edilmiş parçaların ölçüleri KÖM ile alınmış ve bu ölçümler ile standart parçanın teknik resmindeki ölçüler arasındaki fark hesaplanarak kıyaslanmıştır. Belirlenen unsurların ölçümleri ile teknik resim ölçüleri arasındaki farkların mutlak değeri toplanarak toplam fark elde edilmiştir. Sonuç olarak, toplam 4 mm ölçü farkı ile Stratasys uPrint cihazın en az hatalı imalatı gerçekleştirdiği, diğer cihazların ise sırasıyla SD300 için toplam 6 mm, 3D Touch için 12 mm, Replicator için 18 mm ve V-Flash için 25 mm hatalı imalat yaptığı görülmüştür. Farklı cihazların incelendiği diğer bir çalışma da [Hafsa vd. \(2014\)](#) tarafından gerçekleştirilmiştir. FDM 400 ve Makerbot Replicator 2 makineleri ile merdiven şeklinde test parçaları imal edilmiştir. İmalatta PLA ve ABS malzemeleri kullanılmıştır. Elde edilen test parçaları üzerinde 27 hat belirlenerek bu hat çizgilerinin ölçümleri KÖM ile gerçekleştirilmiştir. Test parçalarının ölçümleri ile nominal ölçüler karşılaştırılarak sapmalar tespit edilmiştir. Nominal boyuttan daha küçük değerde olan ölçüler için negatif değer kullanılmıştır. PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha yüksek boyutsal doğruluk elde ettiği görülmüştür. En yüksek boyutsal sapmanın ABS malzemede -0.33667 mm olarak elde edildiği, en düşük değer ise -0.12667mm olarak PLA malzeme için elde edildiği ortaya konmuştur. [Kacmarcik vd. \(2018\)](#) çalışmasında Ultimaker 2+ ve ZEN3D 3B yazıcılarında PLA malzemenin imal edilen parçaların boyutsal doğruluklarını karşılaştırmıştır. Daire ve kare şeklinde delik ve yükseltilerin bulunduğu test parçasının ölçümü için KÖM kullanılmıştır. Ölçümlerde düzlemsel yüzeyler için tüm yüzeyi kapsayan çoklu çizgiler tanımlanmıştır. Dairesel delik ve çıkıntılar için yüzeye eşit dağıtılmış iki veya üç daire profil tanımlanmıştır. Ölçüm verisi için en küçük kareler yöntemine dayalı eğri uydurma algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda için pozisyon, çap ve boyut için en yüksek ve en düşük sapmalar ZEN3D yazıcı için sırasıyla 0.132mm ve -0.528mm, Ultimaker2+ için ise 0.178mm ve -0.358mm olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada elde edilen sapmaların nominal ölçüler ile orantılı olmadığı ve aralarında anlamlı bir korelasyon kurulamadığı belirtilmiştir. Bu nedenle küçük nominal ölçülerde meydana gelen yüzdesel sapmalar daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu değerler ZEN3D için maksimum %2,63 ve minimum %-3,624, Ultimaker 2+ için maksimum %0,203 ve minimum %-3,377'dir. [Alsoufi ve Elsayed \(2018\)](#) tarafından endüstriyel olmayan uygun maliyetli masaüstü bir

3 boyutlu yazıcı ile boyutsal doğruluk ve yüzey pürüzlülüğü üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PLA, PLA+, ABS ve ABS+ malzemeler kullanılarak %100 dolulukta, eni ve boyu 40 mm, yüksekliği ise 15 mm olan numuneler imal edilmiştir. Çalışma neticesinde, PLA+ malzemesi ile en iyi yüzey ve boyut kalitesi elde edilmiştir. [Knoop ve Schoeppner \(2020\)](#) çalışmasında ise silindirik elemanların dış yüzey ve delikleri ulaşılabilir geometrik doğruluk kapsamında incelenmiştir. Bunun için iç ve dış yüzey ölçümü mümkün kılan 3 mm ila 30 mm çaplarında farklı numuneler tasarlanmıştır. Stratasys Fortus 400mc ile ABS-M30 malzemenin imal edilen test numuneleri KÖM ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler en küçük kareler yöntemi ile iç ve dış çapı tanımlayan noktalar için birer daire uydurulmuştur. Çaptaki boyutsal sapma ve iç ile dış sınır çemberi arasındaki radyal fark olan dairesellik tayin edilmiştir. Çalışma sonucunda iç ve dış çap ölçümlerinde ölçüm sapmalarının nominal çap arttıkça arttığı görülmüştür. KÖM datası ile elde edilen her bir geometriye en küçük kareler yöntemi kullanarak optimum geometri uydurma çalışmalarından birini de [Kıran \(2021\)](#) ortaya koymuştur. Çalışmada 3B yazıcı ile daire, kare, dikdörtgen, üçgen ve elips şekilleri imal edilmiş, bu şekillerin ölçümü KÖM ile gerçekleştirilerek 2B profiller elde edilmiştir. Öte yandan, boyutsal doğruluk çalışmaları ile elde edilen verilerin bir standart ile karşılaştırılması verinin anlamlandırılması noktasında büyük bir öneme sahiptir. ISO tolerans sisteminde yer alan uluslararası tolerans (IT) kademelerinin kullanılarak eklemeli imalat ile elde edilen parçaların değerlendirildiği bir çalışma [Minetola vd. \(2016\)](#) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Stratasys Dimension Elite ve Bytes 3D Touch endüstriyel 3B yazıcılarını boyutsal hassasiyetleri açısından karşılaştırmıştır. Bunun için DIN EN ISO 286-1'e göre farklı nominal uzunlukların dikkate alındığı temel şekiller (düzlemsel yüzey, silindir, küre, koni) içeren bir referans parça tasarlanmıştır. Bu numune ABS malzeme ile adı geçen yazıcılarda imal edilmiştir. Elde edilen numuneler KÖM ile her bir şekil için en az 10 noktadan olmak üzere ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar, EBEİ'nin +2,5 mm'ye kadar meydana gelen sapmalarla 11 ile 16 arasında IT sınıflarına ulaşabileceğini göstermektedir. Bu değer aralığı tolerans kademelerinde kaba işlem olarak geçmektedir. Ayrıca mümkün olan en düşük katman kalınlığı kullanılarak en düşük boyutsal sapma değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Farklı eklemeli imalat teknikleriyle elde edilebilecek standart kademesi konusunda bir çalışma ise [Lieneke vd. \(2019\)](#) tarafından

yapılmıştır. EBEİ, seçici lazer sinterleme (SLS) ve lazer hüzme ergitme (LHE) tekniklerinin incelendiği çalışmada, imal edilen test numunelerinin boyutsal doğruluk ve yüzey kaliteleri incelenmiştir. Test numunelerinin düzlük, dikdörtgensellik, paralellik ölçümü için bir plaka, yuvarlaklık, silindiriklik ve eş merkezlik ölçümü için silindirler ve delikler içerecek şekilde tasarlanmıştır. İmal edilen test numuneleri KÖM ve optik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Parçalar için ölçüm alınacak nokta sayıları belirlenerek bu noktaların nominal ölçülerinden sapmaları KÖM ile tespit edilmiş herhangi bir eğri uydurma yöntemi kullanılmamıştır. Çalışma sonucunda, SLS ve LHE tekniklerinin benzer sonuçlar verdiği ve 11 ila 15 IT sınıflarında bir boyutsal doğruluk elde edildiği görülmüştür. Farklı bir bakış açısı ile [Yaman \(2018\)](#) delik geometrilerinin çekme hatalarının telafisi için matematiksel modelleme tabanlı bir yöntem sunmuştur. Çalışma sonucunda, önerilen yöntem sayesinde imal edilen PLA malzemeli deliklerdeki çekme miktarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Aynı yöntem [Dilberoglu vd. \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada delik ve kanal geometrilerine sahip ABS malzemeli parçaların imalatında da kullanılmıştır.

Buraya kadar özetlenen çalışmalardan da görüldüğü üzere EBEİ yöntemi ile imal edilen parçalardaki boyutsal hatalar bu yöntemin temel problemlerinden biridir ve hala üzerinde çalışılmaya ihtiyaç vardır. Çünkü, boyutsal hatalar cihaza, kullanılan malzemeye ve imalat parametresine, geometriye vb. gibi değişkenlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Şu anda endüstride mevcut cihaz, malzeme, imalat parametresi ve geometri göz önünde bulundurulduğunda bu faktörlerin oluşturduğu sonsuz sayıda kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla her bir cihaz-malzeme-imalat parametresi-geometri kombinasyonunda farklı boyut hataları elde edilebilir. Bu hataların tespit ve analiz edebilmeleri için son kullanıcılara ve cihaz imalatçılarına sistematik ve pratik bir prosedür sunmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca son kullanıcı ve cihaz imalatçıları açısından da cihazların hangi toleranslarda parça

imal edebildiğinin ortaya çıkarılması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar hem son kullanıcının cihaz seçimine fayda hem de imalatçı firmanın cihazlarını daha da geliştirmesine katkı sağlayacaktır. Bahsi geçen hedefler çerçevesinde bu çalışmada endüstriyel bir yazıcı olan Zaxe Z1 cihazının ABS malzeme ile parça imalatındaki boyut hataları incelenmiştir. İlk olarak üzerinde farklı boyutlarda daire, kare ve eşkenar üçgen temel geometrilerini barındıran test parçası tasarlanıp, imalat platformunun farklı bölgelerine konumlandırılarak Z Eksen Baskı Sistemleri ve Bilgi Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. (Zaxe) firması tarafından sağlanan imalat parametreleri ile imal edilmiştir. Ardından tüm test parçalarında yer alan geometriler KÖM ile taranarak iki boyutlu profilleri elde edilmiştir. Son olarak da, MATLAB® ortamında geliştirilen bir algoritma ile bu taranan profillere geometri uydurma yapılar tasarlanıp geometriler ile karşılaştırılıp her bir geometriye ait profil tolerans değerleri hesap edilmiştir. Buradan itibaren çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Kısım 2’de geometri uydurma sürecine yer verilmiştir. Kısım 3 deneysel çalışmaları ve profil toleransı elde etme sürecini kapsamaktadır. Son olarak da, Kısım 4’te elde edilen sonuçlar tartışılmalı olarak sunulmuştur.

## 2. Geometri uydurma süreci

### 2. Geometry fitting procedure

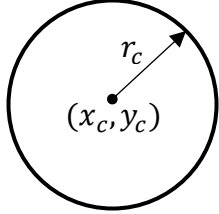
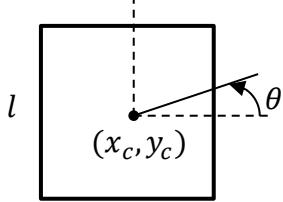
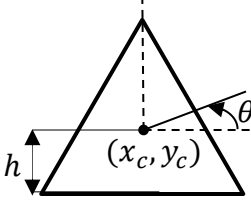
Bu kısımda çalışma kapsamında kullanılan test geometrilerine ve en küçük kareler geometri uydurma işlemine yer verilmiştir.

### 2.1. Test geometrileri

#### 2.1. Test geometries

Eklemeli imalatta ortaya çıkan profil toleranslarını belirleyebilmek amacıyla daire, kare ve eşkenar üçgen olmak üzere 3 adet temel geometri kullanılmıştır. Adı geçen geometrilere ait matematiksel modeller ve ilgili parametreler ([Kıran, 2021](#)) Tablo 1’de verilmiştir. Burada parametre vektöründe yer alan parametreler en küçük kareler yöntemi ile tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Test geometrileri ve matematiksel modelleri  
**Table 1.** Test geometries and their mathematical models

Geometri adı	Matematiksel model	Parametre vektörü	Geometri
Daire	$x = r_c \cos(u) + x_c$ $y = r_c \sin(u) + y_c$	$p = [r_c \ x_c \ y_c \ u]$	
Kare	$x_u = \frac{l}{2} ( \cos(u)  \cos(u) +  \sin(u)  \sin(u))$ $y_u = \frac{l}{2} ( \cos(u)  \cos(u) -  \sin(u)  \sin(u))$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [l \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	
Eşkenar üçgen	$r = \frac{h}{\cos\left(\frac{2}{3} \arcsin\left(\sin\left(\frac{3}{2}u\right)\right)\right)}$ $x_u = r \cos(u)$ $y_u = r \sin(u)$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	

## 2.2. En küçük kareler geometri uydurma

### 2.2. Least squares geometry fitting

Ölçülen ve Tablo 1’de verilen modeller sayesinde elde edilen geometri koordinatları arasındaki hatayı minimum yapan parametre vektörlerini

$$\epsilon(p) = \sum_{i=1}^n [x_i^{\text{ölçüm}} - x_i^{\text{model}}(p)]^2 + \sum_{i=1}^n [y_i^{\text{ölçüm}} - y_i^{\text{model}}(p)]^2 \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de yer alan  $x_i^{\text{ölçüm}}$  ve  $y_i^{\text{ölçüm}}$  ölçülerek,  $x_i^{\text{model}}(p)$  ve  $y_i^{\text{model}}(p)$  matematiksel model ile elde edilen geometri koordinatlarını temsil etmektedir.  $n$  ise toplam veri sayısıdır. Bu geometri

$$p_{q+1} = p_q + h \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Eşitlik (2)’de yer alan  $h$  parametrelerin güncellenme miktarıdır ve bu değer Levenberg-Marquardt yöntemi ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$h = (J^T J + \psi \text{diag}(J^T J))^{-1} (J^T D) \quad (3)$$

Eşitlik (3)’teki  $J$  Jacobian matrisidir ve bu matris sonlu farklar metodu ile hesaplanmıştır.  $\psi$  ise sönüm faktörüdür. Öte yandan,  $D$ :

bulmak amacıyla en küçük kareler yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntemle göre ilk olarak ölçülen ve modellenen koordinatlar arasındaki geometri parametrelerine bağlı hata aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Jia, 2017).

parametrelerine bağlı hatayı en küçük yapan ilgili parametreleri bulmak amacıyla doğru boyunca arama metodu kullanılmıştır. Bahsi geçen yöntemle göre bir sonraki parametre vektörü (Gavin, 2019):



$$D = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix}, D_x = x_i^{\text{ölçüm}} - x_i^{\text{model}}(p), D_y = y_i^{\text{ölçüm}} - y_i^{\text{model}}(p) \quad (4)$$

olarak hesap edilmiştir. Eşitlik (2)'de tanımlanan iteratif süreç aşağıda verilen yakınsama şartını sağlayana kadar devam etmektedir.

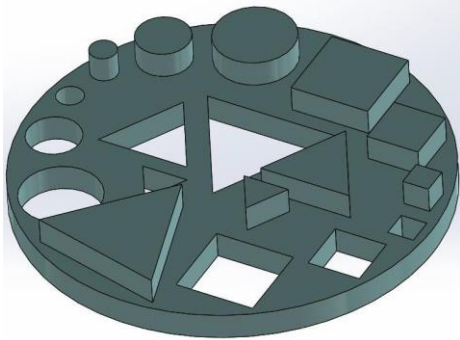
$$\text{maksimum}|J^T D| \leq 10^{-8} \quad (5)$$

Buraya kadar açıklanan süreç MATLAB® ortamında yazılan bir algoritma (Kıran, 2022) ile gerçekleştirilmiştir ve her bir geometri için ilgili geometri uydurma parametreleri tespit edilmiştir.

### 3. Deneysel çalışmalar

#### 3. Experimental studies

Boyutsal doğruluğu ve profil toleransını (PT) belirlemek amacıyla tüm test geometrilerini içeren bir test parçası tasarlanmıştır (Şekil 1). Geometri boyutlarının profil toleransına etkisini incelemek için, bu test parçasına sırasıyla 3 farklı çap ( $r_c = 5, 10, 15$  mm), uzunluk ( $l = 5, 10, 15$  mm) ve yükseklik ( $h = 5, 10, 15$  mm) değerine sahip daire, kare ve eşkenar üçgen geometrileri yerleştirilmiştir. Ayrıca Şekil 1'den görüldüğü üzere adı geçen geometriler dolu ve boş olarak da değerlendirilmiştir.



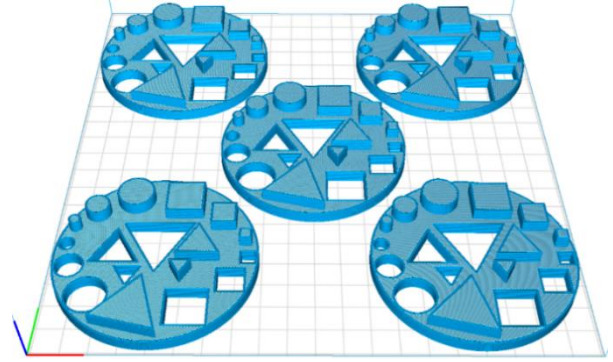
Şekil 1. Tasarlanan test parçası

Figure 1. Designed test part

#### 3.1. Test parçasının imalatı

##### 3.1. Manufacturing of test part

Test parçalarının imalatında EBEİ teknolojisine sahip Zaxe Z1 üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Parçanın yazıcı tablasındaki konumunun boyutsal doğruluğa etkisini araştırmak amacıyla 5 adet test parçası Şekil 2'de görüldüğü gibi yazıcı imalat tablasının farklı konumlarına yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Zaxe xdesktop yazılımında test parçalarının yerleşimi

Figure 2. Layout of test parts in Zaxe xdesktop software

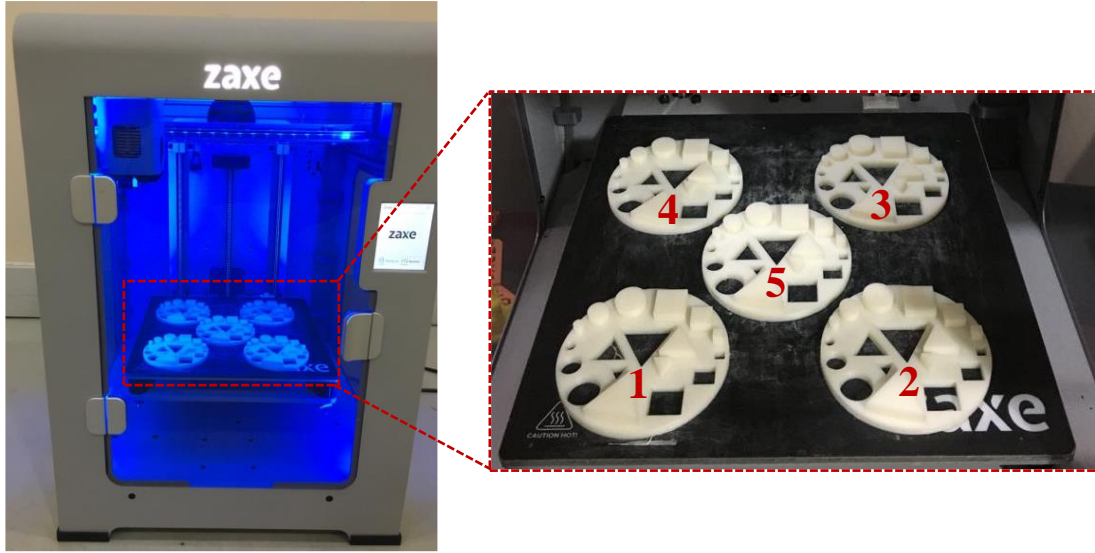
Bu parçaların yerleşimi ve ilgili imalat parametrelerinin tanımlanması (Tablo 2) Zaxe firmasının yerli yazılımı olan xDesktop ile gerçekleştirilmiştir. Test parçaları imalatı için 1.75 mm çapındaki Zaxe ABS filament kullanılmıştır. Bu malzemeye ait imalat parametreleri Zaxe firması tarafından sağlanmıştır.

Tablo 2. ABS filament için imalat parametreleri (nozül çapı 0.4 mm)

Table 2. Manufacturing parameters for ABS filament (nozzle diameter is 0.4 mm)

Parametre	Değer
Baskı Hızı (mm/s)	60
Katman Kalınlığı (mm)	0.1
İlk Katman Kalınlığı (mm)	0.2
Dolgu Deseni	ZigZag
Nozül Sıcaklığı (°C)	243
Tabla Sıcaklığı (°C)	100
Doluluk Oranı (%)	100
Fan Hızı (%)	0

Tablo 2'de verilen parametreler ile test parçalarının imalatı 20 saatte tamamlanmıştır ve 146 gr Zaxe ABS filament harcanmıştır. Şekil 3'te imalatı tamamlanan test parçaları gösterilmiştir. Burada her bir parça konumlarına göre numaralandırılmıştır. Sonuçlar da ilerleyen bölümlerde bu numaralara göre verilmiştir.



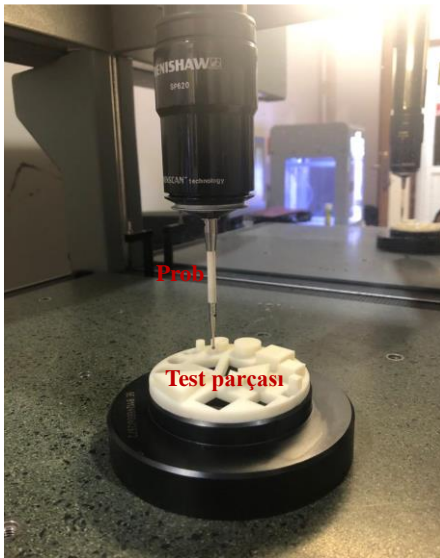
**Şekil 3.** İmalatı gerçekleştirilen test parçaları  
**Figure 3.** Manufactured test parts

Ayrıca, imal edilen parçalara imalat sonrası herhangi bir fiziksel ya da kimyasal son işlem uygulanmamıştır. Test parçaları tabladan ayrılarak KÖM ile ölçümleri yapılmıştır.

### 3.2. Test geometrilerinin ölçümü

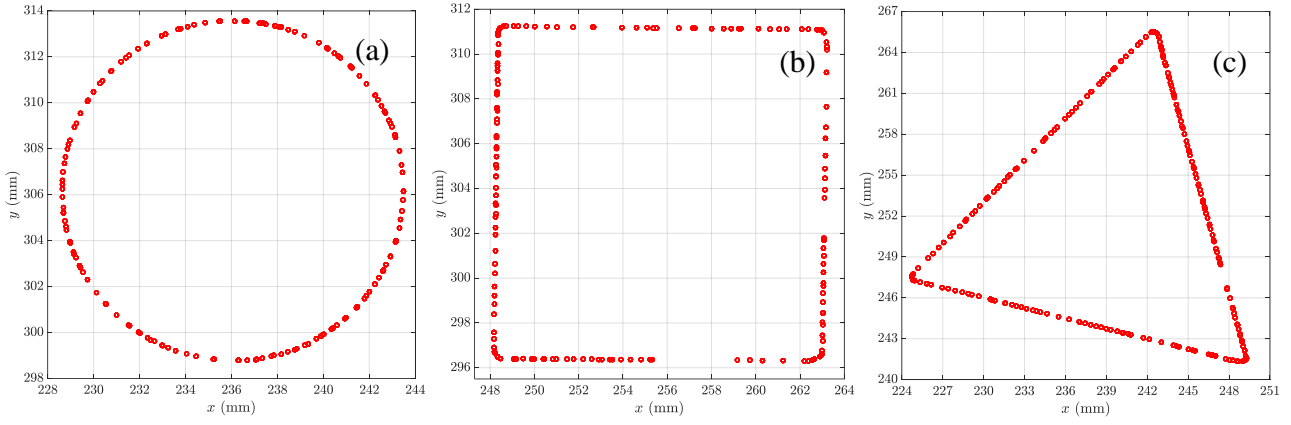
#### 3.2 Measurement of test geometries

İmalatı tamamlanan test parçalarında yer alan geometrilerin profilleri Renishaw Cyclone 2 KÖM ile taranmıştır (Şekil 4). Tüm taramalar 2 mm prob ile 100 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Örnek olması adına bu taramalar sonucu elde edilen her bir geometriye ait tarama verileri Şekil 5'te sunulmuştur.

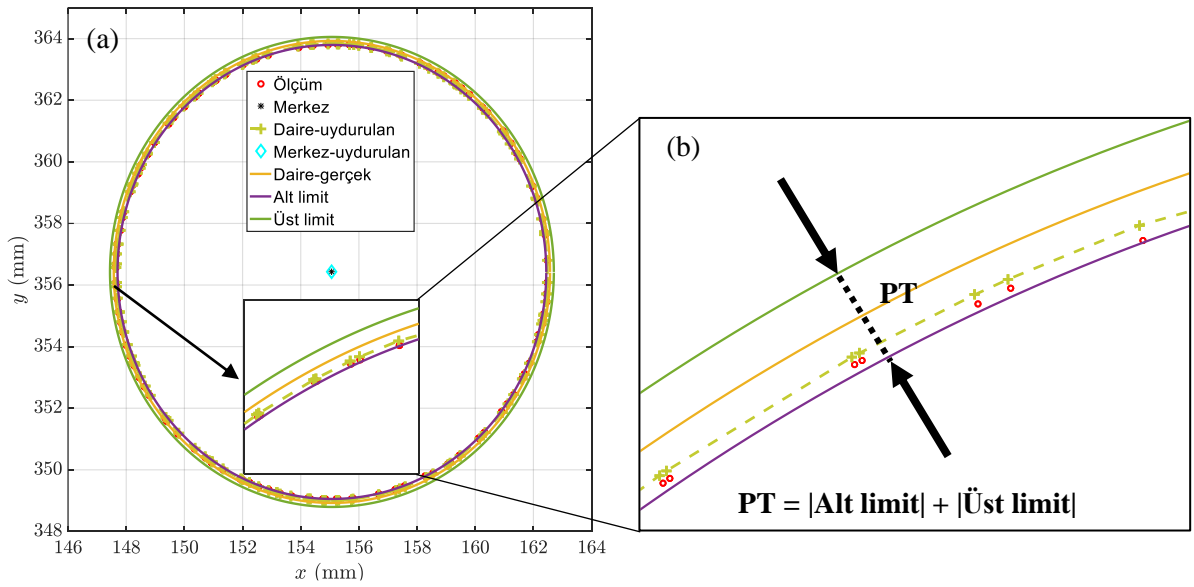


**Şekil 4.** Test parçalarının ölçüm süreci  
**Figure 4.** Measurement procedure of test parts

Profil tarama işlemi ile elde edilen her bir geometri verisi Bölüm 2.2'de açıklanan geometri uydurma sürecine tabi tutulmuştur. Örnek olarak Şekil 6(a)'da bir daire geometri verisi yapılan geometri uydurma karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekle yakından bakıldığında uydurulan daire geometrisinin ölçülen verileri başarı bir şekilde temsil edebildiği görülmektedir. Bu da geometri uydurma algoritmasının başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Ayrıca şekilde ölçülen ve gerçek geometriler arasındaki fark profil toleransı (ISO 1101:(E), 2012) kapsamında değerlendirilmiştir. Adı geçen toleransı belirlemek amacıyla Şekil 6(b)'de görüldüğü gibi alt ve üst geometri limitleri oluşturulmuştur. Profil toleransının tanımı gereği bu limitler tarama verilerindeki her bir noktayı içine alacak şekilde belirlenmiştir. Daha sonrasında bu iki limitin mutlak değerlerinin toplanmasıyla ilgili geometriye ait profil tolerans değeri elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Örnek tarama verileri: (a) Daire (b) Kare (c) Eşkenar üçgen  
**Figure 5.** Sample scanning data: (a) Circle (b) Square (c) Equilateral triangle



**Şekil 6.** Örnek geometri uydurma: (a) Ölçüm, gerçek ve uydurulan geometrilerin karşılaştırılması (b) Profil toleransının belirlenmesi  
**Figure 6.** Sample geometry fitting: (a) Comparison of measured, actual and fitted geometries (b) Identification of profile tolerance

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

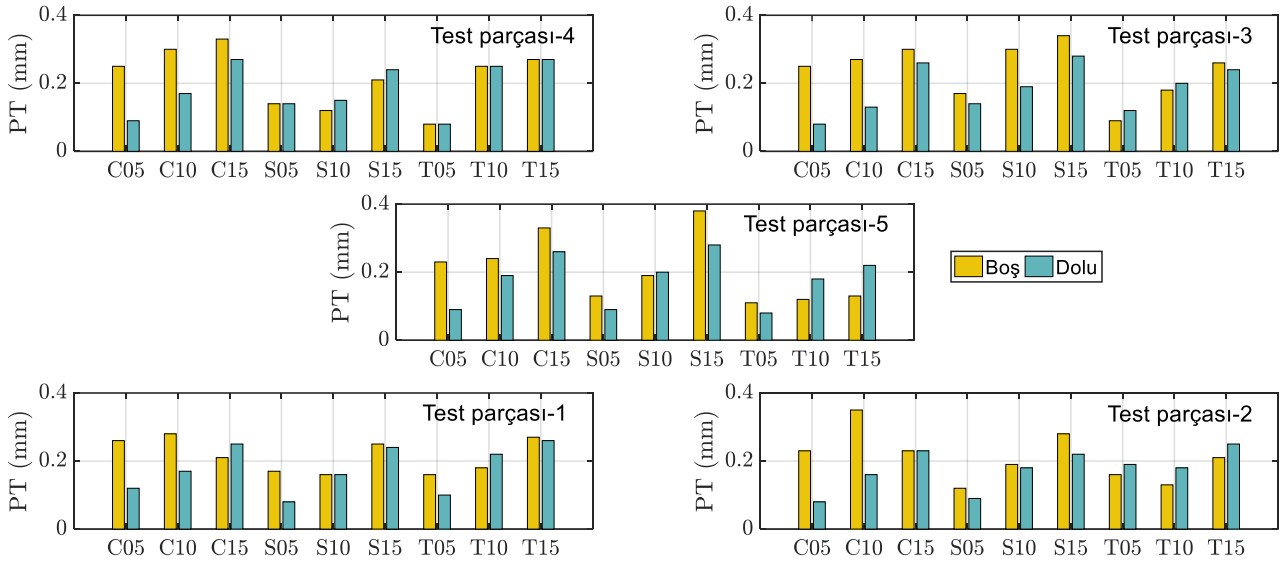
##### 4. Discussion and conclusions

Tüm geometrilere ait profil tolerans değerleri Şekil 7’de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Burada  $r_c = 5, 10, 15$  mm çaplara sahip daireler sırasıyla C05, C10 ve C15,  $l = 5, 10, 15$  mm uzunluklara sahip kareler sırasıyla S05, S10 ve S15,  $h = 5, 10, 15$  mm yüksekliklere sahip eşkenar üçgenler sırasıyla T05, T10 ve T15 olarak tanımlanmıştır. Şekilde verilen tolerans değerlerinin ortaya çıkmasında; cihaz pozisyon hataları, parça çekmesi ve STL dosya hatalarının rolü vardır. Tüm test parçalarında aynı STL dosya kullanıldığından test parçaların tolerans değerlerinin karşılaştırılmasında bu hatayı ihmal edebiliriz. Diğer kalan iki hata kaynağından, cihaz

pozisyon hatasının etkisini farklı pozisyonlarda yer alan test parçalarındaki tolerans değerleri yakından incelenerek görülebilir. Teorik olarak tüm test parçalarındaki ilgili geometrilerin tolerans değerlerinin aynı olması beklenirken, pratikte test parçasının imalat tablasındaki konumuna göre tolerans değerlerinde bir miktar farklılıklar vardır. Örneğin, C10-Boş geometri için test parçaları 1, 2, 3, 4 ve 5 için PT değerleri sırasıyla 0.28, 0.35, 0.27, 0.3 ve 0.24 mm’dir. Bir başka örnek olarak, S15-Dolu geometrisi için sırasıyla  $PT = 0.24, 0.22, 0.28, 0.24, 0.28$  mm’dir. Benzer gözlemler diğer geometriler içinde yapılabilir. Bu farklılıklar çok büyük olmadığından kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Öte yandan, EBEİ teknolojisinin en önemli parça boyut hata kaynağı olan parça çekmesi Şekil 7’de sunulan PT değerlerinin temel sebebi olarak

değerlendirilebilir. EBEİ teknolojisinin doğası gereği ergiyik halde imalat tablasına serilen plastik malzemeler belli bir süre sonra soğuyarak katılaşmaktadır. Bu faz değişimi sırasında serilen plastik malzemede çekme ya da büzülme meydana

gelmektedir ve nihai parçanın boyutları tasarlanan boyutlardan daha küçük olmaktadır. Bahsi geçen çekmenin miktarı temel olarak parçanın soğuma karakteristiğine bağlıdır.



**Şekil 7.** Tüm geometriler için belirlenen profil tolerans değerleri  
**Figure 7.** Identified profile tolerance values for all geometries

Şekil 7'ye genel olarak bakıldığında bu durumu gözlemlemek mümkündür. Başka bir deyişle, beklenildiği gibi PT değerlerinde lineer olmayan davranışlar söz konusudur. Her ne kadar tüm test parçalarının imalat parametreleri aynı olsa da parça boyutuna ve geometrisine, sınır şartlarına, imalat tablasındaki konumuna vb. bağlı olarak soğuma karakteristiği farklılık göstermektedir. Bu da test geometrilerinde ortaya çıkan çekme miktarlarını etkileyerek farklı PT değerine neden olmaktadır. Şekil 7 yakından incelendiğinde, bazı genel eğilimler gözlemlemek mümkündür. Örneğin, dolu daire geometrisi için çap arttıkça tüm test parçalarındaki ilgili PT değerlerinde artış söz konusudur. Bu durum ergiyik olarak tablaya biriktirilen ABS malzeme hacminin artmasıyla nihai parçanın daha fazla çekmesiyle ile açıklanabilir. Daha basit bir anlatımla, parça doldurma desenindeki her bir tarama yolunda biriktirilen ABS malzeme  $l$  uzunluğunda dairesel kesitli bir elastik çubuk olarak değerlendirilirse; çubuğun uzunluğu ile çekme miktarının doğru orantılı olduğu düşünülebilir. Bu davranış matematiksel model olarak Yaman (2018) çalışmasında verilmiştir. Öte yandan, benzer gözlem test parçası 3, 4 ve 5'te yer alan boş daire geometrileri içinde yapılabilir. Tüm test parçalarındaki daire geometrileri incelendiğinde en düşük PT test parçası 2 ve 3'te yer alan C05-Dolu geometrilerinde  $PT = 0.08$  mm olarak elde

edilmiştir. Yani imal edilen dairenin çapı tasarlanandan  $0.04$  mm daha küçüktür. En yüksek PT ise test parçası 2'de yer alan C10-Boş geometrisinde  $PT = 0.35$  mm olarak hesaplanmıştır. Yukarıda yapılan yorum gereği en yüksek PT değeri C15 geometrilerinde çıkması beklenirdi. Fakat imalat süreci lineer olmadığı için ortaya çıkan düzensiz soğuma karakteristiği, düzensiz sıcaklık gradyanları, cihaz pozisyon hatası, geometri yüzey pürüzlülüğünden dolayı KÖM tarama verilerindeki düzensizlikler vb. gibi lineer olmayan durumlardan ötürü beklenin dışında PT değerlerini elde edilebilir. Fakat, genel olarak değerlendirildiğinde tüm test parçalarında yer alan geometrilerin boyutları arttıkça PT değerleri artış sergilemektedir. Öte yandan, genel olarak dolu daire geometrisi boş daire geometrisine kıyasla daha az PT değerine sahiptir. Başka bir deyişle, dolu daire geometrisi olması gereken ölçüye daha yakındır. Her iki durumunda da geometrilerin ve imalat parametrelerinin aynı olmasına rağmen PT değerlerinde farklılıklar olmasının sebebi geometrilerin soğuma karakteristiği ile açıklanabilir. Yani dolu geometriler boş geometrilerle kıyasla daha düzenli ve hızlı soğuma gösterebilir. Başka bir ifade ile, test parçasının bütünü değerlendirildiğinde dolu kısımların termal iletkenliği boş kısımlara göre daha fazladır. Bu da boş geometrilerin kenarlarında ısı transferini oldukça azaltacaktır ve dolayısıyla soğuma hızında

bir düşüş olacaktır. Geometrilerdeki çekme süreci plastiğin camsı geçiş sıcaklığından (ABS için  $T_g \approx 100$  °C) oda sıcaklığına kadar devam ettiği dikkate alınrsa, soğuma hızındaki azalma çekme miktarının artmasına yol açabilmektedir (Bähr & Westkämper, 2018; Hämäläinen, 2017). Benzer yorum, test parçası 1, 2, 3 ve 5 test parçalarında yer alan kare geometrileri içinde yapılabilir. Fakat aynı durum eşkenar üçgen geometrisi için geçerli değildir. Çünkü imalat sırasındaki ısı transferine bağlı olarak ortaya çıkan çekme, parça geometrisini göre oluşturulan tarama yollarına bağlıdır. Tarama yolu boyunca serilen ergiyik plastik geometrilerin konumuna göre farklı miktarlarda çekme gösterebilmektedir. Bu durum yukarıda bahsi geçen soğuma hızından daha baskın olarak nihai çekme miktarlarını etkilediği düşünülmektedir. Bunlara ek olarak, geometri uydurma süreci sırasında her ne kadar tüm geometriler için aynı yakınsama şartı kullanılsa da, geometrilerin test parçası üzerindeki açısal konumlarındaki farklılıklardan dolayı algoritmaya farklı başlangıç parametreleri girilmiştir. Geometri uydurma süreci lineer olmayan bir süreç olduğundan, açısal konumdaki farklılıklar geometri uydurma parametreleri de bir miktar etkilemektedir. Bu da PT değerinde farklılıklara yol açabilir. Öte yandan, kare geometrisi için en düşük PT değeri test parçası 1’de yer alan S05-dolu geometrisinde 0.08 mm olarak elde edilmiştir. En yüksek ise PT = 0.38 mm olarak test parçası 5’de bulunan S15-Boş geometrisinde gözlemlenmiştir. Benzer şekilde eşkenar üçgen için en düşük PT değeri 0.08 mm olarak test parçası 4’de yer alan T05-Boş ve T05-Dolu geometrilerinde görülürken, en yüksek PT değeri ise 0.27 mm (Test parçası 1’de T15-Boş ve Test parçası 4’te T15-Dolu, T15-Boş) olarak tespit edilmiştir. Geometriler kendi arasında değerlendirildiğinde en düşük PT’ler tüm test geometrilerinde 0.08 mm’dir. En yüksek PT değeri olan 0.38 mm ise kare geometrisinde görülmüştür. Tüm bunlar dikkate alınarak daha hassas geometriler elde edebilmeleri için son kullanıcıya pratik bir öneride bulunmak yerinde bir adım olacaktır. Bahsi geçen amaç çerçevesinde, Şekil 7’de verilen PT değerlerinin ortalamasının yarısı kadar (yani  $PT_s = PT_{ortalama}/2 = 0.1987/2 = 0.0993 \approx 0.1$  mm) tarama yolları kaydırılabilir. Bu işlem xDesktop yazılımının ara yüzünde yer alan “XY toleransı” kısmından yapılabilir. Daha önce de belirtildiği üzere geometriler tasarlanan boyutlarından daha küçüktür, dolayısıyla bu kaydırma değeri yazılıma pozitif olarak girilmelidir. Tam tersi olması durumunda da bu değer negatif olmalıdır.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarından ötürü Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM), Tasarım ve İmalat Birimi teknisyenlerine teşekkür ederiz. Ayrıca, Z Eksen Baskı Sistemleri ve Bilgi Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. (Zaxe) firmasına çalışmaya olan katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Kadir KIRAN çalışma konusunun belirlenmesini, geometri uydurma algoritmasının yazılmasını, koordinat ölçme makinesi verilerinin işlenmesini, sonuçların yorumlanmasını ve makale yazımını gerçekleştirmiştir. Bahri ŞEKERCİ ve Yunus Emre DELİKANLI test parçalarının imalatını ve test geometrilerinin koordinat ölçme makinesi ile taramasını gerçekleştirmiştir. Ayrıca tarama verilerinin işlenmesinde, sonuçların yorumlanmasında ve makale yazımında katkılar sağlamıştır. Kemal Burak URGANCI koordinat ölçme makinesi verilerinin işlenmesinde, sonuçların yorumlanmasında ve makale yazımında katkıda bulunmuştur. Baki GEZGEN test parçalarının imalat parametrelerinin temin edilmesinde ve sonuçların yorumlanmasında katkılar sağlamıştır. Son olarak, tüm yazarlar makaleyi tamamen okuyup onaylamıştır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

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

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

- Alsoufi, M. S., & Elsayed, A.E. (2018). Surface roughness quality and dimensional accuracy—a comprehensive analysis of 100% infill printed parts fabricated by a personal/desktop cost-effective FDM 3D printer. *Materials Sciences and Applications*, 9, 11-40. <https://doi.org/10.4236/msa.2018.91002>.

- Ashtankar, K. M., Kuthe, A. M., & Rathour, B. S. (2016). Effect of build orientation on mechanical properties of rapid prototyping (fused deposition modeling) made acrylonitrile butadiene styrene (ABS) parts. *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 11: Emerging Technologies* (pp.1–7), San Diego, California, USA. <https://doi.org/10.1115/IMECE2013-63146>.
- Bahnini, I., Uz Zaman, U. K., Rivette, M., Bonnet, N., & Siadat, A. (2020). Computer-aided design (CAD) compensation through modeling of shrinkage in additively manufactured parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(9), 3999–4009. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-04924-8>.
- Bähr, F., & Westkämper, E. (2018). Correlations between influencing parameters and quality properties of components produced by fused deposition modeling. *Procedia CIRP*, 72, 1214–1219. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.048>.
- Dilberoglu, U. M., Simsek, S., & Yaman, U. (2019). Shrinkage compensation approach proposed for ABS material in FDM process. *Materials and Manufacturing Processes*, 34(9), 993–998. <https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1594252>.
- Gavin, H. P. (2019). The Levenberg-Marquardt algorithm for nonlinear least squares curve-fitting problems. *Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University*, 1–19.
- Hafsa, M. N., Ibrahim, M., Wahab, M. S., & Zahid, M. S. (2014). Evaluation of FDM pattern with ABS and PLA material. *Applied Mechanics and Materials*, 465, 55–59. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.465-466.55>.
- Hämäläinen, J. P. (2017). *Semi-crystalline polyolefins in fused deposition modeling* [Master thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finlandiya].
- ISO 1101:(E) (2012). *Geometrical product specifications (GPS)—geometrical tolerancing—tolerances of form, orientation, location and run-out*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jia, P. (2017). *Fitting a parametric model to a cloud of points via optimization methods* [Ph.D. thesis, Syracuse University, New York, USA].
- Kacmarcik, J., Spahic, D., Varda, K., Porca, E., & Zaimovic-Uzunovic, N. (2018). An investigation of geometrical accuracy of desktop 3D printers using CMM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 393(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/393/1/012085>.
- Kiran, K. (2021). Performance analysis of steepest descent-line search condition combinations in nonlinear least squares fitting of CMM data. *European Journal of Science and Technology*, 28, 1190–1196. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1012096>.
- Kiran, K. (2022). Performance evaluation of a conjugate gradient method considering step length computation techniques in geometry fitting of coordinate measuring machine data. *Measurement*, 196, 111202. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111202>.
- Knoop, F., & Schoepner, V. (2017). Geometrical accuracy of holes and cylinders manufactured with fused deposition modeling. *Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium* (pp. 2757–2776), Austin, Texas, USA. <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/16990>.
- Lieneke, T., Künneke, T., Schlenker, F., Denzer, V., & Zimmer, D. (2019). Manufacturing accuracy in additive manufacturing: a method to determine geometrical tolerances. *Joint Special Interest Group meeting between euspen and ASPE Advancing Precision in Additive Manufacturing Ecole Centrale de Nantes, France*.
- Melenka, G. W., Schofield, J. S., Dawson, M. R., & Carey, J. P. (2015). Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D desktop printer. *Rapid Prototyping Journal*, 21(5), 618–627. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2013-0093>.
- Minetola, P., Iuliano, L., & Marchiandi, G. (2016). Benchmarking of FDM Machines through Part Quality Using IT Grades. *Procedia CIRP*, 41, 1027–1032. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.075>.
- Pascu, N. E., Dobrescu, T. G., Balan, E., Jiga, G., & Adir, V. (2018). Design of ABS plastic components through FDM process for the quick replacement of outworn parts in a technological flow. *Materiale Plastice*, 55(2), 211–214. <https://doi.org/10.37358/MP.18.2.4997>.
- Pennington, R. C., Hoekstra, N. L., & Newcomer, J. L. (2005). Significant factors in the dimensional accuracy of fused deposition modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 219(1), 89–92. <https://doi.org/10.1243/095440805X6964>.

- Roberson, D. A., Espalin, D., & Wicker, R. B. (2013). 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), 201–212. <https://doi.org/10.1080/17452759.2013.830939>.
- Sudin, M. N., Shamsudin, S. A., & Abdullah, M. A. (2016). Effect of part features on dimensional accuracy of FDM model. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(13), 8067–8072.
- Yadav, D. K., Srivastava, R., & Dev, S. (2019). Design & fabrication of ABS part by FDM for automobile application. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2089–2093. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.451>.
- Yaman, U. (2018). Shrinkage compensation of holes via shrinkage of interior structure in FDM process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(5), 2187-2197. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1018-2>.

# İstanbul'da özel konumlarda yer alan bazı son dönem yapıları üzerinden Sinan'ın mimarlığını anlamak

*Understanding Sinan's architecture through some last works in special locations in Istanbul*

Seda KÜÇÜKKATIRCI İŞILDAK\*<sup>1,a</sup>, Feray ALUÇLU<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 38030, Kayseri

<sup>2</sup>Mimarsinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34400, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 16.07.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 05.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 29.08.2022

## Öz

Sinan'ın Selimiye Camii tasarımı sonrasındaki tasarımları kapsayan son dönem eserleri; Sinan'ın geçmiş eserlerinden beslenirken öte yandan farklı tasarım denemeleriyle geçmiş temele yeni bir ufuk kazandırmıştır. Bu dönemde İstanbul dışında bazı yapılarının kalfaları tarafından yapılması; temel ilkelerden sapmalar oluştursa da İstanbul'daki son dönem yapılarının yapım süreçlerinde kalfalarıyla birlikte yer alan Sinan bu dönemde özel önemlere sahip yapıları kente kazandırmıştır. Araştırma kapsamında Sinan'ın hayatının son dönemlerine ait önemli görülen İstanbul kıyısında inşa ettiği ve kent silüetinde en ön katmanda bulunan dört yapısı; Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii, Şemsi Ahmet Paşa Camii, Kılıç Ali Paşa Camii ve Molla Çelebi Camii ve tarihi yarımada bulunan Mesih Mehmet Paşa Camii ve Nişancı Mehmet Paşa Camii incelenecektir. Bahsedilen camilerin kıyı şeridinde ve/veya tarihi yarımada konumlanmış olmasının; plan düzleminde ve cephe kurgusu bağlamında ne tür etkiler ve yönelimler doğurduğu gözlemlenecek olup; aynı zamanda Sinan'ın bu son dönem camilerinde kullandığı taşıyıcı sistem kurgusu ve mekan düzenindeki farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Sonuç bölümünde; çalışma boyunca detaylı incelenen ve önemli kentsel noktalarda bulunan cami ve külliye yapılarında uygulanan tasarım kararları üzerinden Sinan'ın son döneminde klasik dönem mimarlığına getirdiği yenilik ve gelişimler ortaya koyulacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Cami, Mimar Sinan, Sinan'ın son dönemi, Son dönem yapıları, Tarihi yarımada

## Abstract

*Sinan's last works, which include the designs after the Selimiye Mosque design; while being fed by Sinan's past works, the past has brought a new horizon to the foundation with different design experiments. In this period, some of the buildings outside of Istanbul were built by their assistants; Although there were deviations from the basic principles, Sinan, who took part in the construction processes of the last period buildings in Istanbul with his assistants, brought the structures of special importance to the city in this period. Within the scope of the research, the four structures that Sinan built on the coast of Istanbul, which are considered important in the last periods of his life, and which are at the forefront of the city silhouette; Azapkapı Sokullu Mehmet Pasha Mosque, Şemsi Ahmet Pasha Mosque, Kılıç Ali Pasha Mosque and Molla Çelebi Mosque, and the Messiah Mehmet Pasha Mosque and Nişancı Mehmet Pasha Mosque in the historical peninsula will be examined. The fact that the mentioned mosques are located on the coastline and/or on the historical peninsula; It will be observed what kind of effects and orientations it causes in the plan plane and in the context of height; At the same time, the structure of the structural system used by Sinan in these last period mosques and the differences in the layout will be examined comparatively. In the conclusion section; The innovations and developments that Sinan brought to the classical period architecture in his last period will be revealed through the design decisions applied in mosques and complexes in important urban points, which were examined in detail throughout the study.*

**Keywords:** Mosque, Architect Sinan, Last period of Sinan, Last period buildings, Historical peninsula

\*a Seda KÜÇÜKKATIRCI İŞILDAK; sedakucukkatirc@gmail.com, Tel: (0352) 233 17 38, orcid.org/0000-0001-6636-8973

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6844-727X



## 1. Giriş

### 1. Introduction

Sinan, Osmanlı başkenti İstanbul'un kentsel mekanını; sahil şeridinde ve tarihi yarımada'nın önemli noktalarında tasarladığı yapılarıyla dokumuştur. Yüzyıllar boyu hızlı değişim göstermiş İstanbul'da yapıları halen kentsel mekanda ve silüette simgesel nitelikleriyle yer almaktadır. Osmanlı döneminin yükselen mimari üslubunu kentsel mekanda işlemiş ve kent algısını güçlendirmede önemli bir rol üstlenmiştir. Kentin gelişimini yanı sıra uzun yıllar mimarbaşılık yapmasından ötürü kendisi de devrim halinde olmuş; yapısal sistemlerde farklı uygulamalar yapmıştır. Uyguladığı sistemleri kütle'nin dış formuna büyük bir ustalıkla yansıtarak iç ve dış mekanı kaynaştırmış; İstanbul'un kent silüetine etki etmiştir.

Mimar Sinan döneminde İstanbul'un başkent olmasından ötürü; saray yönetimi açısından kentin yapılaşması ayrı bir önem arz etmektedir. Sinan külliye, hamam, cami gibi kamusal yapıları yapma işini üstlenerek kentte kendi katmanını oluşturmuş; aynı zamanda kentli için nefes alan ve yapılarıyla birleşmiş özel mekanlar oluşturmuştur. Osmanlı devletinin teokratik bir yapıya sahip olmasından ötürü cami ve külliye yapıları öne çıkmaktadır. Sinan taşıyıcıları strüktürel manada bir devrim niteliğindeki 6 ve 8 ayaklı baldaken sistem kurgusunu üst düzey estetiğe sahip kubbeye geçiş elemanlarıyla taçlandırmıştır. Bu bakış açısıyla; iç mekanda strüktürün daha çok hissedilmesini sağlarken aynı zamanda kubbe taşıyıcı ayaklarının zemin düzlemine yansımada çokgen düzen eleman sayılarını artırıp daireye yakınlaştırmıştır. Örneğin Selimiye Camii'nin büyük çaplı kubbesini sekizli baldakenle taşıtırken estetikle birleştirmeyi ihmal etmemiştir. Selimiye sonrası başlayan son dönemle birlikte Selimiye'ye nazaran daha küçük ölçekli yapılar tasarlamıştır. Biçim ve boyut gibi tasarım parametrelerinin küçük çapta yeniden yorumlanmalarıyla son dönem yapıları özelleşmektedir. Aynı zamanda son dönem yapılarında Sinan'ın onayından geçen yapılar olsa dahi yardımcıların tasarım kurgusuna etkileri fark edilmektedir. Bu noktada önceki eserlerden ayrılan mimari özelliklerini anlamak mimarlık tarihi açısından önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında ayrıntılı incelenecek olan 6 yapısı Sinan'ın son dönemini anlamak için önemli örneklerdendir. Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii, Şemsi Ahmet Paşa Camii, Kılıç Ali Paşa Camii ve Molla Çelebi Camii yalı cami olarak da tanımlanacak biçimde boğaz kıyısında yer alan; kent silüetinde en önde yer alan yapılarıdır. Mesih

Mehmet Paşa Camii ve Nişancı Mehmet Paşa Camii ise tarihi yarımada'da yükselen dönem örneklerindedir. Bahsedilen yapıların kilit noktalarda yer alması yapılarında farklı tasarımsal uygulamalara neden olmuştur. Yapıları dönem tasarım anlayışı ve çevre/yer bağlamında değerlendirerek son dönem Osmanlı camilerine bakış açısı getirmek mümkündür.

### 1.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı

#### 1.1. Purpose and scope of the study

İstanbul mimarlık tarihi bakımından birçok üsluba ve medeniyete ev sahipliği yapmıştır. İstanbul boğazı odaklı yerleşimlere her dönemde önem verilmiş, bu bölgelerde daha özenli mimari tavırlar sergilenmiştir. Osmanlı döneminin en bilinen mimarı Sinan ise İstanbul boğazıyla ilişkilenen yapılarıyla dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında Sinan'ın İstanbul'da kent silüetinin önemli noktalarında yer alan 6 yapısı incelenecektir. Yapılarda Sinan'ın son dönem yapılarında geçiş yaptığı ve kendini geliştirmesinin temsili 'bütüncül mekan kavramına odaklı mekan organizasyonu' olan cami yapıları ayrıntılı olarak incelenerek mekan gelişimi anlamında da çıkarımlar yapılmıştır. Araştırılacak yapılar cami ve külliye yapılarından oluşmakta olup sırasıyla; Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi, Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii, Fındıklı Molla Çelebi Camii, Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nişancı Mehmet Paşa Camii, Mesih Mehmet Paşa Camii şeklindedir. Yapılardan Mesih Mehmet Paşa ve Nişancı Mehmet Paşa camileri tarihi yarımada'da yer alırken, diğer yapılar İstanbul boğazına yüz veren ve silüette en ön sırada yer alan yapılarıdır. Yapı mimarileri ayrıntılı olarak incelenerek ve karşılaştırmalı analizlerle Sinan'ın bu tasarımlarına konumun etkisi malzeme, cephe düzeni, plan düzeni gibi özellikler üzerinden değerlendirilmiş ve çıkarımları yapılmıştır. Bu sayede Sinan'ın bahsedilen özel konumlardaki son dönem tavrına bir bakış açısı geliştirilerek onu yeniden anlamak hedeflenmektedir. Aynı zamanda Sinan'ın mimarlık serüvenini bütüncül olarak anlamak mimari anlamda gelişimi üzerine yorum yapmak konusunda önemlidir. Bu noktada Sinan'ın strüktürel kurgusu baldaken sistemine, cami ve külliye yapılarında gösterdiği gelişmelere/tercihlere yer verilerek ne tür yollar izlediği ortaya konacaktır. Ek olarak Sinan'ın son dönem mimarlığında uygulama alanında kalfalarının daha aktif olması nedeniyle oluşan uygulamalardaki sapmalar örnekler üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışma, klasik dönem Sinan mimarlığında farklı biçimlerde çeşitlenmeleri göstermesi açısından önemlidir.

## 1.1. Materyal ve yöntem

### 1.2. Material and method

Çalışma kapsamında öncelikle Sinan'ın uzun yıllar sürdürdüğü mimarlığını bütüncül anlamda kavrayabilmek ve Osmanlı mimarisine ne tür yenilikler kattığını anlamak amacıyla cami yapıları üzerine olan akademik çalışmalar taranmıştır. Sinan'ın son dönem eserleri Selimiye sonrası olarak anıldığı için bu yapıların genel özellikleri belirtilmiştir. Kent silüetinde önemli yere sahip tek kubbeli mekan denemelerinin strüktürel temelini oluşturan baldaken kurgusuna değinilerek yapı strüktürü ve gabarisini etkileyen unsurlar tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında Sinan'ın 6 adet son dönem eserinin mimari özellikleri ortaya konmuş olup; yapıların tanımında uydu fotoğrafları plan, cephe ve boğaz ile ilişkisini gösteren görsellere yer verilerek çalışmanın daha anlaşılır hale getirilmesi hedeflenmiştir. Sinan'ın mimari kurgusu ve bu kurguya konumun etkisi bu materyaller üzerinden yorumlanmıştır. İncelenen yapılar karşılıklı değerlendirilerek Sinan'ın denemiş olduğu mimari uygulamalar ortaya konmuştur. Bu sayede, son dönem eserlerine bakış sağlanmıştır.

## 2. Sinan'ın son dönem mimarlığına genel bakış

### 2. An overview of Sinan's late architecture

Sinan mimarbaşı olarak son döneminde önemli eserler vermiştir. Mimar Sinan uzun yıllar süren mimarbaşılığı sürecinde yaptığı eserlerini; gözlemlediği mevcut mimarlık kültürünü derleyerek oluşturmuştur. Ancak bu kültürü tekrardan kaçınmış olup; özgün kalmayı başarmıştır.

Osmanlı mimarlığı Selçuklu ve Bizans mimarilerinden etkilenerek gelişim göstermiştir (Kuban, 2007). Plan kurgusu açısından Selçuklu cami mimarisinde kullanılan merkezi kubbe etrafında şekillenen kapalı sahnınlardan sıyrılarak net mekan oluşturma düşüncesi Osmanlı'da uygulamaya geçmiştir. 15. Yüzyılın ilk yarısına tarihlenen Edirne Üç Şerefeli Camii Selçuklu mimarisinde kapalı sahnınlara yerine açık sahnınlara yerleştirildiği plan kurgusuyla özelleşmektedir. Aynı zamanda yapıda kullanılan altılı baldaken kurgusu yapının strüktürel açıdan gelişkin niteliğini gösterir. Selçuklu mimarisinde sıkça kullanılan çok mekanlı kurgu Osmanlı mimarisinde erken dönemde tercih edilmiştir; ancak 15. Yüzyılın sonlarında inşa edilen İstanbul Davut Paşa Camii ile merkeziyetçi mekanın önemsendiği fark edilmektedir. Eserde kütle plastığı ana kubbe etrafında şekillenmiştir.

Merkeziyetçi kurgu Sinan ile gelişim göstererek Selimiye ile en üst noktaya ulaşmıştır. Osmanlı mimarlığı Türk-İslam mimarisine özgünlük kattığı bir alan ise; Selçuklu mimarlığında genel manada kullanılan devşirme sütun başlıklarının yerini, Osmanlı döneminde Türk-İslam mimarisine göre yorumlanan sütun başlıklarının almasıdır. Bu bağlamda, İznik Yeşil Camii sütun başlıklarıyla ön plana çıkan erken dönem eserlerindedir.

Osmanlı'nın başlangıcından itibaren zengin Anadolu coğrafyasındaki Selçuklu mimarisine ek olarak; Bizans topraklarının fethiyle birlikte İstanbul ve çevresindeki Bizans yapılarından da etkilendiği bilinmektedir. Özellikle dini yapılarda tercih edilen ana kubbeli merkeziyetçi anlayış Bizans eserlerinde temel tasarım parametrelerini oluşturmaktadır. Çok birimli cami örnekleri olarak karşımıza çıkan Edirne Eski Camii ve Bursa Ulu Camii 9 kubbe biriminden oluşan erken dönem eserleridir. Sinan kendinden önce gelen hassa mimarlar gibi merkezi kubbeli Ayasofya'dan etkilenmiştir; strüktürel yapısını kendi mimari çözümleriyle geliştirerek daha az kesit alanına sahip ayaklarla tasarımlar yapmayı başarmıştır. Ayasofya Camii'ndeki gibi kalın payandaları Ayasofya'ya benzetilen Süleymaniye Camii'nde kullanmamıştır. Aynı zamanda Ayasofya'nın üst örtüsünde merkezi kubbenin adeta mıknaş görevi görür şeklindeki diğer kubbelerin yerleşimini etkilemesi Osmanlı cami mimarlığını etkilemiştir. Bizans eseri Küçük Ayasofya Camii'nde uygulanan sekizli baldaken kurgusu yüzyıllar sonra Selimiye Camii'nde uygulanmıştır. Ancak plan şeması bu noktada benzerlik gösterse de, Sinan zaman içinde geçirdiği mimarlık serüveniyle plan şemasını üst seviyelere taşıdığı açıktır. Bir başka kilise ve cami karşılaştırmasına bakılacak olursa; Şehzade Camii'ndeki merkezi kubbeyi taşıyan dört ayak Kalenderhane kilise-camiyi anımsatmaktadır. Bu örnekler genel mimari özellikler bakımından ikinci boyutta benzerlik gösterse de üçüncü boyutta farklılıklar görülmektedir. Bizans ve Osmanlı döneminde İstanbul'un başkent olması iki dönemin örneklerini bünyesinde barındırmayı sağlamış ve kent mimarisini zenginleştirmiştir.

### 2.1. Sinan'ın Selimiye Camii ve sonrası eserlerinin genel özellikleri

#### 2.1. General characteristics of Sinan's Selimiye Mosque and later works

Sinan sürekli geliştirdiği tasarım anlayış düzenini Selimiye Camii'yle birlikte zirve noktaya taşımıştır. Sinan'ın Selimiye Camii tasarımı sonrasındaki tasarımlarını kapsayan son dönem eserleri bir çeşit kendine dönüş ve Selimiye'ye

nazaran daha mütevazî çizgiler içermektedir. Ancak Sinan hiçbir zaman aynılaşmaya düşmemiş her yapısına farklı dokunuşlar ve detaylar ekleyerek özgün düzen oluşturmaktan asla vazgeçmemiştir. Sinan 1571'den sonra ortaya koyduklarıyla oluşturduğu geleneğine yenilikler eklemeye devam etmekte olup, devinim halinde olmaya devam etmiştir (Cansever, 2005).

Ustalık eseri olarak adlandırılan Selimiye Camii; 31,5 metre çapındaki merkezî kubbesi, kütle plastığına yansıyan beden duvarının dört köşesine yerleşen 4 minare gibi özel detaylar içerir. 3 şerefeli minareler adeta kule gibi yükselerek ana kütleyle sarar. Dış silüet doğrudan doğruya iç yapıdan gelişmektedir (Aslanapa, 1988). İç mekanda sekizli baldaken sistemin güçlü duruşu yoğun şekilde hissedilmektedir. Kubbe sekizgeni çaprazlama sonucu oluşan 4 yarım kubbeyle desteklenmektedir. Bu sekiz ayakla taşınan ve bütünleşen destekleme sistemlerinin meydana getirdiği sekiz köşeli tamburun dört köşesindeki dört yarım kubbe; aynı zamanda sekiz köşeli kubbe kaidelerini oluşturur hem de sekiz köşeli kubbe kasnağını taşıyan kare planın ortaya çıkmasını sağlamıştır (Cansever, 2005). Dış mekanda, yapının yüksek boyutlardaki vaziyetini bu dört yarım kubbeyle kademelendirerek Edirne silüetine kazandırmıştır. Sinan; cami ana külesine yakın olarak oluşturduğu şadırvan avlusunda tıpkı iç ve dış mekanda olduğu gibi yoğun süsleme ve bezemeler kullanmıştır.

Sinan, Selimiye Camii ile doruğa ulaştırdığı Osmanlı cami mimarlığını son dönem eserlerinde mütevazilik içerisinde yeniden ele almıştır. Son dönem eserlerinin geneli tek kubbeli ve dörtlü, altılı veya sekizli taşıyıcı sistem kurgusundan oluşmaktadır. Tek kubbeli tasarım kurgusu farklı boyutlardaki yapılarda devam etmiştir ancak hiçbir son dönem eserinde Selimiye'deki ihtişama rastlanmamaktadır. Adeta Klasik dönem Osmanlı mimarlığı Selimiye ile bir doygunluğa ulaşmış son dönemle birlikte yerini daha az iddialı yapılara bırakmıştır. Ancak Sinan'ın izlerini her daim tüm dönem yapılarında görmek mümkündür. Erken, klasik ve son dönemlerde yapılan farklı uygulamalar mimarlık skalası oluşturarak tekrarlardan kaçınmayı sağlamaktadır. Sinan Selimiye Camii'ye kadar geçen süreçte yaptığı mimarlıkla zirveye ulaşmıştır. Son dönemde, Sinan ilerleyen yaşı nedeniyle uygulama süreçlerine yeterince dahil olamamıştır. Bu sebeple; yıllar boyu eğittiği öğrenci/kalfaları tasarım ve uygulama süreçlerine dahil olmuşlardır ve tasarım anlayışı ve ilkelerde bazı sapmalar meydana gelmiştir.

Selimiye sonrasında yapılan eserlerin son dönem olarak ayrılmasının bir nedeni de bu durumdur.

Selimiye tasarımı sonrasında başlayan ve 1586 yılına kadar süregelen son dönemde Sinan'ın halen mimarbaşılığını sürdürmesi ondan tamamen bağımsız tasarımlar yapılmadığının işaretidir. Sinan'ın mimarlık anlayışının devamı niteliğindeki yapılarda temel manada klasik dönemde gelinen seviyeye sadık kalındığı izlenmektedir. Bahsedilen sapmalar büyük değişikliklere neden olmazken Osmanlı mimarlığına zenginlik katmıştır. Selimiye sonrasındaki her eseri, kalfalarının dokunuşları dahi olsa, geçmişle beraber ilerleyerek var olmuşlardır. Bu dönemde yapılan Kadırga Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde genel plan kurgusunda tıpkı Mesih Mehmet Paşa Camii ve Zal Mahmut Paşa Camii'nde olduğu gibi cami revakları ile medrese revakları kopartılarak avlu genişletilmiştir. Kadırga Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde cami ve medrese revakları revak üstlerinde yer alan odalar ile bağlanmıştır. Mesih Mehmet Paşa Camii örneğinde ise cami avlusunun orta noktasında yer alan türbe ise Selimiye öncesinde rastlanan bir uygulama olmamasından ötürü Sinan'ın kalfaları Mimar Davut Ağa'ya atfedilebilir (Erdoğan, 1955). Azapkapı Sokullu Camii örneğinde ise Sinan'ın yapılarındaki yapının orta ekseninden sağlanan giriş mantığı değişim göstererek iki girişe sahip bir cephe düzeni oluşturulmuştur. Bu durumun oluşmasında Sinan'ın kalfalarının payı üzerinde tartışmalar mevcuttur. Ancak tasarım kurgusunda temel bir parametre teşkil eden giriş mekânının Sinan'dan bağımsız olarak karar verilemeyeceği düşüncesi üzerine durulmaktadır. Sinan'ın bu kararı Şehzade Camii'nde de kullandığı cami kullanıcılarını yönlendiren yan kapılar çözümünün bir başka uygulamasıdır (Cansever, 2005). Klasik döneme ait Süleymaniye Camii son dönem eseri Kılıç Ali Paşa Camii'nin plan ve strüktürün genel kurgusunun benzerlik göstermesi Sinan mimarlığının genel manada devam ettirildiğinin göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Son dönem eseri olup olmadığı konusu tartışmalı olan Piyale Paşa Camii örneğinde ise tek kubbeli merkezî yapıdan ayrılarak Bursa Ulu Camii gibi çok kubbeli bir tasarım olarak dikkat çekmektedir, ancak yapıdaki Sinan izlerinden ötürü son dönem eseri olarak kabul eden tarihçiler mevcuttur (Cansever, 2005). Tüm bu örnekler ışığında; Sinan mimarlığından ayrı düşünülemez son dönem yapılarını anlamak, Sinan mimarlığını bütünsel manada anlamak açısından önemlidir.

## 2.2. Sinan'ın altılı ve sekizli baldaken kurgusu

### 2.2. Sinan's six and eight baldachin setup

Sinan, Osmanlı klasik dönem mimarlığında çokça kullandığı kubbenin yükünü taşıyan baldaken kurgusu; Hristiyan mimarisinde görülen Sinan öncesi, Sinan dönemi ve Sinan sonrasında kullanılan vazgeçilmez ve potansiyeli yüksek bir sistemdir. Bu sistemin temelindeki ana fikir özellikle dini yapılarda olmak üzere diğer yapılarıdaki merkezîyetçi mekan oluşturma güdüsüdür. İstanbul tarihi yarımada Bizans kilise örneklerinde görülen tek kubbeli merkezîyetçi yaklaşım Anadolu Türk-İslam mimarisinde Sinan ile birlikte gelişme göstermiştir. İstanbul'da halen var olan Ayasofya Camii, Fethiye kilise-cami, Kalenderhane kilise-cami ve Zeyrek Camii dörtlü baldaken kurguyla kurgulanan naos mekanı tek kubbeyle örtülen Bizans dönemi İstanbul kilise örnekleridir. Öte yandan Sinan'ın çağdaşı Michalengelo'nun St. Peters Bazilikası ve St. Peters Kilisesi dörtlü baldaken kurguya sahiptir. Baldaken sistemin ana strüktürel elemanları ayaklar Michelangelo'nun yapılarında dantel gibi işlenen eğrisel formlara sahipken Sinan'ın yapılarındaki baldaken ayakları daha keskin çizgilere sahiptir denilebilir. Ancak işlenmişliği yansıtan dantelsi nitelik Sinan'ın da tercihi olmuştur. Örneğin Selimiye Camii'nin strüktüründeki kubbeğe geçiş elemanlarında izlenmektedir. Diğer cami yapılarında da Sinan'ın karkas çözümlerini estetikle birleştirdiği izlenmektedir. Özetle; Sinan ve çağdaşı Michalengelo ana malzeme olan taşı dönem mimarilerine özgü biçimde işlemek gayesini gütmüşlerdir.

Baldaken kurgusunda taşıyıcı ayaklara denk gelen payandaların oluşturduğu strüktürel sistemde beden duvarlarının taşıyıcılığı azalırken altılı ve sekizli baldaken kurgusuyla birlikte kemer açıklıkları azaltılarak daha büyük kubbe açıklıkları geçmek mümkün olmuştur. Baldaken sistemde, taşıyıcı ayaklar yapıyı taşıma görevinin büyük bir kısmını üstlendiği için duvarların yükü hafiflemiştir. Bu durum cephe düzeninde yeni

uygulamalar (cephe bölümlenmeleri, pencere boşluklarında özgürlük gibi) anlamına gelmekte olup; silüete yeni yüzler kazandırmıştır (Ersoy, 1989).

Altıgen şemanın ileri düzey hali olan sekizgen şema Sinan'la Osmanlı devrinde yeniden karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Bizans dönemi İstanbul yapısı Küçük Ayasofya Camii'nde sekizli baldaken kurgu izlenmektedir. Selimiye'de de kullanılan sekizli baldaken sistemi son dönem eserlerinde de sürdürülmüştür. Sinan bu sistemle iç mekanda birbirine daha yakın açılarla birleşen kubbe taşıyıcı kemerlerini kubbe merkezi orta nokta olacak biçimde döndürmüştür. Sistem bu etkisiyle iç mekana yeni bir dokunuş kazandırırken estetik açıdan altıgen şemadan daha etkili olmayı başarmıştır.

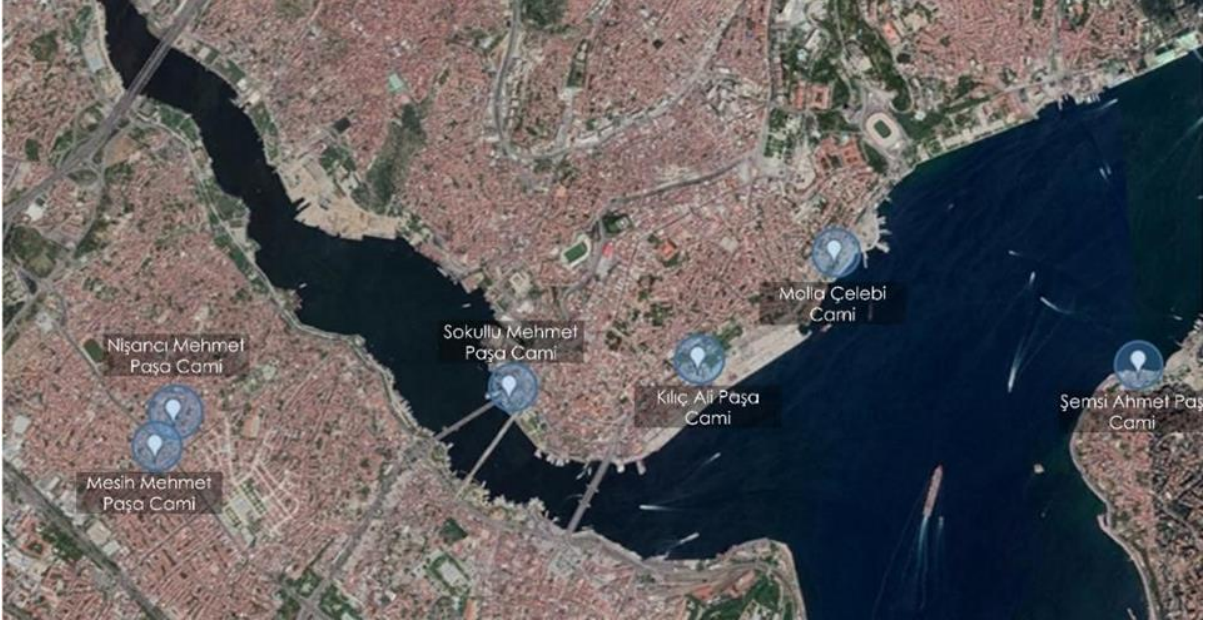
## 3. Sinan'ın özel konumlara sahip bazı son dönem yapılarının konum ve mimari özellikleri

### 3. Location and architectural features of some of Sinan's late period buildings with special locations

#### 3.1. Yapıların konumu

##### 3.1. Location of structures

Sinan hem Osmanlı klasik dönem mimarlığına birçok yenilik getirirken son dönem eserlerinde Selimiye'ye nazaran daha minimal çalışmalar yapmıştır. Çalışmada örnek alınan yapılar Şekil 1'de görüldüğü üzere Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii, Şemsi Ahmet Paşa Camii, Kılıç Ali Paşa Camii ve Molla Çelebi Camii kıyı şeridinde yer almakta olup adeta Sinan'a hediye edilen eserlerdir (Cansever, 2005). Sinan bu yapılarına dokunuşlarında, silüette en ön safta bulunmaları bilinciyle yenilikler uygulamıştır. Araştırma kapsamındaki Mesih Mehmet Paşa Camii ve Nişancı Mehmet Paşa Camii eserleri konum itibarıyla, kentün Osmanlı'yla birlikte kamusal manada yükselen bölgesi "müze-kent" olarak adlandırılabilir tarihî yarımada bulunur. Buldukları alan itibarıyla eğimli topoğrafya ve boğaza yönelim gibi etmenler tasarımlarında etkili olmuştur.



**Şekil 1.** Yapıların konumları  
**Figure 1.** Locations of structures

### 3.2. Yapıların mimari özellikleri

#### 3.2. Architectural features of buildings

##### 3.2.1. Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi

###### 3.2.1. Şemsi Ahmet Pasha Complex

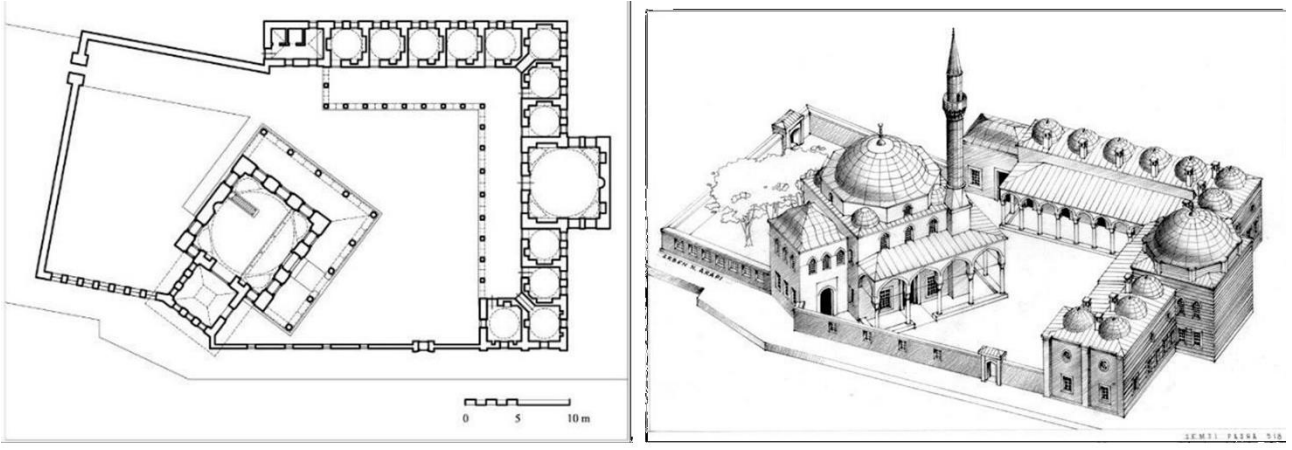
Sinan'ın 1580'de inşa ettiği Üsküdar sahiline bitişik konumlanmış, cami kütesine birleşik türbe, hazire ve medreseden oluşan bir külliye (Cansever, 2005). Yapı; Mimar Bekir'in subaşılığı sırasında yapılan bir yapıdır (Menekşe, 2010).

Şekil 2'de yer alan plan ve üç boyutlu perspektif çiziminde de açılarının farklılaşması dikkat çekmektedir. Medresenin camiye eklenmesiyle yapı diğer dönem yapılarından farklılaşır. Doğan Kuban yapı hakkında: "... Oysa Sinan ve Osmanlı mimarları, mekan tasarımının en çok geliştiği dönemlerde bile, küçük bir camide, kompleks bir mekan şeması düşünmemişlerdir. Sinan Şemsi Paşaya küçük bir cami yaptığı zaman oraya bütün mimarların 14. yüzyıldan bu yana kullandıkları kare planlı tromplu bir kubbeli bir yapı yapmıştır. Cami yapımında, biçimsel simgeselliğin, en azından planlarda izleyebileceğimiz bir simgeselliğin var olmadığını gösteren bu tür sayısız örnek vardır." (Kuban, 1988) diyerek yapının kurgusunun sadeliğini ön plana çıkarmıştır.

Yapı Sinan'ın cami yapılarına nazaran 8\*8 metre harim ölçüsüyle küçük bir cemaate hitap

etmektedir. Camide, merkezîyetçiliği simgeleyen harim kubbesi sekizgen kasağa oturtulmuştur ve çevresini dört yarım kubbe sarar, başka bir deyişle kare planlı cami tromplu kubbe ile örtülüdür. Taşıyıcı ayaklar duvarlara gizlenerek kare planlı harim mekanının hissiyatı güçlendirilmiştir (Aslanapa, 1988). Medrese ile harim günümüzde parmaklıklar vasıtasıyla ayrıştırılmışsa da eskiden iki birimi birbirinden ayıran parmaklığın henesi şekillerle süslenmiş olduğu İstanbul abideleri adlı kitapta belirtilmektedir (Meral, 2020). Yani bu ayırım zaman içerisinde değişiklik göstermiştir. Dış mekanda medrese daha düşük kotta yapıya bağlanmaktadır (Şekil 3). 1938 yılında harap durumdaki cami, 1958'de ise medrese onarılmıştır (Aslanapa, 1988).

Giriş revağı caminin güney ve batı yönlerini sarmakta, kubbelerden oluşturulmamış olup eğimli bir çatıya sahiptir. Bu revak oluşumu Sinan camilerinden yalnızca bu örnekte kullanılmıştır. Öte yandan, bu şekilde 'L' formundaki bir başka cami revağı örneği olmasa da üç kollu revağın 'U' formunun bir çeşidi olduğu ve Sinan'ın 1580 öncesine tarihlenen bu tür örneklerden esinlenmiş olabileceğini düşünmek mümkündür (Kuran, 1988). Külliye bulunan medrese birimlerinin revağı da yine 'L' şeklinde birimleri sarmaktadır ancak plan düzleminde daha büyük bir formla karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 2.** Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi plan ve üç boyutlu görünüm (Necipoğlu, 2005)  
**Figure 2.** The plan and three-dimensional view of the Şemsi Ahmet Pasha Complex (Necipoğlu, 2005)



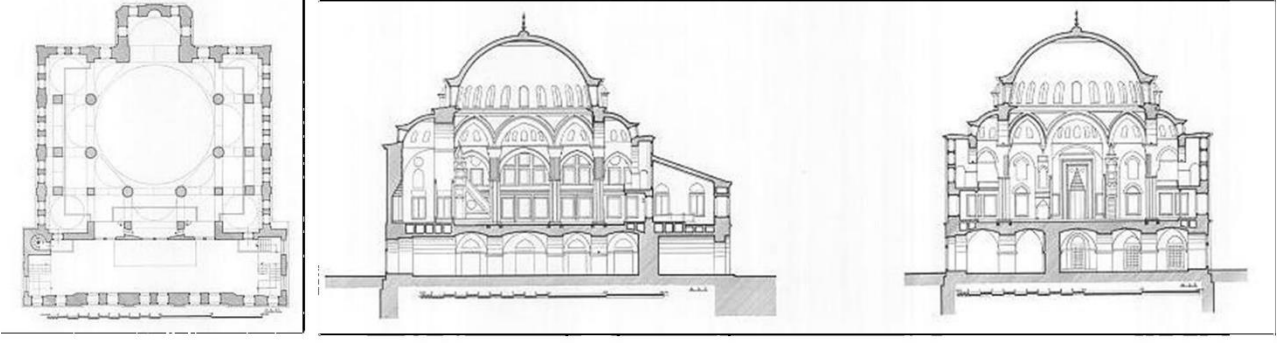
**Şekil 3.** Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi Google uydu görüntüsü ve silüet fotoğrafı (Necipoğlu, 2005)  
**Figure 3.** Şemsi Ahmet Pasha Complex Google satellite image and silhouette photo (Necipoğlu, 2005)

### 3.2.2. Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii 3.2.2. Azapkapı Sokullu Mehmet Pasha Mosque

1577 tarihli yapıya Selimiye Camii'nin küçük çaplı bir uygulaması denebilir (Aslanapa, 1988). Harim mekanında kare orta mekânı üç taraftan mahfiller sarmakta olup; kubbe sekizli baldaken sistemle taşınmaktadır. Giriş duvarının baldaken ayakları Şekil 4'te görüldüğü üzere plan ve cephelerde serbest bırakılmıştır. Cami iç mekân kurgusunda Selimiye Camii'yi anımsatırken (Menekşe, 2010), Selimiye'den ayrışan yanı; Selimiye'nin kubbesinin 4 köşe trombu ile desteklenirken, sekizgen kubbe kaidesi iki adet yan cephelerde ve girişteki yarım kubbelerle desteklenmiştir (Cansever, 2005). Mihrap nişi yapının cephesinden taşmaktadır ve yarım kubbeyle örtülmektedir (Şekil 5). Kubbenin zemine izdüşümü kare şeklindeki alanın iki yanındaki sofalarla harim mekanına özgünlük katmakta olup, aynı zamanda kible yönünde bir yataylaşma hakimdir. Kısacası; üst örtüde simetriklik hakimdir. Yapının minaresi ana kütlede bağımsız konuşlandırılmıştır.

Yapının planına bakıldığında; sekizli baldaken kurgunun kible duvarına birleşmesi kubbenin örttüğü kısmı saran sağ, sol ve arka sahınlarla özgün bir kurgu oluşturmakta olup, Zal Mahmut Paşa'nın bir türevi olarak değerlendirilebilir (Kuran, 1988).

Doğan Kuban yapının iç ve dış mekânı hakkında: "Sinan'ın yapısında organik olarak bütünleşmiş bir mekânın saf vizyonunu buluyoruz. Selimiye'nin sekizgen baldakenli şeması olağanüstü bir mekansal açınım sergilerken, sekizgenden hareket eden Rönesans kiliseleri, örneğin Milano'da Santa Maria della Passione, Legnano da San Magno gibi yapılar kubbelerin duvarlara oturan basit sekizgen prizma nitelikli mekânlarla karşımıza çıkarlar. Boyut açısından onlara daha yakın olan Azapkapı Sokullu Camii, mekân örgütlenmesi açısından Sinan'ın basit geometrileşme'nin sınırlarını, Rönesans mimarına göre nasıl kırdığını çok iyi anlatır." demektedir (Kuban, 1988).



**Şekil 4.** Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii plan ve kesitleri (Necipoğlu, 2005)  
**Figure 4.** Azapkapı Sokullu Mehmet Pasha Mosque plan and sections (Necipoğlu, 2005)



**Şekil 5.** Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii Google uydu görüntüsü ve silüet fotoğrafı (Google Maps, 2021a)  
**Figure 5.** Azapkapı Sokullu Mehmet Pasha Mosque Google satellite image and silhouette photo (Google Maps, 2021a)

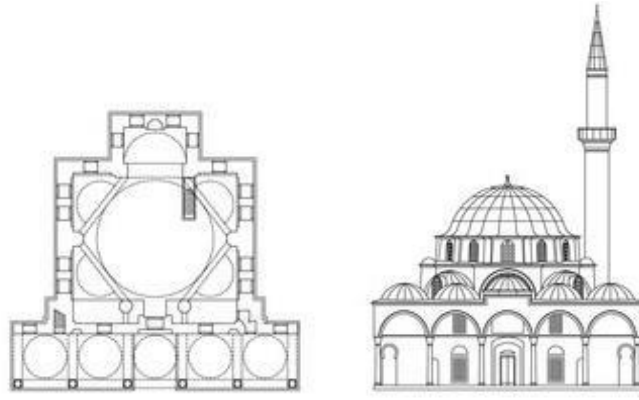
### 3.2.3. Fındıklı Molla Çelebi Camii

#### 3.2.3. Fındıklı Molla Çelebi Mosque

Altıgen baldaken sistemle kurgulanan yapıda; giriş duvarı dışındaki dört taşıyıcı ayak duvarlardan kubbeye doğru yönelmekteyken, giriş duvarı baldaken ayakları duvardan kopartılmıştır (Ersoy, 1989). Başka bir deyişle; Mimar Sinan yalnızca giriş duvarındaki iki baldaken ayağını serbest kurgularken diğer ayaklar beden duvarlarından naifçe çıkmaktadır. Serbest bırakılan ayaklar sekizgen kesitli olup diğer ayaklar yarım sekizgen formundadır, bu ayaklar birbirine tromplarla ve mukamaslı çeyrek kubbe (eksedra) ile bağlanarak bütünsellik kurulmuştur (Bilgili, 2015). Baldaken kenarlarından giriş cephesi dışındaki 5 yöndeki yarım kubbelerle desteklenmektedir (Şekil 6). Kible yönündeki mihrap nişinin üzerindeki yarım kubbeye Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'ndeki oluşum gibi; dışa doğru çıkma yapmaktadır. Plan düzlemindeki mihrap duvarları harim mekanını üç parçaya bölmektedir (Orbeyi, 2016). Öte yandan Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa

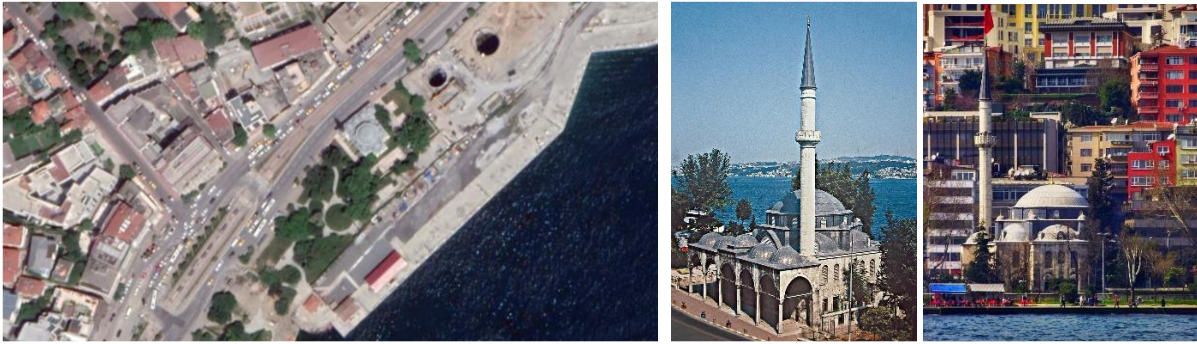
Camii'ndeki yan sahnılar dar oluşturulmuş, kareye yakın bir harim mekanı tasarlanmıştır (Erarslan, 2018).

Yapının kitabesi bulunmaması nedeniyle yapım tarihi konusunda farklı görüşler mevcuttur. Sinan'ın erken dönem veya geç dönem eserlerinden olma ihtimali üzerine yorumlamalar yapılmaktadır. Jale N. Erzen Sinan'ın camilerini mimarlık tarihi açısından incelediği "Mimar Sinan Dönemi Cami Cepheleri" adlı kitabında günümüzde yıkılan yapının hamam bölümünde 1561 yılının geçmesinden dolayı yapıyı bu yıla tarihlenirken (Erzen,1981); Afife ve Selçuk Batur Sinan'ın yapılarını listelediği akademik çalışmalarında yapının 1589 yılına tarihlenmişlerdir (Batur, 1967). Yapı; geç dönem tarihli olması ihtimali üzerinden ilerlenerek çalışma kapsamına alınmıştır. Sahil şeridinde bulunan yapıya giriş beş kubbeli revaktan sağlanmaktadır (Şekil 7). Yapının avlusu geçmiş dönemlerde yapılan yol çalışması nedeniyle yitirilmiştir (Erarslan, 2018).



Şekil 6. Fındıklı Molla Çelebi Camii çizimleri ve eski dönem fotoğrafı (Archnet arşivi, 2020)

Figure 6. Fındıklı Molla Çelebi Mosque drawings and old period photograph (Archnet archive, 2020)



Şekil 7. Fındıklı Molla Çelebi Camii Google uydu görüntüsü ve silüet fotoğrafları (Bowen, 1944a, Kişisel Arşiv, 2020)

Figure 7. Fındıklı Molla Çelebi Mosque Google satellite image and silhouette photos (Bowen, 1944a, Personal Archive, 2020)

### 3.2.4. Kılıç Ali Paşa Külliyesi

#### 3.2.4. Kılıç Ali Pasha Complex

1580 yılında Sinan; hamam, sebil, türbe, medrese ve camiden oluşan Şekil 8'de görülen plan kurgusuyla külliye tamamlamıştır (Aslanapa, 1988). Cami mekanında kubbeyi dört ayakla ve merkezi kubbeyi iki yarım kubbeyle desteklemesi Ayasofya mimarisini anımsatmaktadır (Cansever, 2005). Ayasofya'ya olan benzerlik Şekil 8'de yer alan plan ve cephe çizimlerinde de hissedilmektedir. Sinan'ın Ayasofya örneği üzerinden devam ederek Ayasofya ile yaklaşık olarak aynı kurguyla düzenlenmiş ikinci denemesi olan bu örneğinde Ayasofya, hem üst örtü düzeni ve iç mekan algısı bakımından, hem de genelde Osmanlı camilerinde bulunmayan bazı mekanların eklenmesiyle ve yapısal sorunların giderilmesiyle yeniden yorumlanmıştır (Tuluk, 2007; Bilgiç, t.y.). Bu örneğin tasarımında Sinan; adeta Ayasofya'nın düzenini kendi süzgecinden geçirerek ona yeni perspektifler ekleyerek ilerlemiştir. Cami klasik

dönemde bazilikal cami planının yeniden oluşturulmasıyla öne çıkar (Kuran, 1988).

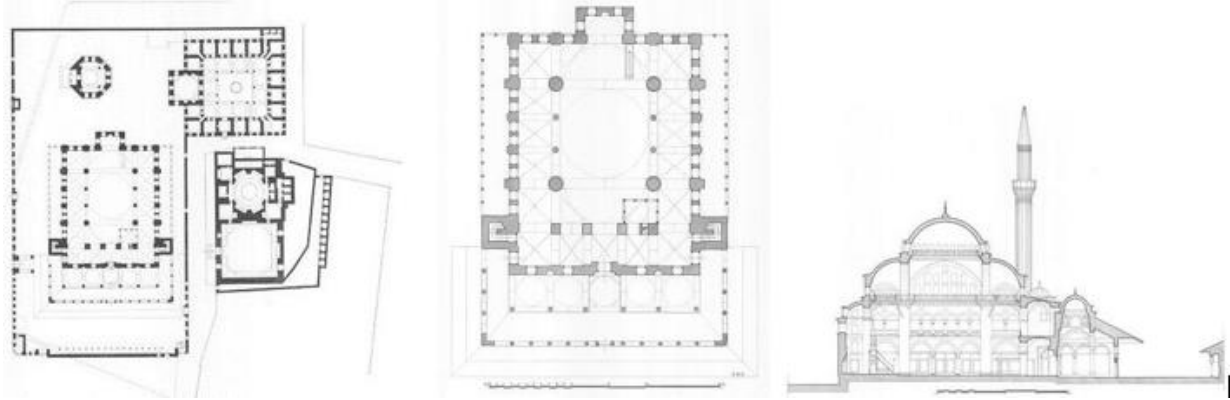
Bilindiği üzere Süleymaniye Camii Ayasofya Camii'ye benzetilen klasik dönem eseridir ancak Süleymaniye sonrası Kılıç Ali Paşa Camii'nde Sinan Süleymaniye'deki gibi sadece iki yarım kubbeyle desteklenen orta kubbeli örtü kullanmamıştır. Yapıda bahsedilen yarım kubbelerin köşeleri küçük kubbelerle desteklenir. Ek olarak; ana kubbenin bastığı büyük kemerleri taşıyan payandaları ve kuzey güney ekseninde uzayan çok sütunlu iç mekân kurgusunu da kapsar. Kılıç Ali Paşa Camii'nin güneyde ve kuzeyde yarım kubbelerle beslenen merkezi kubbeli orta sahını iki yanda ve arkada derin sahnularla kuşatılmıştır (Kuran, 1988). Ayasofya gibi orta nefi geniş tutarak ve iki yarım+bir merkezi kubbeyle taşıması parçalı mekan düzenine ait özelliklerindedir (Kuban, 1988).

Dış mekanda Ayasofya'yı anımsatan dış kütleyle eklenen payandalar, Sinan'ın çoğu son dönem

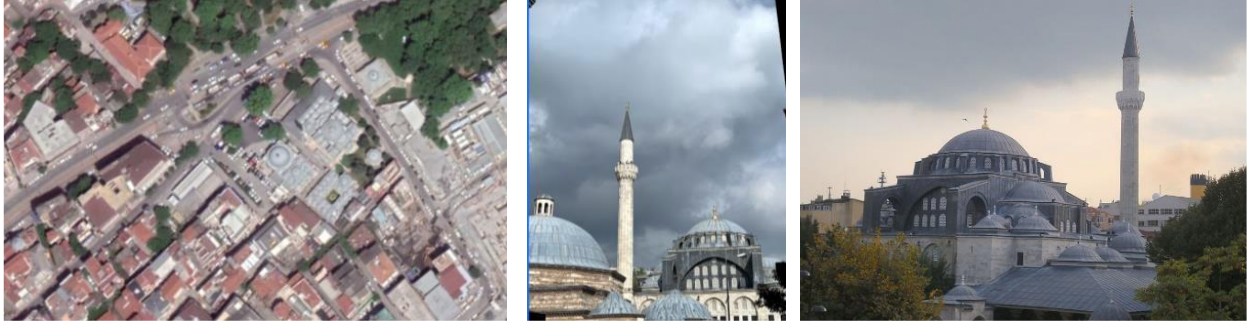


yapısında görülen kubbe yanında konumlandırılan ağırlık kuleleri ve kubbe kasnağı gibi öğeler; strüktürel manada yapı yükünün zemine aktarılmasında kullanılmıştır. Sinan bu öğeleri farklı bakış açıları ve uygulamalar kullanarak yorumlamıştır (Tuluk, 1999; Bilgiç, t.y.). Kılıç Ali Paşa Camii'nin mihrap nişi, Ayasofya'yı anımsatmakla birlikte, kibleye doğru çıkma yapmıştır ve yarım kubbeyle örtülmektedir. Şekil 9'da yer alan cephe fotoğraflarında yapının doğu ve batı beden duvarlarına eklenen minareler plan ve cephe düzenindeki diğer hareketlerdir.

Ayasofya'ya benzeyen iki yapıdan Süleymaniye Camii sonrası Kılıç Ali Paşa Camii'nde Ayasofya planına dönüş ve aynı zamanda bir bitiş noktasıdır (Ögel, 1998). Ayasofya'daki kubbe düzenini Süleymaniye sonrasında bu camide kullanıyor oluşu Sinan'ın yorumlama kabiliyetini gösteren ve genel mimari yaklaşımına ışık tutan bir durumdur (Cansever, 2005). Şekil 9'da yer alan uydu görüntüsünde caminin önünde Sinan sonrası yapılaşmalar görülmektedir ancak Kılıç Ali Paşa Camii bu bölgede dikkat çekmeye devam etmektedir.



Şekil 8. Kılıç Ali Paşa Külliyesi ve cami çizimleri (Ülgen, 1989)  
Figure 8. Kılıç Ali Pasha Complex and mosque drawings (Ülgen, 1989)



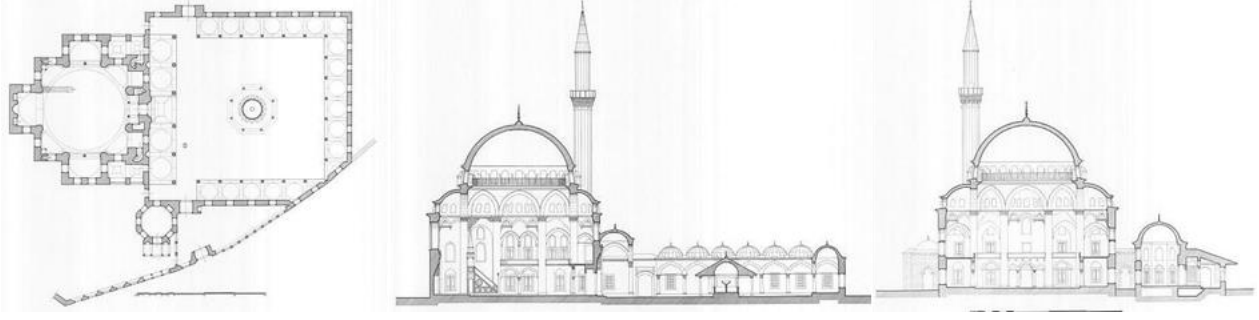
Şekil 9. Kılıç Ali Paşa Camii Google uydu görüntüsü ve silüet fotoğrafları (Google Maps, 2021b)  
Figure 9. Kılıç Ali Pasha Mosque Google satellite image and silhouette photos (Google Maps, 2021b)

### 3.2.5. Nişancı Mehmet Paşa Camii 3.2.5. Nişancı Mehmet Pasha Mosque

1588 yılında yapımı tamamlanan Nişancı Mehmet Paşa Camii, sekizgen baldaken sistemle kurgulanmıştır. Kubbenin izdüşümünde oluşan kare bir mekan üzerine sekiz payenin oluşturduğu sekizgen kaide üzerine oturan merkezi bir kubbeyle örtülmüştür (Ersoy, 1988). Şekil 10'da yer alan plan ve kesit çizimlerinde baldaken sistemin vurgusu dikkat çeken unsurlardandır. Şemsi Ahmet Paşa Camii gibi kare mekan olarak tasarlanan yapıda sekizgen sistemin taşınması için 8 yarım kubbe kullanılmış olup, bu kubbeler dış mekanda

taşma yaparak okunmaktadır. Sinan'ın bu kurgusu Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii ile benzeşmektedir. Ancak kible yönü dışındaki diğer yönlerdeki çıkmalar cepheye hareket kazandırmıştır. Giriş 5 kubbeli revaktan sağlanmakta olup avlunun etrafını revaklar çevrelemektedir (Şekil 11). Avlunun merkezinde sekizgen örtülü şadırvan bulunmaktadır.

Sinan bu yapısının oluşumunda kalfaları Mimar Davut Ağa ve Mimar Mehmet Ağa görevlendirilmiştir; ancak Sinan'ın mimari dili yoğun bir şekilde hissedilmektedir (Aslanapa, 1988).



Şekil 10. Nişancı Mehmet Paşa Camii plan ve kesitleri (Ülgen, 1989)  
Figure 10. Plans and sections of Nişancı Mehmet Paşa Mosque (Ülgen, 1989)



Şekil 11. Nişancı Mehmet Paşa Camii Google uydu görüntüsü ve cephe fotoğrafı (Bowen, 1944b)  
Figure 11. Nişancı Mehmet Paşa Mosque Google satellite image and facade photo (Bowen, 1944b)

### 3.2.6- Mesih Mehmet Paşa Camii

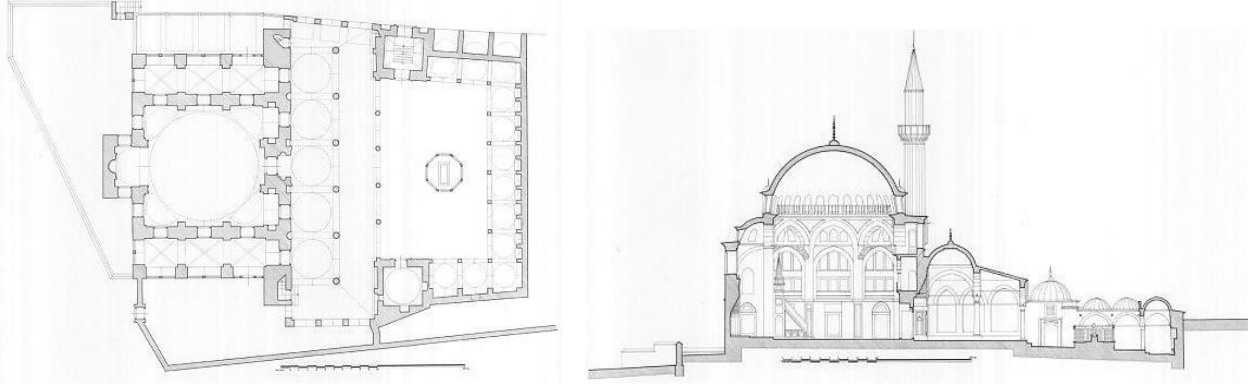
#### 3.2.6- Mesih Mehmet Pasha Mosque

1586 yılında yapımı tamamlanan camide, sekizli baldaken sistem kullanılmış olup taşıyıcı ayakların yapı duvarlarıyla birleşik vaziyettedir ve Şekil 12'de plan kurgusu mevcuttur (Ersoy, 1989). Sekizgen kaideye oturtulmuş kubbe 5 yarım kubbeye desteklenmiştir. Sekizli baldaken kurgunun 8 taşıyıcı ayağı serbest bırakılmamış, yarıdan fazlası beden duvarına gömülü olarak oluşturulmuştur. Bu taşıyıcı ayaklar üst kat planında kısmen açığa çıkarak adeta sergilenmektedir. Orta kubbenin dört köşesinde dört eksestra yer almaktadır (Şengün, 2015). Harim mekanında kubbe kare bir mekan tanımlamakta olsa da ana mekan dikdörtgen biçimindedir. Doğu-batı ekseninde iki adet yan sahin bulunması dikdörtgen formun nedenidir (Aslanapa, 1988). Bu sahinler aynı zamanda 1. Kat planında galeri olarak kullanılmaktadır.

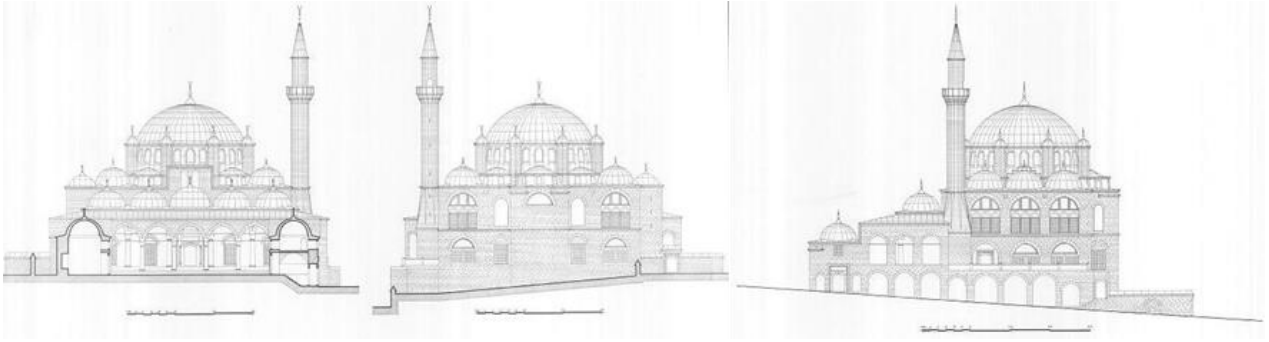
Yapının inşasında Mimar Davut Ağa görevlendirildiği bilinmektedir. Yapıda hem Sinan'ın hem de Mimar Davut Ağa'nın ortak çalışması olarak bakmak mümkündür; çünkü ikisinden de izler barındırır (Şengün, 2015). Camiye giriş beş kubbeli son cemaat mahalinden

sağlanır. Mahalin önüne konuşlandırılan ahşap çatılı revak da yine önemli farklılıklardandır (Kuran, 1988). Şekil 13'te yer alan cephe çizimlerinde revaklar dikkat çekmektedir. Cami avlusunda medrese birimleri ve avlunun ortasında şadırvan yerine sekizgen türbenin bulunması açısından yapı özelleşir (Aslanapa, 1988). Sinan'ın diğer eserlerinden görülmeyen bu oluşumun, Mimar Davut Ağa'nın inisiyatifinde geliştiği öne sürülmektedir (Kuran, 1988). Üç yanında medrese birimleri bulunmaması; Sinan'ın diğer külliye yapılarında olmayan bir özelliktir (Kuran, 1988). Aynı zamanda sokağın doğrultusuna göre biçimlenen Şekil 14'te izlenen batı cephesindeki üç birim günümüzde satış birimi olarak kullanılmaktadır (Aslanapa, 1988). Günümüzde bu dükkanlar işlevini sürdürmektedir. Ek olarak; avlunun yan tarafında bulunan şadırvanlar ve özgün çözümleri olan bir külliye hali olarak karşımıza çıkmaktadır. Avluya giriş; batı ve güney yönlerinde açılan birer basık kemerle sağlanır (Menekşe, 2010). Batı cephesinin üzeri çapraz tonozla örtülmüş olup bu kısmın üzerine kayyum odası yerleştirilmiştir (Şengün, 2015).

1894 depreminde hasar gören cami (Şengün, 2015); 1936 ve 1955 yıllarında onarılmıştır (Menekşe, 2010).



Şekil 12. Mesih Mehmet Paşa Camii plan ve kesiti (Ülgen, 1989)  
Figure 12. Plan and section of the Messiah Mehmet Pasha Mosque (Ülgen, 1989)



Şekil 13. Mesih Mehmet Paşa Camii cephe çizimleri (Ülgen, 1989)  
Figure 13. The facade drawings of the Messiah Mehmet Pasha Mosque (Ülgen, 1989)



Şekil 14. Mesih Mehmet Paşa Camii uydu görüntüsü ve cephe fotoğrafı (Bowen, 1944c)  
Figure 14. Satellite view and facade photograph of the Messiah Mehmet Pasha Mosque (Bowen, 1944c)

#### 4. Bulgular ve karşılıklı değerlendirme

##### 4. Findings and mutual evaluation

İstanbul'da deniz kıyısına kamusal mekan oluşturan cami ve külliye yapıları yapma tutumu Sinan'la beraber başlamıştır demek mümkündür. Sinan ile başlayan gelenek Mimar Davut Ağa'ya ait Eminönü Yeni Camii'nde de süregelmiştir.

Nitekim ilerleyen yüzyıllarda inşa edilen Ortaköy Cami; denizle iç içe geçmiş bir yalı görünümündedir. Araştırılan yapılardan sahil sınırına en yakın konumdaki Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi, hem kible istikametini hem de sahil çizgisini tutan tasarım kurgusuyla Üsküdar'ın Kız kulesine yönelen burnunu tamamlamaktadır (Ögel, 1988). Yapı o kadar uçta kalmaktadır ki önünden geçen

sahil boyunca uzanan kentsel aks incelerek devam eder. Külliye yapımında tüm bu çevresel verileri önemseyen ve değerlendiren Sinan normalde uyguladığı kurguyu yeniden ele almıştır. Camiye bitişik konumdaki türbe caminin açısını devam ettirirken, medrese birimlerinin oluşturduğu L form camiden farklılaşarak boğaza dik konumlanmıştır. Böylece cami ve medresenin ilişkisi plan düzleminde alışlagelmişin dışında bir görünüme bürünmüştür. Bütün bu külliye birimlerinin yerleşimi sonucu boğaza doğru açılan bir avlu meydana getirilmiştir (Meral, 2020). Bu durumu Aptullah Kuran şöyle nitelemektedir: “Avlu ile deniz arasındaki görsel ilişki doğrudan değil fakat duvara açılan pencereler yoluyla sağlanır. Böylece avluyu kuşatan deniz duvarı her karesinden Boğaz manzaralarının seyredildiği bir resim galerisine dönüşür.” (Kuran, 1988). Şemsi Paşa Külliyesi’ni Boğaziçi su sathına yönlendirerek, mütevazi ama aynı zamanda yüce mimarisıyla zenginleştirerek bir estetik oluşturmaktadır. Tıpkı Selimiye Camii’nde olduğu gibi medrese biriminden çıkışta Selimiye’nin etkileyici mimarisıyla baş başa bırakan Sinan; Şemsi Ahmet Paşa Külliyesi’nde de benzer bir kurgu oluşturmuştur ancak bu külliyedeki dinamik kurgu daha da hissedilirdir. Öyle ki, Sinan, iki kollu medreseden çıkanların camiye yönelmelerini sağlamak, camiye bu iki kolun çevrelediği alanın ortasında yüceltmek istemiş, onun bu arzusu planın oluşumunu belirlemiştir. Sinan sahilde külliye için ayrılmış kıymetli olmakla birlikte alan metrekaresi bakımından kısıtlı olan tasarım alanında külliye birimleri arasındaki koordinasyonda oluşturduğu dinamizmle ferah mekanlar oluşturmuştur. Aynı zamanda birimler arası oluşturduğu açı farklılıkları külliyenin yine dinamizmi hissettiren niteliklerindedir. Özetle, cami küllisinin medreseye nazaran dönerek Boğaz’a doğru yöneliyormuş gibi bir ifade taşıması, Sinan’ın bu eserinde hareket probleminde nasıl yaklaştığını gösteren dikkat çekici özelliklerindedir (Cansever, 2005). Ek olarak malzeme seçiminde camiye küfeki taşından oluştururken medrese birimlerini taş+tuğla malzemeyle ören Sinan medresenin boğaza bakan kısmında küfeki taşı kullanarak silüete daha anlamlı ve özenli bir görünüm katmayı yeğlemiştir (Meral, 2020).

İstanbul boğaz silüetinin Haliç kıyısının silüetinin ön katmanında bulunan Azapkapı Sokullu Camii ise Sinan’ın tıpkı Şemsi Paşa Külliyesi’nde olduğu gibi naif ancak etkili bir düzenle oluşturduğu bir eser olarak karşımıza çıkar. Cansever yapının konumunu şu şekilde değerlendirmiştir: “Azapkapı’nın yeri tersaneye özel bir önem kazandırmak Galata’ya yerleşen yeni Müslüman

nüfusun cami ihtiyacını karşılamak daha da önemlisi Haliç’in güney kısmını tezyin eden abideler dizisine karşı kıyıda küçük de olsa bir odak noktasıyla cevap vererek dengeyi sağlamak amacıyla seçilmiştir” (Cansever, 2005). Yapının avlusunun denize yakın olduğu tahmin edilmekle birlikte Sinan’ın diğer camilerinde pek görülmeyen kapalı son cemaat mahaline ulaşılır; bu mekanda Rüstem Paşa Camii’nde bulunduğu gibi iki adet merdivenle ana mekana çıkılır. Sinan’ın kalfaları caminin inşasında yer almış olup, yine özgün bir özellik olarak camiye iki adet giriş kapısı yerleştirilmiştir. Bu da yine merkezîyetçilikten sıyrılarak yataylaşmanın vurgusu olarak değerlendirilebilir. İki kapı sayesinde kullanıcının odağı merkezi kubbenin ve yan sahnalara ait strüktürel elemanların köşelerdeki hareketli gruplaşmalarına odaklanır (Cansever, 2005). Özetle; bu cephe oluşumunun yapının sahile yüz vermesi nedeniyle, yataylaşma ön plana çıkarılarak Haliç silüetinde ön safta bulunmasından dolayı naif bir karakter yüklendiği yorumu yapılabilir. Haliç cephesine yüz veren cephesi batı cephesi olup bu cephede güney ve doğu cephelerinde olduğu gibi iki sıralı pencere düzeni ve kemerli pencerelerdeki ayna dizisi bulunur. Cephe girişi (kuzey) cephesine doğru bir kırılma yaparak cephede hareket kazandırılmanın yanı sıra silüete katılan anlam zenginleştirilmiştir. Kubbe eteklerindeki kemerli pencereler kemer aynalarıyla süslenmiş ve yarım kubbelere sık yerleştirilmiş adeta dalgalı bir his oluşturulmuş olup; bu oluşumu bütün cephelerde görmek mümkündür. Caminin bulunduğu tasarım alanı sahilde bulunmasına ek olarak burun formunda bir araziye sahiptir. Sinan camiye araziye hafif açılı konumlandırarak camiye giriş cephesinin de Haliç kıyısına yönelmesini sağlamıştır. Bu sayede; camiden çıkan kullanıcıların denizle karşılaşmasını sağlamayı amaçladığını düşünmek mümkündür.

Sahil şeridindeki bir diğer Sinan son dönem eseri Fındıklı’da yer alan Molla Çelebi Camii de Azapkapı Sokullu Camii’ndeki gibi mihrap nişi dış cepheden hissedilmektedir. Ancak Azapkapı’da denize bakan cephe batı cephesiyken, Fındıklı Camii’nde kible yönüdür. Bu sebeple Fındıklı Molla Çelebi Camii’nin ibadet duvarını silüete katkı sağlayan cephedir. Bu cephede dikkat çeken en önemli elemanlar Sinan’ın tasarım gücünü gösterdiği çatı kabuğu ve mihrap nişidir. Sinan altılı baldaken kurguyu mütevazi bir şekilde kullanarak silüette sivrilen bir yapı yapmamış olup; incelenen diğer boğaz kıyısında yer alan cami örneklerinde olduğu gibi göz oranlarını koruyan bir yapı oluşturmayı yeğlemiştir. Yapıda giriş cephesi harici bütün cephelerde üst kat pencere dizisinde

kemerli pencere kullanılarak cepheler zenginleştirilmiştir. Bahsedilen kemerli pencere dizileri çatıda bulunan yarım ve tam kubbelerin çizgilerinin devamı niteliğindedir ve bütünselliği sağlar. Alt pencere dizilerinde dikdörtgen pencere düzeni kullanılmıştır. Ek olarak caminin kat planını örten dört yarım kubbede tıpkı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde olduğu gibi pencereler bulunmaktadır ancak bu pencereler yarım kubbelerden dışa doğru çıkar pozisyonunda oluşturulmuştur.

Kılıç Ali Paşa Camii, ilk birimi Fatih Sultan Mehmed tarafından kurulan top döküm tesislerinin bulunduğu Tophane'nin hemen önünde, deniz kıyısında inşa edilmiştir. Bu mevki, Boğaziçi'nin güney başlangıç noktasında bulunur. Savaş toplarının döküm tesisleri, bu koyun hemen sınırındaki yamaç üzerinde yer alıyor ve dökümü yapılan toplar, meyilden denize doğru kaydırılarak sal ve teknelerle taşınmıştır (Cansever, 2005). Ancak zamanla bu tesisin yerini başka yapılanmalar almıştır. Külliye yapılarında cami yüksek kotlu tasarlanırken diğer düşük kotlu külliye birimleri adeta cami etrafında dönmektedir. Tasarım kurgusunda cami merkezi oluşturmaktadır. İncelenen örneklerden son sahil şeridi yapısı Kılıç Ali Paşa Külliyesi diğer üç boğaz kıyısı camisine oranla daha geride kalmaktadır. Külliye kurgusunda camiyi sahilden en uzak noktaya çeken Sinan böylelikle camiyi yüksek kotlu tasarlamış olup, sahilden bütün külliye birimlerinin görünürlüğünü sağlamıştır. Sinan'ın cami yüksekliğini Ayasofya'ya nazaran daha düşük yükseklikte tercih etmesinin nedeni; Kılıç Ali Paşa Camii'nin sahile yakın konumda yer almasından dolayı olduğu düşünülebilir. Külliye yapıyı oluşturan yapı birimleri caminin etrafını sarmalamakta ve oluşturulan dolu-boş mekan düzeni Sinan'ın tasarım anlayışının seviyesinin göstergesidir. Fındıklı Molla Çelebi Camii'nin bulunduğu doğrusal hatta bulunan külliye ibadet duvarı denize yüz vermektedir. Sinan bu cepheyi yoğun ve kemerli pencerelerle etkili hale getirmiştir. Aynı zamanda bu cephenin bir diğer özelliği olan mihrap nişinin kible yönüne doğru çıkma yaparak yönelmesi yine silüete eklenen önemli katkılardır. Ek olarak; diğer incelenen cami örneklerine göre kubbe kasnağında kullanılan sık pencere dizisi yine cepheyi zenginleştiren bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Caminin Ayasofya'yla benzeşen bir diğer özelliği ise ana kubbeden çıkan kalın kesitlere sahip payandalar olmuştur. Bu payandalar caminin dış kabuğuna ve cephesine etkili ve güçlü bir duruş yüklemiştir.

İncelenen yapılardan tarihi yarımada yer alan ve tasarım kurgusuyla farklılaşan Nişancı Mehmet Paşa Camii'nin yol bölümüne gelen kısmıyla birlikte; 45 derecelik bir yapı duvarı oluşturularak yapısal hareket kazandırılmıştır. Bu oluşum avlu kısmında revaklara denk gelirken, dış mekanda burun formu oluşturmaktadır. Bu tasarım kararında tarihi yarımada'nın kentsel mekan anlamında potansiyelli ve konut dokusu bakımından sıkışık bir alanda bulunuyor olması etkili olmuştur. Çevresinde yer alan yapıların konumlarına ve yola göre açılı başka bir deyişle çapraz yerleşen yapı alana bir dinamizm kazandırmıştır ve insanları karşılayan bir yerleşime sahiptir. Ek olarak dikdörtgen tasarım alanına kible istikameti nedeniyle çapraz yerleşmesi caminin yan mekanlarındaki boşlukların peyzaj alanı olarak kullanılması kentsel alanda nefes alan bir mekan halini almasını sağlamıştır. Aynı zamanda cami planındaki mihrap nişi ve diğer duvar nişleri yine etraftaki konut dokusuyla uyum içerisinde. Cephe karakteristiğinde dikdörtgen formlu ve kemerli pencere dizileri ve kemer aynaları dizileri Azapkapı Sokullu Camii'yi anımsatmaktadır. Batı ve doğu cephelerinde en yüksek cephe kotuna kademeli olarak yükselme sağlanarak hareketlilik sağlanmıştır.

Son olarak incelenen Mesih Mehmet Paşa Camii tıpkı Nişancı Mehmet Paşa Camii gibi tarihi yarımada yer almakta olup; batı doğu ekseninde eğimlenen ve batı cephesindeki dükkanlarının zemin döşeme kotlarının yükselmesiyle düz bir zemin oluşturularak tasarlanmıştır. Böylece cami sokaktan ve dükkân dizisinden kopartılmış, kendi özelinde iç avlusu olan sakin bir mekân dönüşmüştür (Şengün, 2015). İki yola cephesini veren avlu duvarları yolun açısını alarak avlu tamamlamış, geniş-dar açılı dikdörtgen formla avlu sınırlarını oluşturmuştur. Eğimli arazinin en düşük kotundan yükselen cami tasarım kurgusunu tamamlamıştır. Sinan tıpkı Nişancı Mehmet Paşa Camii örneğindeki gibi, doğu ve batı cephelerinde kademelendirme tasarlamış olup yapıya eğimle dost bir görüntü kazandırmıştır. Yapının yükselen kısmı minare ve ana kubbe eğim bakımından düşük kotta yer alırken giriş kısmı yüksek kottan başlatılarak kurgu tamamlanmıştır. Yani; yapıda parçalı hareketler hakim olup cephe sınırlarını hem x hem de y düzlemlerinin farklı katmanlarında okumak mümkündür. Aynı zamanda Kılıç Ali Paşa Camii cephe düzenindeki gibi bu örnekte de cephe düzeninde yapı yüksekliğince oluşturulan kemerler cepheyi parçalara ayırarak etkili bir görünüm elde edilmiştir.

## 5. Tartışma ve sonuç

### 5. Discussion and conclusion

Sinan dahiyane ve eşsiz mimari anlayışıyla yıllar boyu süregelen mimarbaşı görevini devam ettirmiştir. Bu süreç boyunca yetkin tasarım anlayışına sahip olduğunu yapılarında görmek mümkündür. Günümüze ulaşan Osmanlı dönemi mimarisinin tanımlanmasında önemli bir rol üstlenen kamusal yapıların mimarı Sinan ömrü boyunca sürekli bir gelişim/devinim halinde olmuştur. Yapı türlerinden ön plana çıkan anıtsal yapılar cami ve külliye eserleridir. Külliye yapılarına bakıldığında gelişimi ve yenilikleri görmek mümkündür. Örnek vermek gerekirse Topkapı Kara Ahmet Paşa Camii'nde medrese birimleri ilk kez camiyi çevreleyerek tasarlanmış ve yeni bir mimari dilin temelleri atılmıştır. Sinan ilk dönem eserlerinde Selçuklu mimarisinin devamı niteliğinde olan modüler tasarımı sürdürmüş ve parçadan bütüne bir ilerleyiş sergilemiştir. Nitekim cami ve medrese yapıları oluşturulan modüler tasarımla beraber daha bütüncül durmaktadır. Sinan strüktür ve mekan kavramını kendinden önce süregelen baldaken sistemine katkılarda bulunarak ve kendi özgün dokunuşlarıyla yeniden ele almıştır. Bu anlayışla oluşturduğu ilk dönem eserlerine çeşitleme ve yorumlama katarak son dönem yapılarını oluşturan Sinan, dönemi boyunca süreklilik gösteren bir tasarım anlayışı sergilemiştir. Bu durum Sinan'ın düşünsel süreklilik içerisinde olduğunun göstergesidir.

Sinan öncesinde Osmanlı mimarları Selçuklu mimarilerini devam ettirerek geliştirmişlerdir. Bizans topraklarını fetihle birlikte kilise yapılarındaki gelişmiş tasarım kurgusu Osmanlı tarafında etki uyandırmıştır. Mevcut Türk-İslam mimarisini Bizans mimarisi ile harmanlandığı bu süreç Sinan ile gelişimine devam ederek doygunluğa ulaşmıştır. Sinan yeni yapılaşmaya başlayan ve yaşadığı dönemde başkent olan İstanbul'da imar faaliyetleri yürüterek cami ve külliye yapılarıyla ön plana çıkmıştır. Sinan geçmişe sırtını çevirmemiş, geçmişten beslenerek varyasyonlar üretmiştir. Bu bağlamda günümüz Türkiye coğrafyasında mimarlık kültürünün ayrılmaz bir bütün olduğunu söylemek mümkündür. Sinan'ın yapılarında her daim strüktür dikkat çeken bir parametre olmuştur. Sinan öncesinde 15. Yüzyılda dini yapılarda merkezîyetçi mekana ulaşma yönünde tasarımlar gelişmiştir. Türk-İslam mimarisinde strüktür üzerine yeni çözümler uyguladığı en önemli örneklerden Selimiye Camii örneğinde merkezîyetçiliğin hissedildiği o ana kadar yaptığı en büyük kubbe

örneğiyle tündengelim anlayışına sahip merkezîyetçi yapıları temsil eder niteliktedir. Sinan'ın Selimiye sonrası dönem yapıları son dönem eserleri olarak anılmaktadır. Tündengelim anlayışıyla yakalanan ana kubbe etrafında şekillenen kurgu son dönem eserlerine genel olarak hakim olmuş ve merkezî mekan olgusu bu dönemde de önemini yitirmeyerek sürekli yeni ele alışlarla zenginleştirilerek/türevlendirilerek uygulanmaya devam ettirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen Azapkapı Sokullu Camii sekizli baldaken kurguyu İstanbul'a taşınmasıyla özelleşir ve bu kurgunun türevini Nişancı Mehmet Paşa Camii ve Mesih Mehmet Paşa Camii'nde görülmektedir. Sinan'ın ilerleyen yaşı nedeniyle son dönem eserlerini tasarımsal açıdan onayladığını kabul edilmektedir ancak yüksek ihtimalle kalfalarına ait tercihler karşımıza çıkmaktadır. Sinan'ın son döneminin genelinde küçük ölçekli tasarım kurgusu hakim olmuş ve gelişmiş strüktürel tasarımlarıyla birleştirilmiştir. Yapıların küçük ölçekli olmalarının nedeni Sinan'ın kendi içe dönüşü ve uygulamalarının yüksek oranda kalfalarına bırakması olarak yorumlanabilir. Kalfaların eskiye nazaran daha çok söz sahibi olduğu bu dönemde küçük ölçekli yapılarla başlangıç oluşturdukları ihtimali de düşünülebilir. Ancak Sinan'ın öğrencileri eskiye sadık kalmışlardır, Sinan'ın ölümü sonrası kentsel bellekte yer edinmiş yapılar yapmışlardır. Eminönü Yeni Camii ve Sultanahmet Camii Sinan'ın öğrencilerinin yaptığı başarılı örneklerdendir.

Çalışma kapsamında bahsedilen altılı ve sekizli baldaken sistem sayesinde beden duvarlarında daha rahat estetik uygulamalar yapmak mümkün olmuş; bu tavır son dönem yapılarında serbestlik imkanı doğmuştur. Bahsedilen yansımalar sayesinde yapı sınırları mimari biçimin akışına kendisini bırakmıştır. Bu olanaklarla birlikte son dönem yapılarında estetik olarak olgun bir düzeyin sergilendiği görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen Sinan'ın dört yalı camisi ve tarihi yapılarında yer alan iki cami yapısının cephe anlayışları ve tasarım kurgusu incelenmesi ve özel konumlarda yer alan bu yapılarda nasıl bir tasarım anlayışı sergilendiğinin irdelenmesinden beslenerek Sinan'ın son dönemine dair bir kavrayış geliştirmek mümkündür. Sinan her tasarımında olduğu gibi bu yapıların kurgusunda da; çevreyle, kentsel alanla ve yapının kendi birleşimlerinde doğru ilişkiler kurarak, biçim ve strüktür üzerinde egemenlik kurmuştur.

## Yazar katkısı

### Autor contribution

Çalışma birinci yazar Seda KÜÇÜKKATIRCI'nın Erciyes Üniversitesi Mimarlık anabilim dalı doktora eğitimi kapsamında aldığı "Sinan Mimarlığı Üzerine Araştırmalar" dersi kapsamında araştırdığı bir çalışmadır. Çalışmaya değer katan ve yorumlarını/yönlendirmelerini eksik etmeyen Halil Sencer ERKMAN hocaya teşekkürü borç bilirim. İkinci yazar Feray ALUÇLU, çalışmada veri analizi ve yorumlama, makalenin yazılması ve gerekli düzeltmelerin yapılması üzerine destek sağlamıştır.

## Etik beyanı

### Ethical statement

Çalışma etik kurul onayı gerektiren bir çalışma olmadığı gibi, makalede bütün bilgiler akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak hazırlanmıştır.

## Çıkar çatışması

### Conflict of interest

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynaklar

### References

Archnet Arşivi (2020a, 13 Haziran). Fındıklı Molla Çelebi Camii plan ve kesit çizimi, Erişim adresi <https://archnet.org/sites/2779>

Aslanapa, O. (1988). *Mimar Sinan'ın hayatı ve eserleri* (Vol. 80). Türk Kültürünü Araştırma Enstitüsü.

Batur, A., & Batur, S. (1967). Sinan'a Ait Yapıların Listesi. *Mimarlık*, 49, 35-39.

Bilgiç, E.D. (t.y.). Mimar Sinan camilerindeki strüktürel ve mekânsal yorumların mimarlık tarihindeki yeri. *Yapı Dergisi* Erişim Adresi <https://yapidergisi.com/mimar-sinan-camilerindeki-strukturel-ve-mekansal-yorumlarmimarlik-tarihindeki-yeri/>

Bilgili A.E. (2015). "Dünya mirası ve Mimar Sinan" yeni bir turizm rotası büyük usta Mimar Sinan, *Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu Yayını*, ISBN978-975-7641-50-6, İstanbul, Türkiye, 250-254

Bowen, H. (1944a). *İslam Ansiklopedisi*. İstanbul, 1941. Erişim adresi <https://islamansiklopedisi.org.tr/molla-celebi-kulliyesi>

Bowen, H. (1944b). *İslam Ansiklopedisi*. İstanbul, 1941. Erişim adresi <https://islamansiklopedisi.org.tr/nisanci-mehmed-pasa-kulliyesi>

Bowen, H. (1944c). *İslam Ansiklopedisi*. İstanbul, 1941. Erişim adresi <https://islamansiklopedisi.org.tr/mesih-pasa-kulliyesi>

Cansever, T. (2005). *Mimar Sinan* (Vol. 24). Albaraka Türk Yayınları

Erarslan, A. (2018). Mimar Sinan'ın altıgen baldaken sistemli camilerinde taşıyıcı, örtü ve mekân ilişkisi. *Journal of Ottoman Legacy Studies (JOLS)*, 5(13), 31-48. <https://doi.org/10.17822/omad.2018.109>

Erdoğan, M. (1955). *Mimar Davud Ağa'nın hayatı ve eserleri*. Türkiyat Mecmuası, 12, 179-204.

Ersoy, A. (1989). *İstanbul'daki altı ve sekiz destekli camilerimizin gelişimi*. Marmara Üniversitesi, Atatürk Eğitim Fakültesi.

Erzen, J. N. (1981). *Mimar Sinan Dönemi Cami Cepheleri*, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği

Google Maps (2021a, 13 Haziran). Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Cami fotoğrafı, Erişim adresi <https://www.google.com/maps/>

Google Maps (2021b, 12 Haziran). Kılıç Ali Paşa Cami fotoğrafı, Erişim Adresi <https://www.google.com/maps/>

Kuban, D. (1988). *Sinan'ın dünya mimarisindeki yeri*. Vakıflar Yayınları

Kuban, D., & Emden, C. (2007). *Osmanlı mimarisi*. Yapı-Endüstri Merkezi.

Kuran, A. (1988). *Mimar Sinan'ın camileri*. Hürriyet Vakfı Yayınları

Menekşe, Ö. (2010). *İstanbul camileri*. Asbook Yayınları

Meral, S., & Kışal, E. (2020). Mimarlık tarihi ve mimari koruma ara kesitinde bir inceleme: Üsküdar Şemsi Ahmed Paşa Külliyesi. *Art-Sanat Dergisi*, 13, 313-334. <https://doi.org/10.26650/artsanat.2020.13.0013>

Necipoğlu, G., Arapi, A. N., Günay, R., & Güven, G. Ç. (2013). Sinan çağı: Osmanlı İmparatorluğu'nda mimari kültür. *İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları*. <https://doi.org/10.16985/MTAD.201417927>

Orbeyi, N. (2016). Çift revaklı sinan camilerinde modüler sistem. *METU Journal of the Faculty of*

*Architecture*, 33(2). <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2016.2.7>

Ögel, S. (1988). *Sinan'ın mirası*. Vakıflar Yayınları

Şengün, C. F. (2015). Mesih Mehmet Paşa Külliyesi'nde sembolizm. Erişim Adresi <https://iscat.info/PastConferences/ISCAT2015/ISCAT2015/papers/C1-ISCAT2015ID22.pdf>

Tuluk, Ö. İ. (2000). *Mekana bağlı strüktür analizi: osmanlı dini mimarisinde örnekleme (15-17. yy.)* [Doctoral dissertation, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü]

Tuluk, Ö. İ. (2007). Çağdaş cami tasarım anlayışı için bir model olarak Mimar Sinan. *Yapı Dergisi*, 5.1.2007.

Turing ve Otomobil Kurumu. İstanbul

Ülgen, A. S. (1989). Mimar Sinan yapıları (Katalog), yay. haz. F.Yenişehirlioğlu, E. Madran, TTK Yayınları, Ankara.



## Koruge boruların zemin yükleri altında tasarımları ve boru yataklamasının tasarıma etkisi

*Design of corrugated pipes under ground loads and evaluation of the effect of pipe bedding on the design*

**Fatih SAKA<sup>\*1,a</sup>, Taha ORTAKCI<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78600, Karabük

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Safranbolu ŞYDMYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 78600, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 25.01.2022

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 30.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.08.2022

### Öz

Kanalizasyon sistemlerinde kullanılan koruge borular arazi şartları gereği yüksek gömülme derinliğine yerleştirilerek büyük zemin yüklerine maruz kalabilmektedir. Ancak zemin yükleri altındaki boru emniyeti genellikle göz ardı edilmektedir. Zemin yükleri altında koruge boru tasarımında; boruların mukavemeti, boru çevresine yerleştirilen zemin kalitesi ve yerel zemin belirleyici olmaktadır. Koruge borularda geliştirmiş Iowa formülü tasarım hesaplamaları için kullanılmaktadır. Zemin yükleri altında koruge borularda hem yataklama hem de gömlekleme işlemleri tasarımda etkili olmaktadır. Bu çalışmada örnek proje üzerinde riskli olabilecek noktalarda tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada çeşitli yataklama açılarında,  $S_N 4$  ve  $S_N 8$  rijitlikteki koruge boruların yük altında tasarımlarını kolaylaştıracak veriler grafiklerle ortaya konulmuştur. Grafikler ile farklı yataklama durumlarında gerekli zemin reaksiyon modülü değerleri elde edilmiştir. Değerler üzerinden gömlekleme zemin malzemesi ve özelliklerinin belirlenmesi gösterilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, koruge boru tabanı yataklamanın borunun rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Boru yataklama faktörü, Koruge boru, Zemin yüklerinde boru tasarımı

### Abstract

Corrugated pipes used in sewage systems can be placed at high burial depths due to field conditions and can be exposed to large ground loads. However, pipe safety underground loads is often overlooked. In corrugated pipe design underground loads; the strength of the pipes, the quality of the soil placed around the pipe and the local soil are decisive and the enhanced Iowa formula is used for calculations. Underground loads, both bedding and covering processes are effective in the design of corrugated pipes. In this study, design calculations were made at the risky points on the sample project. In the study, data that will facilitate the ground load design of  $S_N 4$  and  $S_N 8$  rigid corrugated pipes at various bedding angles are presented with graphics. With this graphics, soil reaction modules that will occur in different bedding conditions were obtained and it was shown that the covering soil properties were selected according to this value. When the data obtained are compared (evaluated), it is seen that corrugated pipe bedding can be more effective than the stiffness class of the pipe.

**Keywords:** Pipe bedding factor, Corrugated pipes, Pipe design on ground loads

\*a Fatih SAKA; sakafatih@karabuk.edu.tr, Tel :370 418 7036, orcid.org/0000-0003-0956-8658

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-2704-7605

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yol, su, elektrik, gaz, kanalizasyon, çevre, ulaşım vb. unsurların tamamı olarak adlandırılan altyapı tesisleri, gün geçtikçe gelişimini sürdürmektedir. Altyapı çalışmaları denildiğinde akla ilk gelen unsurlardan biri kanalizasyon sistemleridir. Bu çalışmada, özellikle son yıllarda kanalizasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılan koruge borular ele alınmıştır. Dış yüzeyinde dalgalı görüntüsü sebebiyle İngilizce "Corrugated" kelimesinden "Koruge" olarak da isimlendirilen bu tip borular; bazı kaynaklarda hammaddesi olan yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene) kelimelerinin İngilizce baş harflerinin kısaltılması ile "HDPE" olarak da adlandırılmaktadır. HDPE borular sadece atık su ve yağmur suyu iletimiyle sınırlı olmayıp aynı zamanda basınçlı su hatları iletiminde de kullanılabilir.

Kanalizasyon sistemleri projelerinde genel olarak boruların hidrolik hesapları yapılmakta fakat zemin yükleri altında emniyeti göz ardı edilmektedir. Genellikle cazibeli akıtılan kanalizasyon boruları arazi şartları gereği yüksek gömülme derinliğine yerleştirilerek büyük zemin yüklerine maruz kalabilmektedirler. Boruların kapasite üstü yüke maruz kalması durumunda ise göçmeye neden olan; boru cidarının çatlaması, kırılması, burkulması, yüksek çekme gerilmelerinin oluşması ve enine - boyuna doğrultuda eğilmenin ortaya çıkması gibi çeşitli durumlarla karşılaşabilmektedir (Moser & Steven, 2001). Böyle durumlarda ise sokak ve caddelerde, yük altında tahribat gören borular, sağlıklı hizmet veremeyerek toplum hayatının aksamasına ve çevreye zarar verilmesine yol açmaktadır. Muhtemel sorunların önüne geçmek için yapılacak kanalizasyon sistemi çok yönlü değerlendirilerek planlanmalıdır. Bunun için boruların üzerlerindeki zemin yükleri yanında muhtemel trafik yükleri de hesaplanarak tasarım hesaplamaları yapılmalıdır. Bu çalışmada kanalizasyon sistemlerinde kullanılan koruge boruların tasarım ve yapım optimizasyonunu sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca tasarımda boru yataklama unsurunun etkileri karşılaştırılmak istenmiştir.

## 2. Çalışmanın kapsamı

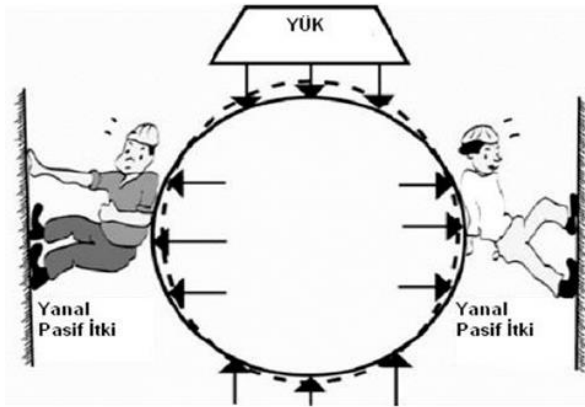
### 2. Scope of the study

#### 2.1. Zemin yükleri altında boruların davranış biçimleri

##### 2.1. Behavior of pipes under soil loads

Borular üzerlerine gelen yüklere karşı verdikleri tepkiye göre esnek veya rijit olarak sınıflandırılmaktadır. Kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan koruge borular esnek boru sınıfında; beton borular ise rijit borular sınıfında yer almaktadır (Ayalp, 2006). Beton boruların rijitlik özelliği koruge borulara nispeten ağır basarken koruge boruların da beton borulara göre süneklik özelliği daha fazla olmaktadır (Watkins, 1999).

Koruge borular her ne kadar esnek boru olarak tanımlansada belirli rijitliği olan alt yapı elemanlarıdır. Belirli bir limite kadar rijit özelliği ve limit üstünde hasar görmeden oldukça esneme yapabilme özelliğiyle yük taşıyan borulardır. Bu borular üzerlerine gelen yükün bir kısmını boru tabanına bir kısmını da yandaki zemine aktarmak üzere tasarlanmaktadır. Koruge borular geri dolgu malzemesi pasif etkileriyle dayanımlarının bir kısmını karşılarlar (Şekil 1) (Terzi, 2007).

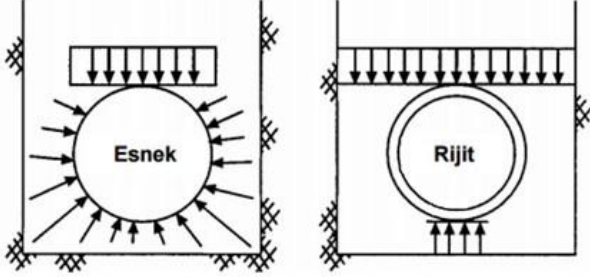


Şekil 1. Esnek boruların yük taşıma prensibi (Terzi, 2007).

Figure 1. Load bearing principle of flexible pipes.

Burada pasif itki etkisi koruge boruların etrafındaki dolgu malzemesinin rijitliği ve malzemenin düzgün yerleştirilmesi ile ilişkilidir. Rijit borular ise hasar görmeden deformasyon yapma kabiliyeti çok düşük olan borulardır. Rijit borular, gelen yükleri kendi dayanımlarıyla boru tabanına aktarmak üzere tasarlanırlar ve zemin pasif itki kuvvetlerinden etkilenmezler. Beton boru ve diğer rijit yapı borularda yükler borunun alt ve üst kısmında yoğunlaşmaktadır. Esnek olarak

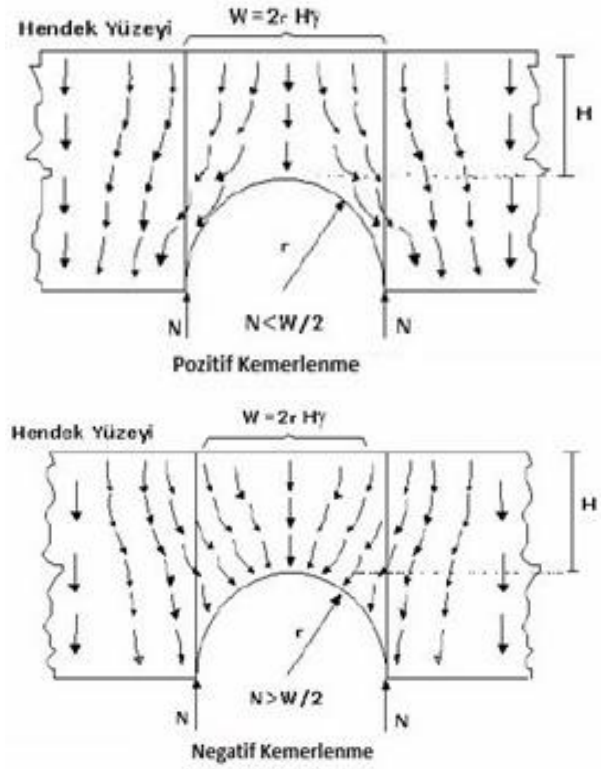
tanımlanan koruge borularda ise yükler borunun tüm çevresine uniform dağılmaktadır (Şekil 2). Bu nedenle esnek borularda borunun tüm çevresine yerleştirilen zemin malzemesi ön plana çıkarken, rijit borularda boru tabanına yerleştirilen zemin malzemesi etkili olmaktadır (Çoban, 2014).



Şekil 2. Esnek ve rijit borularda yük dağılımı (Çoban, 2014).

**Figure 2.** Load distribution in flexible and rigid pipes.

Gömülü boruların performans değerlendirilmesi, boru çevresini kaplayan zemin malzemesiyle yapılmalıdır. Boru üzerine etkiyen yükün belirlenmesinde boru rijitliğinin zemin malzemesi rijitliğine oranı etkili olmaktadır. Eğer boru rijitliği etrafındaki zemin malzemesi rijitliğinin çok üzerinde ise yükün yaklaşık tamamı boru tarafından taşınmaktadır. Rijit olarak tanımladığımız beton borularda mekanizma bu şekilde işlemektedir. Boru üzerinde oluşan basınç birikmesi koruge boruda deformasyon oluşturmaktadır. Boru çevresine yüksek rijitlikte zemin malzemesi yerleştirildiğinde zemin malzemesi yapı üstünde taş kemer gibi işlev görür. Dolgu zeminin bu kemerlenme etkisi pozitif kemerlenme olarak adlandırılmakta ve boru üzerindeki basıncı düşürmektedir. Böylece deformasyon yapabilme kabiliyeti ve çevresindeki yüksek sıklıktaki malzeme etkisiyle hendek yükünün bir kısmını yan dolgulara taşıtabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar esnek boru üzerindeki yükün, aynı şartlardaki rijit boruya gelen yükten çok daha az olduğunu göstermiştir (Spangler, 1966). Pozitif kemerlenme etkisi, zemin malzemesi mukavemetine ve zemin ile borunun etkileşimine bağlıdır. Oysa rijit borular yüksek rijitliği sebebiyle negatif kemerlenme meydana getirmektedir (Şekil 3). Boruya etkiyen düşey toprak basıncı, boru üstündeki zemin prizması ağırlığından büyük olmaktadır. Negatif kemerlenmede yan dolgular boru üzerine oturarak boruya ek bir yük getirmektedir. Bu durumda hendek yükünün neredeyse tamamı rijit boru tarafından karşılanmaktadır (Balkaya, 2001).



Şekil 3. Borularda pozitif ve negatif kemerlenme (Bashir, 2000).

**Figure 3.** Positive and negative arching in pipes.

Şekil 3'de pozitif ve negatif kemerlenme durumlarında boru üzeri zemin prizması ağırlığının boruda oluşturacağı etkiler gösterilmiştir. Boru üzeri toprak yüksekliği H, boru yarıçapı r ve geri dolgunun özgül ağırlığı  $\gamma$  ile ifade edilerek boru orta ekseninde alınan normal kuvvet ile düşey toprak basıncı arasında eşitsizlikler Şekil 3'de belirtilmiştir.

## 2.2. Koruge boruların özellikleri

### 2.2. Features of corrugated pipes

Bu boruların üretiminde TS EN 13476-1 ile TS EN ISO 9969 standartları uygulanmaktadır. Ø 600 çapa kadar olan koruge borular TS EN 13476-1 göre termoplastik grubu içerisinde bulunan polipropilen ve polietilen hammaddesinden imal edilmektedir. Bu hammaddeler kimyasallara karşı dirençli yapısı ile bilinmektedir. Partiküler halde fabrikaya gelen polietilen ve polipropilen madde ile plastiğe şekil verme yöntemi olan ekstrüzyon yöntemiyle koruge boru üretimi yapılmaktadır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Üretim aşamasında bulunan koruge borular.

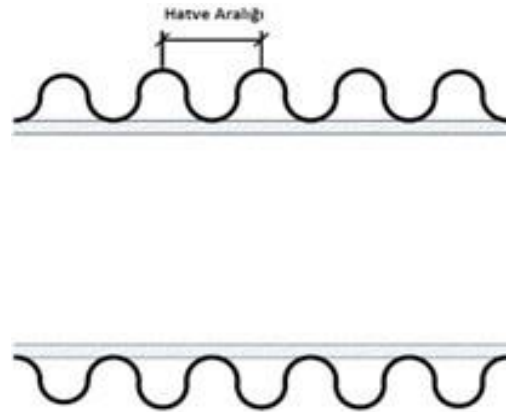
**Figure 4.** Corrugated pipes under production.

Koruge borularda Ø600 üzeri çaplarda imalat yöntemi değişmektedir. Çap büyüyünce gerekli halka rijitliğini sağlamak için spiral sarım metoduyla imalata geçilmektedir (Tulpar 2010). Spiral sarımlı koruge boruların üretimi, çelik takviyeli ya da takviyesiz polietilen katmanların sarılması yöntemiyle yapılmaktadır.

Boruların ek yerleri birleşimi; manşon contalı, imalat muf contalı ve elektrofizyon yöntemiyle sağlanabilmektedir. Elektrofizyon yöntemi bağlantılar, yüksek basınç dayanımı sağladığından daha çok basınçlı boru hatlarında tercih edilmektedir. Son zamanlarda kendiliğinden muf contalı borular, kolay birleştirme ve conta tasarrufu sağladığından yaygınlaşmıştır (Ece, 2022).

Koruge borular, içindeki akışkanı taşıyan düz yüzeyli boru ve bu boruya moleküler olarak

bağlanmış olan kıvrımlı katmandan oluşmaktadır (Şekil 5). Dıştaki kıvrımlı katman içi doluya yakın yük taşıyabilmesine olanak sağlamasının yanında hem ekonomik hem de hafif bir boru ortaya çıkarmaktadır. Bu boruların diğer üstünlükleri, son derece pürüzsüz bir yüzeyinin bulunması, polietilen hammaddesinin kimyasallar karşısında bozunuma uğramaması, su tutmayan ve geçirimsiz mikro dokuya sahip olması olarak sayılabilir (Yavuz, 2011). Ayrıca depremin yıkıcı etkilerinden malzemenin esnek yapısı sayesinde daha az etkilenirler. Bu boruların olumsuz yönü ise sıcaklık artışı ile elastisite modülünün azalması dolayısıyla dayanımlarının düşmesi ve deformasyon değerlerinin artış göstermesidir (Birtane, 2010).



**Şekil 5.** Koruge boru çift cidarlı kesit görünümü.

**Figure 5.** Double wall section view of corrugated pipes.

Koruge borulardan yeterli rijitlik değerlerine sahip olması istenilmektedir. Kesit atalet momenti, kesit atalet eksenleri, boru çapı ve malzemenin elastisite modülü polietilen boru dayanımını etkileyen faktörlerdir. Koruge borunun kesit atalet momenti, yüksek yoğunluklu et kalınlığı ve hatvesi ile ilişkilidir. Polietilenin elastisite modülünden maksimum faydanın sağlanabilmesi için boruların imkan dahilinde minimum hatve aralığında üretilmesi uygun görülmektedir (Birtane, 2010).

### 2.3. Kanalizasyon sistemlerinin inşası

#### 2.3. Construction of sewer systems

Sistemlerin inşası için belirlenen güzergahta, projede verilen kotlara göre kazı işlerinin yapılması gerekmektedir. Kazının şevsiz, şevli veya iksalı olması zeminin jeolojik yapısı, yapılabirlik durumu, ekonomik olma hususları göz önünde bulundurularak karar verilir. Şevli kazılarda, şev eğimleri zeminin jeolojik yapısına, yer altı suyu durumuna, iklim şartlarına göre arazide uygulama yapılarak belirlenmelidir. Açılan hendeklerde

akmalara, kaymalara, göçüklere müsaade etmeyecek şekilde iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili gerekli tedbirler alınmalıdır. Yapım işine öncelikle kolektör ve toplayıcılardan başlanılarak, hat mansaptan membaa doğru inşa edilmelidir (Tulpar

2010). Döşemesi biten boru hatları dolgu işlemlerine başlamadan sızdırmazlık deneyine tabi tutulmalıdır. Boru dış çapına (D) göre borunun her iki yanında eşit mesafe bırakılarak kazılması önerilen hendek genişlikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Hendek taban genişlikleri (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmelik, 2017).

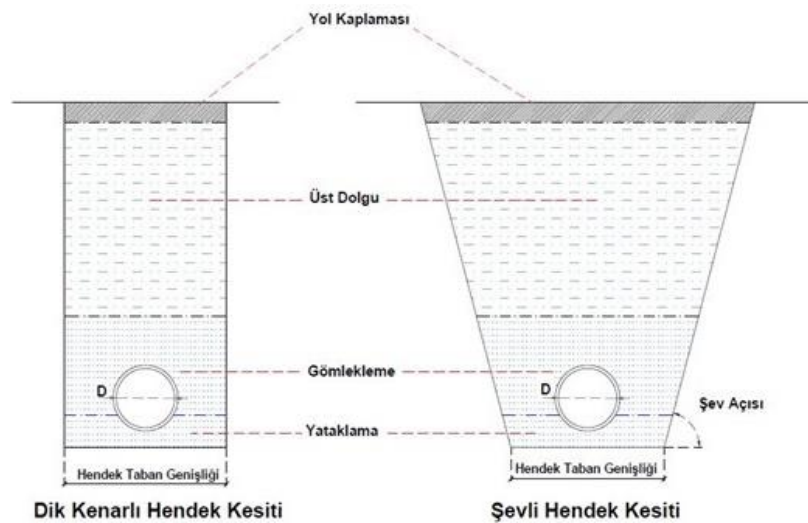
**Table 1.** Trench bottom width values.

Boru Çapı(D)	Hendek Tipi	Hendek Genişliği(cm)
$D \leq 40$ cm	Şevli Hendek	60
	İksalı Hendek	70
$40 < D \leq 70$ cm	Şevli Hendek ( $\leq 60^\circ$ )	D+40
	Şevli Hendek ( $> 60^\circ$ )	D+70
	İksalı Hendek	D+80
$D > 70$ cm	Şevli Hendek ( $\leq 60^\circ$ )	D+90
	Şevli Hendek ( $> 60^\circ$ )	D+120
	İksalı Hendek	D+130

Boruların döşendikleri yerde stabil kalabilmeleri ve zeminle sağlıklı etkileşimi için yataklama ve gömlekleme uygulamaları yapılmaktadır. Yataklama ve gömlekleme işlemleri için taneli kum çakıl karışımı malzemeler kullanılmaktadır. Borular hendeğe indirilmeden önce kum, silt, sert kil, killi kum, küskülük ve kaya zeminlerde borunun yerleştirileceği kısım için yatak hazırlanmalıdır. Yerel zeminin elverişsiz olduğu durumlarda yani kürekle kolayca kazılabilen gevşek toprak, bitkisel toprak, gevşek kum ve silt zeminlerde, boru tabanı zemine sıkıştırma yapılarak çakıl, jeotekstil veya beton yerleştirme işlemleri değerlendirilerek boru tabanı yataklaması yapılır. Yataklama yapılacak olan hendekte su bulunuyorsa, suyun tahliyesi sağlanarak yataklama işlemi yapılmaktadır. Boruların döşenmesi ile boru çevresinden başlanarak her 30 cm stabilize malzeme kompaktör ile %95 mukavemet

sağlanana kadar sıkıştırılarak gömlekleme yapılır. Bu işlem aynı malzeme ile boru üzeri minimum 30 cm geçinceye kadar devam edilir. Gömlekleme yapımı ardından yol alt ve üst dolgu ile doldurma işlemi yapılmaktadır (Şekil 6). Bu işlemlerde yapılan sıkıştırma tokmakla yapılmamalıdır, borulara zarar vermeden kompaktör veya hafif silindirler vasıtası ile yapılmalıdır (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmelik, 2017).

Yataklama borunun yerleşeceği yerin hazırlanması olarak tanımlanabilir. Yataklama borunun taşıma gücünü artırdığından yapımına özel itina gösterilmelidir. Kazısı yapılan hendek tabanı silindir ya da kompaktör yardımıyla sıkıştırılmalıdır. Hendek tabanı üzerinde stabilize malzemeyle yatak oluşturulduktan sonra borular yerleştirilmelidir (Balkaya, 2002).

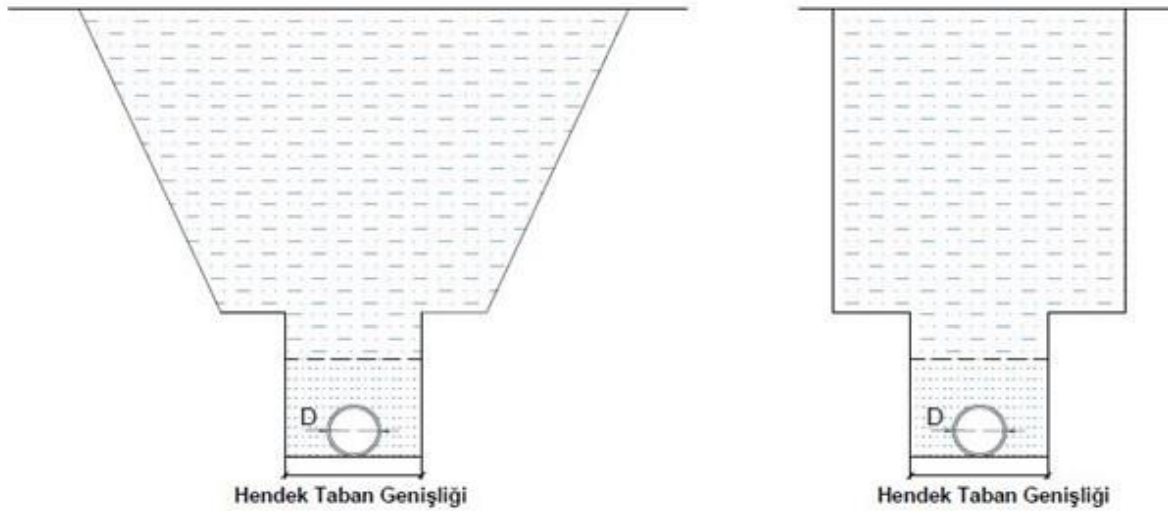


**Şekil 6.** Hendek en kesit detayları.

**Figure 6.** Trench cross-section details.

Kanal derinlikleri (akar kot ile yol kırmızı kotu arasındaki yükseklik farkı) bodrum katlarının atık su kanalına doğrudan bağlanıp bağlanmamasına ve cadde genişliklerine bağlı olarak tayin edilir. Yönetmelikte ortalama olarak boru üzeri 2.7 metre gömülme derinliği tavsiye edilmektedir. Bodrum kat olmayan yerleşkelerde 2.7 metreden daha düşük gömülme derinliği kullanılabilir. Yüksek gömülme derinliği hem boru emniyeti hem de şev stabilitesi için riskler barındırmaktadır. Ön projede belirlenen kazı derinlikleri tasarım aşamasında kesinleştirilir. Kesin kazı derinlikleri belirlenirken

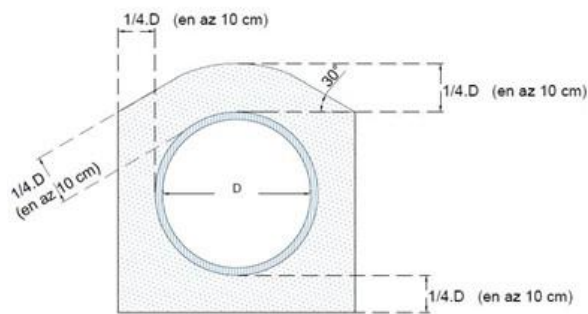
zemin özellikleri, eğim, taşma riskleri, yeraltı su seviyesi, diğer altyapı hizmetlerine yakınlık, ağaçlara ve diğer köklü bitkilere yakınlık, donma riski ve asgari örtü kalınlığı göz önünde bulundurulur (Atık Su Uzaklaştırma Yönetmelik, 2017). 1.5 m'den daha derin kazılarda güvenlik için hendekler şevli veya iksalı olarak yapılabilir. Derin kazılarda hendek taban genişliği Tablo 1'de belirtilen değerleri aşması halinde, hendek tabanına dar dik kenarlı yeni bir hendek açılması hem ekonomik hem de pratik bir yöntemdir (Şekil 7).



Şekil 7. Hendek içerisine dar dik kenarlı yeni hendek kesiti.

Figure 7. New trench section with narrow steep sides into trench.

Ayrıca sistemde borulardan yük altında üstün dayanım bekleniyorsa, borular beton gömlek içine alınabilir. Beton gömlekleme, aşındırıcı zeminlerde korozyona karşı da koruma sağlar. Beton gömleklemenin boyutlandırılmasına ilişkin bilgiler Şekil 8'de yer almaktadır (Balkaya, 2002). Beton gömlekleme ile negatif kemerlenme oluşur fakat betonun yüksek basınç dayanımı sayesinde koruge borunun pozitif kemerlenme etkilerine ihtiyaç kalmaz.



Şekil 8. Borularda beton gömlekleme.

Figure 8. Concrete covering application in pipes.

Sızdırmazlık testi ve gömlekleme işlemi yapılmış olan boru güzergahının zaman geçirmeden üst dolgusunun yapılması, iş sağlığı ve güvenliği riskini azaltacaktır. Dolgu toprağı hiçbir zaman taşıtlardan doğrudan doğruya hendeğe dökülmemelidir. Dolgular tabakalar halinde hendeğe serpilerek sıkıştırılması yapılmalıdır (Moser & Steven, 2001). Dolgunun sonradan meydana gelecek oturmalara sebep olmaması için sıkıştırılması gerekmektedir.

#### 2.4. Koruge borulara etkiyen zemin yüklerinin hesaplanması ve tasarımı

##### 2.4. Calculation and design of ground loads acting on corrugated pipes

Borularda gelen zemin yük etkisi; dolgu yüksekliği, çevresindeki zeminin özgül ağırlığı, borunun deformasyon kabiliyeti ve inşa yöntemlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Boru ile çevresindeki zemin malzemesinin rölatif rijitliği, muhtemel yükler, boru malzemesi ve çapı, mevzuat normları ele alınarak zemin yükü altında boru tasarımı yapılabilmektedir (Balkaya, 2002). Teknolojinin

gelişmesiyle birlikte esnek boruların zemin yükleri hesabı için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen yeni yöntemler geliştirilmiş Iowa amprik formülünün önüne geçebilmiş değildir. Geliştirilmiş Iowa formülü sade ve kullanışlı olması sebebiyle saha uygulamalarında kullanılmaya devam etmektedir (Dizayn, 2022).

Esnek borular dayanımlarının büyük bir bölümünü geri dolgu yapılan zeminden karşılarlar. Bu sebeple, esnek boruların performansı gömlekleme malzemesi rijitliğine ve sıklığına bağlıdır. Koruge borularda rijitliği yüksek gömlekleme malzemesinin, hatve aralıklarını doldurabilecek granülometride olması istenmektedir. Ayrıca koruge boruların tasarımı halkanın eğilmesine bağlıdır bu sebeple koruge borularda halka rijitliği de belirleyicidir (Moser & Steven, 2001).

DIN standartlarında halka rijitliği ( $S_R$ ) ( $\text{kN/m}^2$ ) belirlemede boru yarıçapı, CEN ve EN standartları halka rijitliği ( $S_N$ ) ( $\text{kN/m}^2$ ) hesabında boru çapı kullanılmaktadır (Denklem 1).

$$S_R = E \cdot I / r^3 \text{ veya } S_N = E \cdot I / D^3 \quad (1)$$

D: Borunun İç Çapı(m)

r: Boru Yarıçapı (m)

I: Atalet Momenti( $\text{m}^4/\text{m}$ )

E: Boru Malzemesinin Elastisite Modülüdür ( $\text{kN/m}^2$ )

Yukarıdaki formüller ele alındığında,  $S_R = 8S_N$  şeklinde bir ilişki oluşmaktadır. Boruda halka rijitliği TS EN ISO 9969'e göre %3'lük deformasyona karşılık gelen test yükü olarak tayin edilir. Ayrıca boruların halka esnekliği TS EN ISO 13968 standardında belirtilen % 30'luk deformasyon yükü altında boruda çatlama, kırılma ve deformasyon olmamalıdır (Şekil 9). Zarar görmeden % 30'luk deformasyon kabiliyeti, koruge borunun güvenlik faktörü olarak görülebilir (Kalde, 2015).

Koruge borulara gelebilecek zemin yükünün, Marston Teorisi minimum yük değeri ile prizma yükü arasında olduğu kabul edilmektedir. Borunun hizmet ömrü uzadıkça yükün prizma yüküne kadar artacağı tahmin edilmektedir. Hendeklerde olumsuz şartlar olabileceğinden esnek boruların yük hesabında genellikle prizma yükü (P) baz alınmaktadır (Denklem 2) (Moser & Steven, 2001; Yimsiri & Ratananikom, 2021).



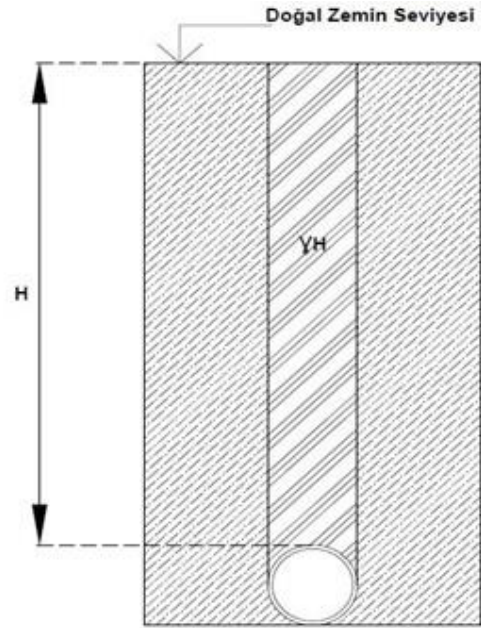
Şekil 9. Koruge borunun halka rijitliğinin test edilmesi.

Figure 9. Testing the ring stiffness of corrugated pipe.

$$P = \gamma \cdot H \quad (2)$$

H: Gömülme Derinliği (m)

$\gamma$  : Zemin Birim Ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ )



Şekil 10. Gömülü esnek boruya etkiyen prizma yükü.

Figure 10. Prism load acting on buried flexible pipe.

Şekil 10'da prizma yükünün boru üzerine etkisi ifade edilmiştir. Prizma yükü hendek genişliğinden bağımsızdır. Prizma yükünün boru dış çapı ile çarpımı boru üzerine gelen yükü vermektedir (Denklem 3).

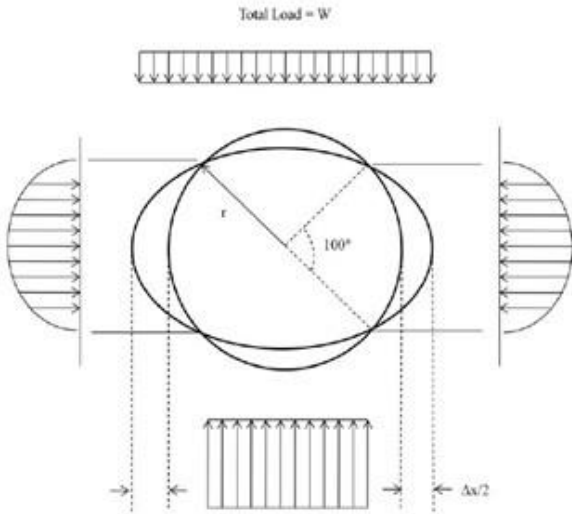
$$P_c = P \cdot B_c \quad (3)$$

$P_c$  : Borunun birim uzunluğu üzerine düşen yük (kN/m)  
 $B_c$  : Borunun dış çapı (m)

Esnek boruların deformasyon değerlerini hesaplamak için Iowa formülünü geliştirilmiştir (Denklem 4). Borunun yeterince rijit olduğu ve deforme olmuş dairesel bir borunun elips şeklinde olacağı varsayımıyla, yatay eğilmenin yaklaşık düşey eğilmeye eşit olacağını belirlenmiştir (Şekil 11) (Spangler, 1966). Gömülü borunun uzun vadeli davranışını Iowa formülü iyi açıklamaktadır çünkü uzun vadede hendek genişliğinin etkileri azalmaktadır (Yimsiri & Ratananikom, 2021).

$$\Delta X = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c \cdot r^3}{E \cdot I + 0.061 \cdot e' \cdot r^4} \quad (4)$$

$D_L$ : Eğilme gecikme faktörü  
 $K_y$  : Yataklama sabiti  
 $P_c$  : Borunun birim uzunluğuna düşen prizma yükü (P.B<sub>c</sub>) (kN/m)  
 $r$  : Borunun ortalama yarıçapı (m)  
 $E$  : Boru malzemesinin elastisite modülü (kN/m<sup>2</sup>)  
 $E'$  : Zemin Reaksiyon Modülü (kN/m<sup>2</sup>)  
 $e'$  : Yan dolgunun pasif direnci (kN/m<sup>2</sup> m)  
 $\Delta X$  : Yatay eğilme veya çapta değişim (m)



**Şekil 11.** Gömülü boru deplasmanından Iowa formülü türetme dayanağı (Spangler, 1966).

**Figure 11.** Basis for derivation of Iowa formula from buried pipe displacement.

İlerleyen yıllarda Iowa formülü üzerinde yapılan boyut analizinde, zemin pasif direnci  $e'$ 'nin zeminin özelliğini yansıtan bir unsur olmadığını belirlemiş ve başka bir zemin parametresi olan zemin reaksiyon modülünü  $E' = e' \cdot r$  tanımlanmıştır. Bunun üzerine geliştirilmiş Iowa formülü olarak

bilinen formül ortaya çıkmıştır (Denklem 5) (Watkins, 1999).

$$\Delta X = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c \cdot r^3}{E \cdot I + 0.061 \cdot E' \cdot r^3} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P_c}{\frac{E \cdot I}{r^3} + 0.061 \cdot E'} \quad (5)$$

Iowa formülünde yer alan bir unsur da eğilme gecikme ( $D_L$ ) faktörüdür. Bu etki maksimum yük oluştuğundan bir süre sonra oluşan eğilme artışıdır. Eğilme artışının 40 yılda %30 artabileceği tahmin edilmektedir (Spangler, 1966). Marston teorisi yükünde  $D_L$  değerinin 1.5 alınmasının uygun olacağını belirtmiştir. Tasarımda prizma yükü Marston'un 1.5 katından fazla olması sebebiyle prizma yükü ile hesap yapıldığında;  $D_L$  değerinin 1 olarak alınması tavsiye edilmektedir (Watkins, 1999; Yimsiri & Ratananikom, 2021). Bu çalışma kapsamındaki vaka uygulamasında prizma yükünden hesap yapılmış ve  $D_L$  değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

$P_c = P \cdot B_c$  olduğundan  $B_c$  değeri geliştirilmiş Iowa formülünde deplasman miktarının paydasına gönderilirse, borunun yüzdelik deplasmanı elde edilir. Böylelikle geliştirilmiş Iowa formülünün pratikte kullanımı ortaya çıkmaktadır (Denklem 6).

Esname Yüzdesi = (Yük Etkisi) / (Boru rijitliği + [Sabit] Zemin Rijitliği)

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{S_R + 0.061 \cdot E'} \quad (6)$$

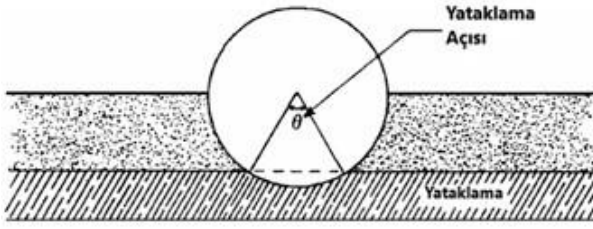
veya

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'}$$

şeklinde olmaktadır. Burada  $S_R$  borunun yarıçapına göre rijitlik hesabını,  $S_N$  ise borunun çapına göre rijitlik hesabını ifade etmektedir. Ülkemizde koruge boru üretimi yapan fabrikalar ürün dayanım sınıfı belirtmede genellikle  $S_N$  değerini kullanmaktadır.

Formülde yer alan  $K_y$  yataklama sabiti, aşağıda verilen Şekil 12'de gösterilen boru yataklama açısından yola çıkarak Tablo 2'den tespit edilmektedir. Yataklama açısının sahada belirlenebilmesi için; oluşturulan boru yatağından borunun kaldırılması ile örülenmeden kalabilen zemin olarak nitelendirilebilir (Moser & Steven 2001).





**Şekil 12.** Yataklama açısı (Moser & Steven 2001).  
**Figure 12.** Bearing angle.

**Tablo 2.** Yataklama sabiti değerleri (Moser & Steven, 2001).

**Table 2.** Bearing constant values.

Yataklama (derece)	Açısı	Yataklama Sabiti (K <sub>y</sub> )
30°		0.108
60°		0.102
90°		0.096
120°		0.090
180°		0.083

Geliştirilmiş Iowa formülündeki E', gömülü esnek bir boruda yatay ekseninde meydana gelen şekil

değiştirmeye karşı, gömlekleme dolgusunun gösterdiği pasif direnç olarak ifade edilmiştir. Bu direnç değeri dolgu malzemesinin sıkılık derecesi, hendek genişliği, yerel zemin davranışı, boru çapı ve borunun esneme kabiliyeti ile ilişkilendirilmiş ve ilk aşamalarda değerin ölçülmesi için yapılan araştırmalar başarısız olmuştur. Daha sonraları bu değerin hesaplanabilmesine yönelik veriler elde edilebilmiştir. Bu değer zemin reaksiyon modülü (E') olarak tanımlanmıştır (Terzi, 2007).

Zemin reaksiyon modülünün belirlenmesindeki yöntemlerden biri; yerleştirilme koşullarının bilindiği bir boruda, tasarım deformasyon sınırına göre Iowa formülünden geri işlem yapılmasıdır. Bu işlemde yük, yataklama faktörü, eğilme gecikmesi faktörü ve boru rijitliği değerleri formülde yerine yazılmaktadır. Denklemde tek bilinmeyen olarak kalan E' hesaplanır ve E' değerini sağlayabilecek nitelikte dolgu zemin malzemesi belirlenir. 1977-2006 yılları arasında birçok arazi verisi derlenerek E' için ortalama tasarım değerleri hesaplanmıştır (Howard, 2006). Bu çalışmada zeminin cinsine ve proktor sıkılık yüzdesine göre E' değerleri yer almaktadır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Iowa eşitliğinde zemin reaksiyon modülü ortalama değerleri (Howard, 2006)

**Table 3.** Soil reaction modulus mean values in the Iowa equation.

Zemin Türü	Zemin Sıklığı (Proktor Sıkıştırma Yüzdesi (%))			
	Gevşek Sıkıştırılmamış (MPa)	< % 85 Hafif Sıkıştırma (MPa)	% 85-%95 Orta Sıkıştırma (MPa)	> % 95 Yüksek Sıkıştırma (MPa)
İnce Daneli Zeminler (LL > 50)Orta ve Yüksek Plastisiteli CH, MH,				
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) orta veya düşük plastisite CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme	0.34	1.38	2.76	6.89
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) orta veya düşük plastisite iri daneleri %25 üzeri olan CL, ML ince dane içeriği %12'den fazla kaba daneli malzeme GM, GC, SM, SC	0.69	2.76	6.89	13.79
Kaba Daneli Zeminler (İnce daneli oranı %12 den az olan topraklar) GW, GP, SW, SP	1.38	6.89	13.79	20.68
Parçalanmış kaya	6.89	20.68	20.68	20.68

Tabloda belirtilen zemin sıklığı dereceleri laboratuvar ortamında yapılan proktor deneyi ile belirlenir. Zemin kompaksiyonu ile hava boşlukları

azaltılarak zemin yoğunluğunu artırılmış olunur. Laboratuvar ortamında su muhtevası ayarlanarak yüksek sıkıştırma (> %95) oluşturulabilmektedir.

Zemin sıklık oranı artıka malzemeden daha yüksek zemin reaksiyon modülleri elde edilebilmektedir.

Tablo incelendiğinde ilk satırda belirtilen likit limit (LL) oranı 50 üzeri olan yüksek plastisiteli kil (CH) ve silt (MH) kullanımı belirtilmiştir. Bu içerikteki zeminler suyu tutarak boru etrafında balçık zemin oluşturur ve borudaki negatif kemerlenme etkilerini artırır dolayısıyla kullanılması önerilmemektedir. Diğer likit limit oranı 50'den küçük orta - düşük plastisiteli ve kaba dane oranı %25'den az kil (CL) ve silt (ML) malzeme kullanılması durumunda; gömleklemeden yüksek zemin reaksiyon modülü elde edebilmek için yüksek sıkıştırma uygulanmalıdır. Tabloda 3. satırda belirtilen likit limiti 50'den küçük orta-düşük plastisiteli ve kaba dane oranı %25'den fazla olan kumlu kil (CL), siltli kum (ML) ile ince dane oranı %12'den fazla olan siltli çakıl (GM), killi çakıl (GC), siltli kum (SM) ve killi kum (SC) zemin malzemelerinin aynı performans gösterdiği kabul edilir. Tabloda 4. satırda belirtilen ince dane oranı %12'den az kaba daneli; iyi derecelenmiş çakıl (GW), kötü derecelendirilmiş çakıl (GP), iyi derecelendirilmiş kum (SW) ve kötü derecelendirilmiş kum (SP) zemin malzemeleri iyi performans gösterirler. Koruge boru etrafı gömlekleme için genellikle bu çeşit zemin malzemeleri kullanılır. Parçalanmış kaya zeminler yüksek zemin reaksiyon modülleri oluştururlar ancak iri danelerinden koruge boru hatve aralıklarına giremezler (Howard, 2006).

Bu çalışmada vaka uygulamalarında Iowa formülünden geri işlem yapılarak minimum gerekli zemin reaksiyon modülü değerleri kullanılmıştır. Gerekli zemin reaksiyon modülü Tablo 3 verilerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Uygulamalarda kullanımına müsaade edilmeyen ince taneli plastisiteli zeminler ile boru hatve aralıklarına girmesi muhtemel olmayan parçalanmış kaya zeminler göz önünde bulundurulmamıştır. Ayrıca Tablo 3'de belirtilen yüksek sıkıştırmanın arazi şartlarında sağlanmasının güç olduğu unutulmamalıdır.

## 2.5. Trafik yükünün boru üzerine etkisinin bulunması

### 2.5. Finding the effect of traffic load on the pipe

Borular genellikle insanların yoğun yaşadığı yerlerde bulunduğundan otoyol veya demiryolu gibi ulaşım araçlarının geçtiği yol zeminine inşa edilebilirler. Bu sebeple boruları tasarlarırken zemin yükünün yanında trafikten kaynaklı yük toplamı göz önünde bulundurulmalıdır. Gömülü borunun

trafik yüküne yakın derinlikte olması, yük etkisinin daha çok hissedilmesine yol açar. Derinlik artıka tekerlek yüklerinin etkisi azalmaktadır (Balkaya, 2002).

Borulara etkiyen trafik yükünün Bousnessq metodu ile saha uygulamasında pratik hesabı Denklem 7'deki formülle yapılabilmektedir (Civil Web t.y. ; Dizayn, 2022). Formülde bulunan değer prizma yükünü ifade eder. Trafik durumlarına göre tekerlek başına düşebilecek yükler Tablo 4'de verilmiştir.

$$P_{tr} = \frac{3 \cdot V_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \left[ \frac{1}{1 + (r_t/H)^2} \right]^{5/2} \quad (7)$$

$P_{tr}$ : Boruya etkiyen trafik prizma yükü (kN/m<sup>2</sup>)

$H$ : Gömülme derinliği (m)

$r_t$ : Tekerlek yükünün boru merkez düzlemine yatay mesafesi

$V_t$ : Tekerlek başına maksimum trafik yükü (kN/m) (Tablo 4)

**Tablo 4.** Trafik yükleri (Kalde, 2015).

**Table 4.** Traffic loads.

Sınıflar	Toplam Yük(kN)	Tekerlek Başına Maksimum Yük(kN) ( $V_t$ )
Ağır Trafik	600	100
Orta Trafik	300	50
Hafif Trafik	120	20
Otomobil	30	10

Çalışma kapsamında vaka uygulamasında tekerlek yükünün boru merkez düzleminde yer aldığı kabul edilerek  $r_t$  değeri sıfır kabul edilmiştir. Böylece tasarımın emniyetli tarafta olması sağlanmış ve formül daha sade bir hal almıştır (Denklem 8).

$$P_{tr} = \frac{3 \cdot V_t}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \quad (8)$$

## 3. Vaka uygulaması

### 3. Case practice

Koruge boruların zemin yüklerine karşı performansı, Karabük Üniversitesi Atık Su Projesi üzerinde değerlendirilmiştir. Zemin yüklerinde koruge boru tasarımında, açıklanan yöntemlerin uygulamada kullanımı ele alınmıştır. Projede seçilen bir kesit üzerinden boru tetkik hesapları yapılmıştır. Uygulama hendek detayları, boy kesit ve en kesit çizimlerinde verilmektedir.

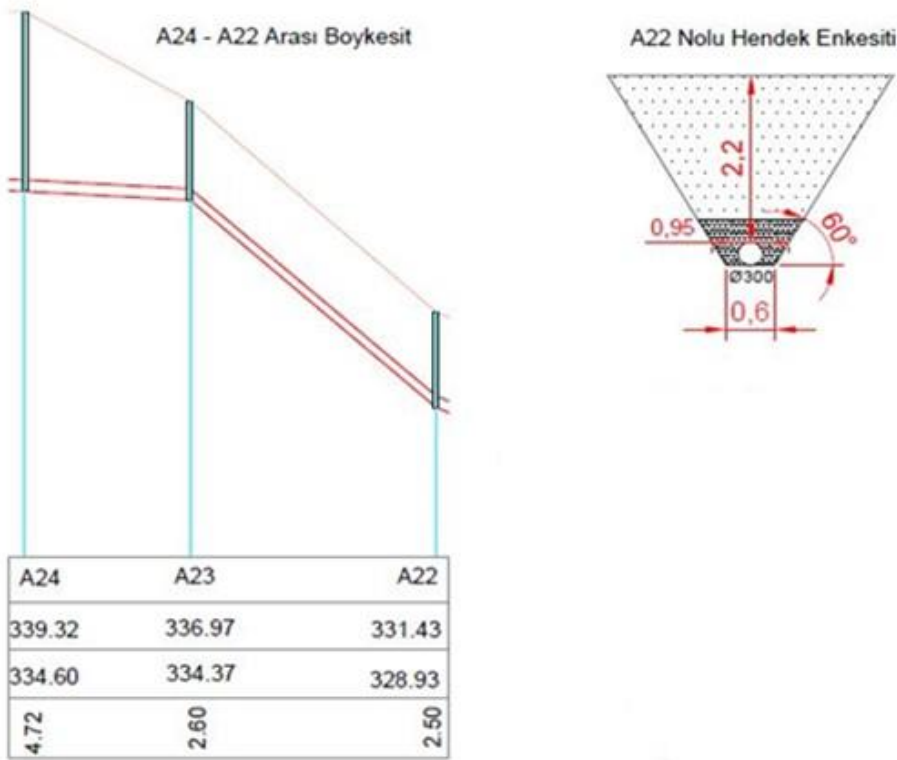
Koruge boruların tasarımında geliştirilmiş Iowa formülüne standartta müsaade edilen % 3'lük

deformasyon eşitliğinden işlem yapılmıştır. Çalışmada yataklama etkisini belirgin şekilde göstermek için yataklama açısı minimum ve maksimum değerleri alınmıştır. Belirtilen denklemde, boru rijitlik sınıfı ( $S_N$ ), toplam prizma yükü ve yataklama etkisi değerleri yerine yazılmıştır.  $0^\circ$ 'lik yataklama açısına karşılık olan yatak oluşturulmaması durumu, yönetmelikte uygun görülmediği için hesaplanmamıştır.

Yataklama açısı ( $30^\circ$  ve  $180^\circ$ ) ve rijitlik sınıfı ( $S_N 4$  ve  $S_N 8$ ) etkilerini incelemek amacıyla ayrı ayrı hesaplar yapılmıştır. Prizma yükü hesabında, suya doymun maksimum zemin birim ağırlığı kullanılmıştır. Prizma yüküne ilaveten mevcut

trafik yükü de eklenmiş ve toplam prizma yükü bulunmuştur. İşlemler sonucu denklemde tek bilinmeyen olarak kalan zemin reaksiyon modülü ( $E'$ ) denkleminden çıkartılmıştır. Burada bulunan zemin reaksiyon modülü ( $E'$ ) değeri minimum gerekli olan değerdir. Zemin reaksiyon modülünü sağlayan gömlekleme zemin dolgusu, "Howard, 2006" çalışma tablosu değerlerinden belirlenmiştir. Tabloda tasarımı sağlamayan zemin değerleri kırmızıya boyanarak belirtilmiştir.

- ❖ Aşağıda Karabük Üniversitesi kampüsünde bulunan atık su hattının 22 nolu baca girişi boy kesiti ve hesap yapılan boru en kesiti verilmiştir.



Şekil 13. Karabük Üniversitesi atık su 22 nolu baca çıkışı en - boy kesitler

Figure 13. Karabuk University waste water shaft outlet no 22 cross - length sections.

- 22 Nolu En Kesit,  $30^\circ$  Yataklama Açısı Şartlarında Tetkik;

$$P = \gamma \cdot H = 20 \cdot 2.2 = 44 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tr.} = \frac{3 \cdot Vt}{2 \cdot \pi \cdot H^2} = \frac{3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2.2^2} = 4.93 \text{ kN/m}^2 \text{ (Orta Trafik)}$$

$$P_{toplam} = 44 + 4.93 = 48.93 \text{ kN/m}^2$$

$$K_y = 0.108 \text{ (} 30^\circ \text{ Yataklama Sabiti)}$$

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'} \rightarrow 0.03 = \frac{1 \cdot 0.108 \cdot 48.93}{8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'}$$

$176.15 = 8 \cdot S_N + 0.061 \cdot E'$  denkleminde  $S_N$  değerleri yerine yazılır.

$30^\circ$  yataklama durumunda,  $S_N 4$  ve  $S_N 8$  halka rijitliğinde koruge boru hesapları yapılarak Tablo 5'de ve Tablo 6'da verilmiştir.

- ❖  $S_N = 4 \text{ kN/m}^2$  göre tasarım;

$$176.15 = 8 \cdot 4 + 0.061 \cdot E'$$

$$144.15 = 0.061 \cdot E'$$

$$E' = 2363.11 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 2.363 \text{ MPa}$$

**Tablo 5.** KBU atık su 22 nolu kesit, 30° yataklama ve S<sub>N</sub> 4 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu;  
**Table 5.** KBU waste water section 22, 30° bedding and SN 4 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

Zemin Türü	(Proktor Sıkışma Yüzdesi (%))			
	Sıkıştırılmamış	< % 85	% 85-%95	> % 95
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme	0.34	1.38	2.76	6.89
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC.	0.69	2.76	6.89	13.79
Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP.	1.38	6.89	13.79	20.68

❖ S<sub>N</sub> = 8 kN/m<sup>2</sup> göre tasarım;

$$176.15 = 8 \cdot 8 + 0.061 \cdot E'$$

$$112.15 = 0.061 E'$$

$$E' = 1838.52 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.838 \text{ MPa}$$

**Tablo 6.** KBU atık su 22 nolu kesit, 30° yataklama ve S<sub>N</sub> 8 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu;  
**Table 6.** KBU waste water section 22, 30° bedding and SN 8 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

Zemin Türü	(Proktor Sıkışma Yüzdesi (%))			
	Sıkıştırılmamış	< % 85	% 85-%95	> % 95
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme	0.34	1.38	2.76	6.89
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC.	0.69	2.76	6.89	13.79
Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP.	1.38	6.89	13.79	20.68

➤ 22 Nolu En Kesit, 180° Yataklama Açısı Şartlarında Tetkik;

$$P = \gamma \cdot H = 20 \cdot 2.2 = 44 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tr.} = \frac{3 \cdot Vt}{2 \cdot \pi \cdot H^2} = \frac{3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 2.2^2} = 4.93 \text{ kN/m}^2 \text{ (Orta Trafik)}$$

$$P_{toplam} = 44 + 4.93 = 48.93 \text{ kN/m}^2$$

$$K_y = 0.083 \text{ (180° Yataklama Sabiti)}$$

$$\frac{\Delta X}{B_c} = \frac{D_L \cdot K_y \cdot P}{8 \cdot S_N + 0.061 E'} \rightarrow 0.03 = \frac{1 \cdot 0.083 \cdot 48,93}{8 \cdot S_N + 0.061 E'}$$

135.37 = 8 S<sub>N</sub> + 0.061 E' denkleminde S<sub>N</sub> değerleri yerine yazılır.

180° yataklama durumunda, S<sub>N</sub> 4 ve S<sub>N</sub> 8 halka rijitliğinde koruge boru hesapları yapılarak Tablo 7'de ve Tablo 8'de verilmiştir.

❖ S<sub>N</sub> = 4 kN/m<sup>2</sup> göre tasarım yapılırsa;

$$135.37 = 32 + 0.061 E'$$

$$103.37 = 0.061 E'$$

$$E' = 1694.59 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.694 \text{ MPa}$$

**Tablo 7.** KBU atık su 22 nolu kesit, 180° yataklama ve SN 4 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu.  
**Table 7.** KBU waste water section 22, 180° bedding and SN 4 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

Zemin Türü	(Proktor Sıkışma Yüzdesi (%))			
	Sıkıştırılmamış	< % 85	% 85-%95	> % 95
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme	0.34	1.38	2.76	6.89
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC.	0.69	2.76	6.89	13.79
Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP.	1.38	6.89	13.79	20.68

❖ S<sub>N</sub> = 8 kN/m<sup>2</sup> göre tasarım;

$$E' = 1170 \text{ kN / m}^2 \rightarrow 1.17 \text{ MPa}$$

$$135.37 = 64 + 0.061 E'$$

$$71.37 = 0.061 E'$$

S<sub>N</sub> = 8 kN/m<sup>2</sup> rijitlikte boru tetkik sonucu 16. Sayfa, Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** KBU atık su 22 nolu kesit, 180° yataklama ve SN 8 halka rijitliğinde koruge boru tetkik sonucu.  
**Table 8.** KBU waste water section 22, 180° bedding and SN 8 ring rigidity corrugated pipe inspection result.

Zemin Türü	(Proktor Sıkışma Yüzdesi (%))			
	Sıkıştırılmamış	< % 85	% 85-%95	> % 95
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisiteli CL, ML ve %25'den az kaba daneli malzeme	0.34	1.38	2.76	6.89
İnce Daneli Zeminler (LL< 50) Orta veya düşük plastisite iri taneleri %25 üzeri olan CL, ML. İnce dane içeriği %12'den fazla kaba daneli GM, GC, SM, SC.	0.69	2.76	6.89	13.79
Kaba Daneli Malzeme İnce daneli oranı %12 den az olan zeminler GW, GP, SW, SP.	1.38	6.89	13.79	20.68

Vaka uygulamasında elde edilen verilerin kıyaslanması Tablo 9’da verilmiştir. Çalışma bulgularında bu tablonun değerlendirilmesi yapılmıştır.

**Tablo 9.** KBU 22 nolu hendek kesitinde koruge boru yerleştirme koşullarında minimum E’ değerleri  
**Table 9.** Minimum E’ values in the conditions of corrugated pipe placement in the trench section 22 KBU.

	S <sub>N</sub> 4 Rijitlikte Koruge Boru	S <sub>N</sub> 8 Rijitlikte Koruge Boru
30° Yataklama Açısı Durumu	2.363 MPa	1.838 MPa
180° Yataklama Açısı Durumu	1.694 MPa	1.170 MPa

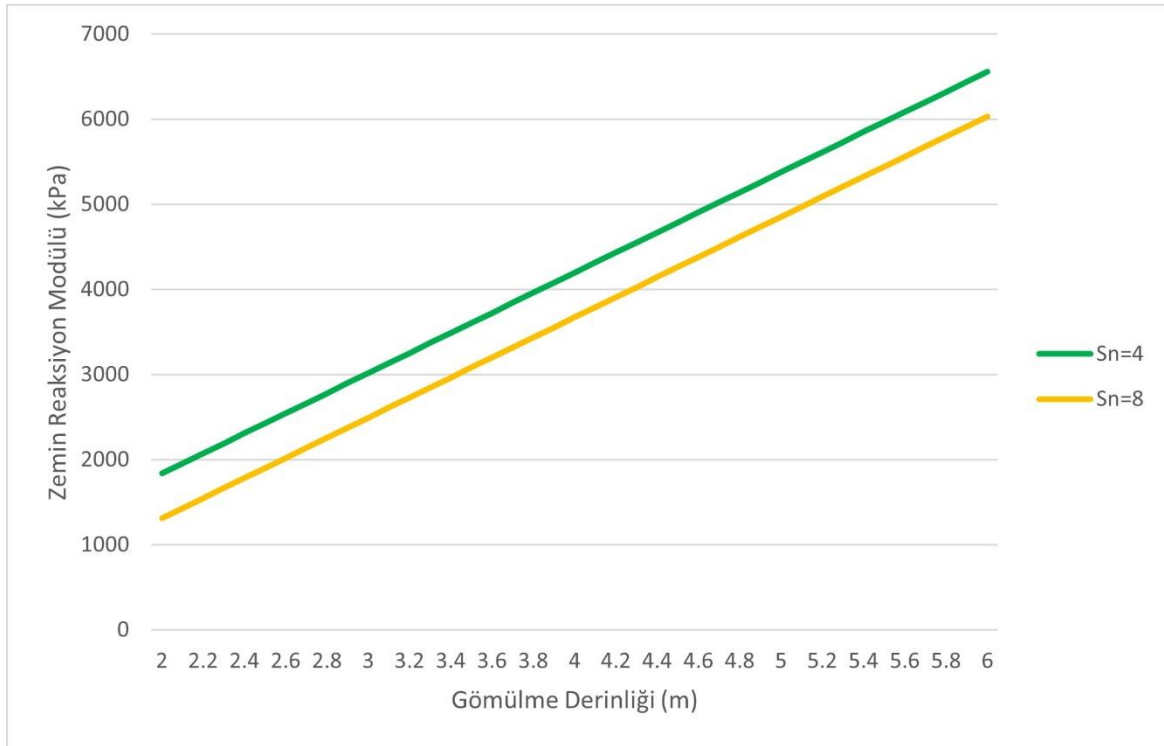
#### 4.Bulgular

##### 4. Findings

Vaka analizi bölümü Tablo 9’da tetkik verileri karşılaştırıldığında; 180° yataklama açısı ve S<sub>N</sub> 4 boru rijitliği durumunda gerekli olan zemin reaksiyon modülünün, 30° yataklama açısı ve S<sub>N</sub> 8 boru rijitlikteki gerekli olan zemin reaksiyon modülünden daha düşük değer yeterli olduğu görülmektedir. Buradan boru yataklamasının borunun rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği anlaşılmaktadır.

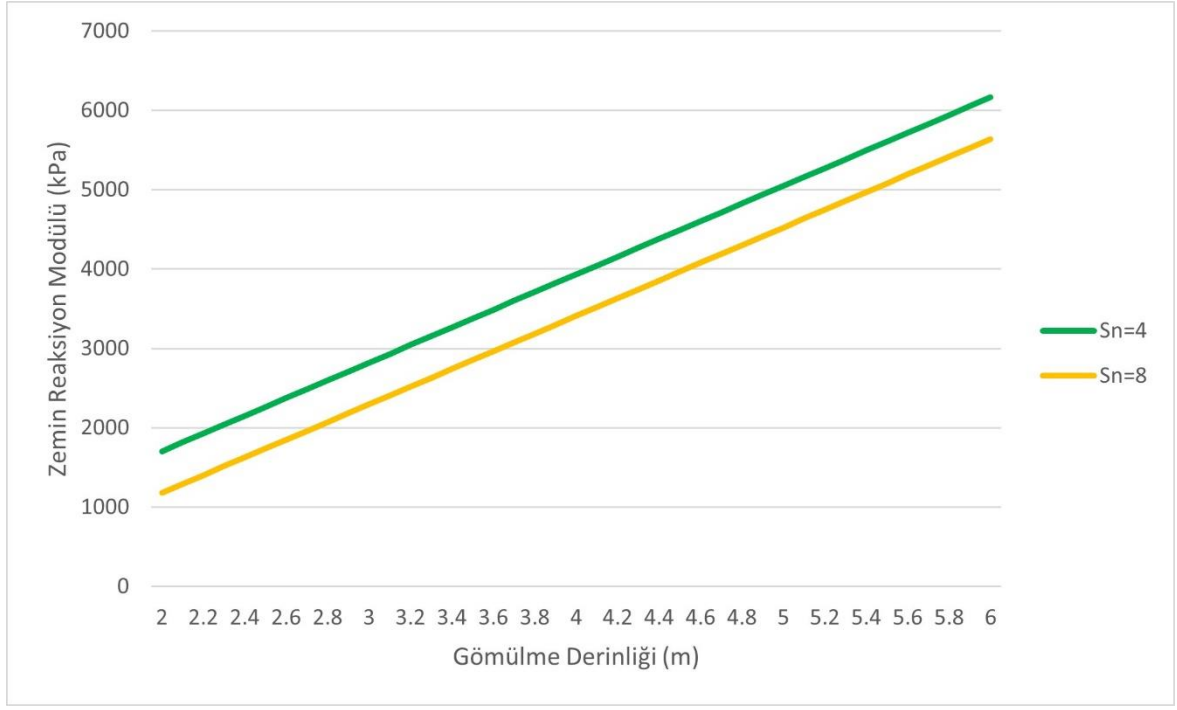
Boru üzeri gömülme yüksekliğinin 2 m’yi geçtiği durumlarda, boru mukavemetinin dolgu yükünü taşıyacak nitelikte olmasına dikkat edilmelidir (Ayalp, 2006). Bu hususta koruge borularda rijitlik

sınıfı, gömülme derinliği, yataklama açısı ve gömlekleme dolgusu ön plana çıkmaktadır. Prizma yükünde, hesabın emniyetli tarafta kalması düşünüldüğünden maksimum zemin birim ağırlık değeri olarak 20 kN/m<sup>3</sup> alınmıştır. Hesaplanan prizma yükü geliştirilmiş Iowa formülü üzerinden S<sub>N</sub> 4 (kN/m<sup>2</sup>) ve S<sub>N</sub> 8 (kN/m<sup>2</sup>) rijitlik sınıflarında, çeşitli yataklama açılarındaki borular için gerekli gömlekleme (zemin) dolgusu reaksiyon modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler grafikler halinde aşağıda verilmiştir (Şekil 14 - Şekil 18). Şekillerdeki grafikler vasıtasıyla proje parametrelerine uygun gömlekleme dolgusu minimum reaksiyon modülü tespit edilebilir. Gerekli reaksiyon modülünü verecek dolguyu saptamak için “Howard, 2006” çalışması zemin reaksiyon modülü tablosundan faydalanılabilir.

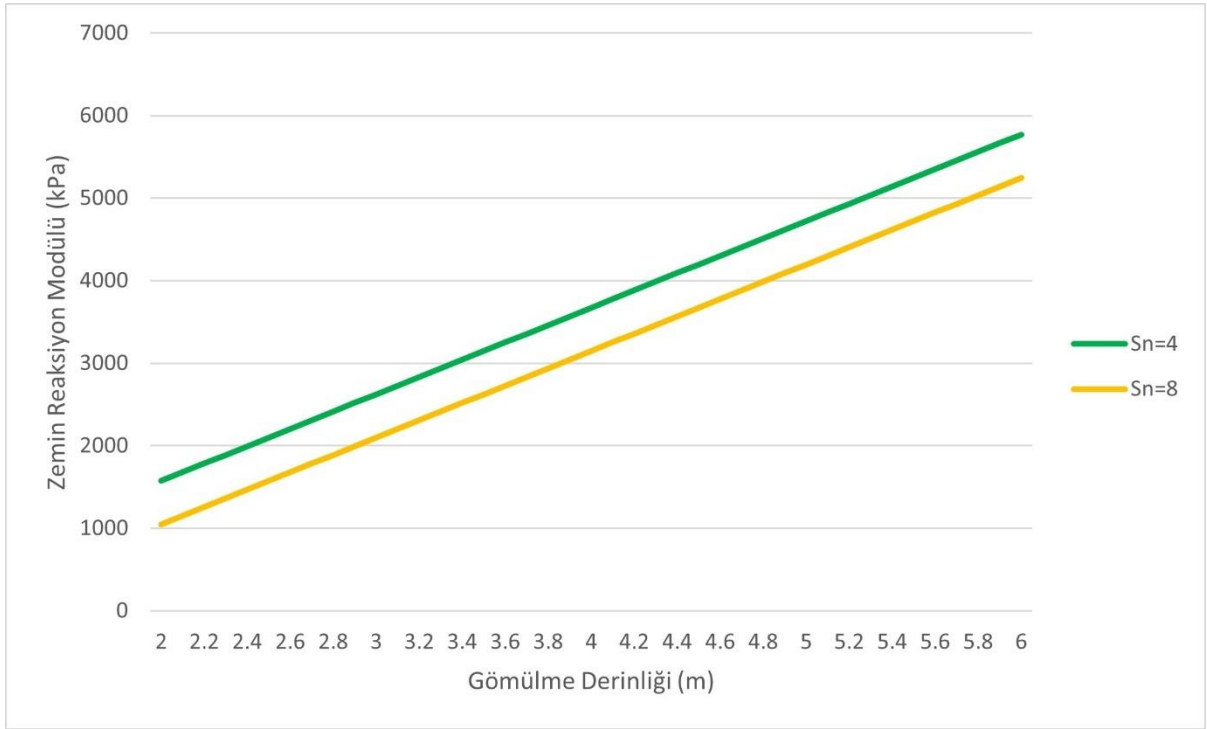


**Şekil 14.** Koruge boru 30° yataklamada gömülme derinliği – zemin reaksiyon modülü grafiği.

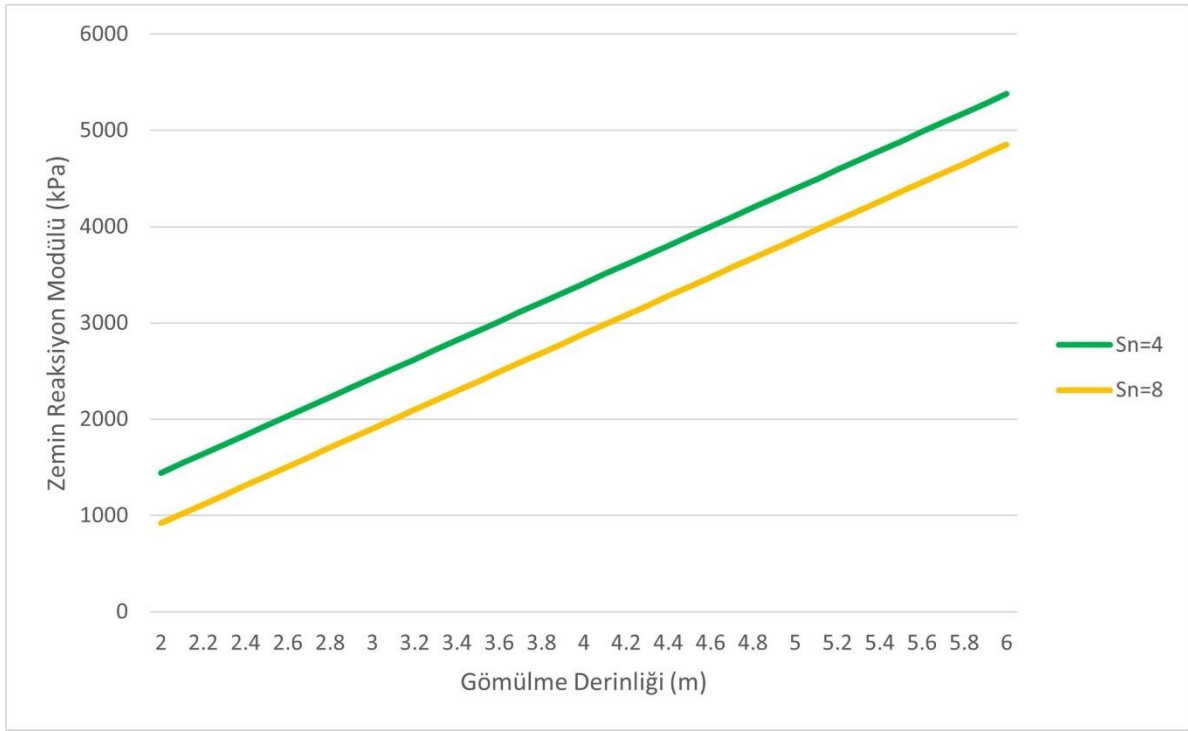
**Figure 14.** Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 30° bedding.



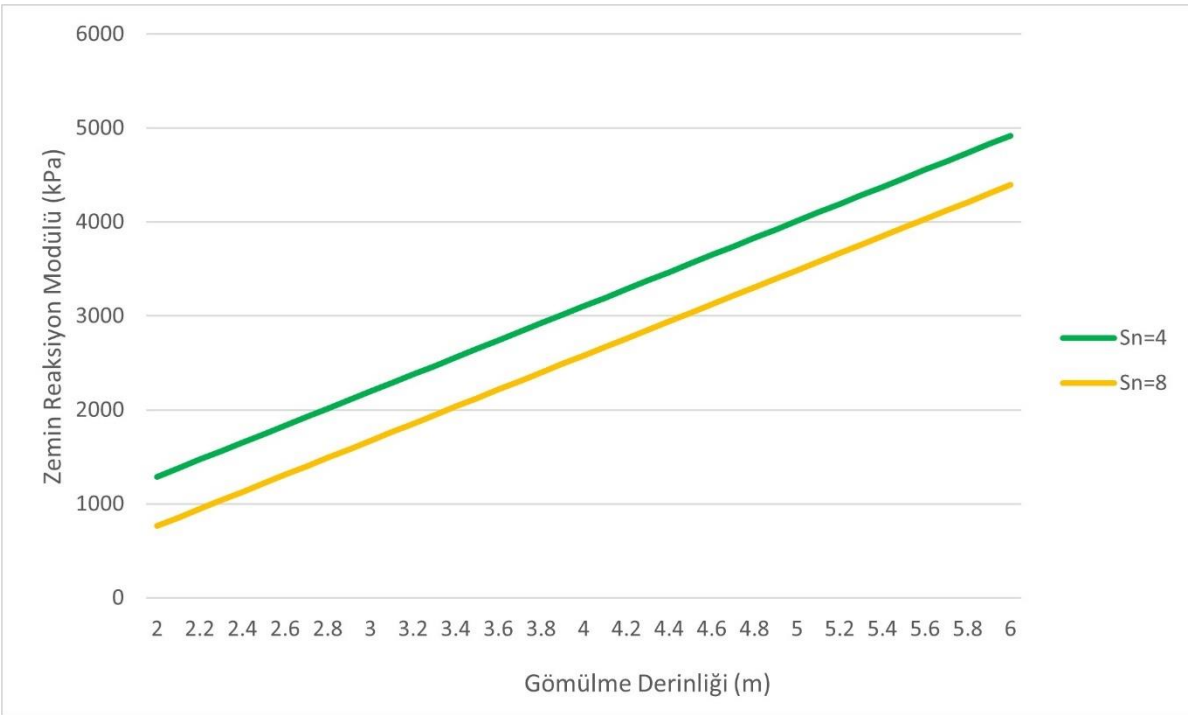
**Şekil 15.** Koruge boru 60° yataklamada gömülme derinliği – zemin reaksiyon modülü grafiği.  
**Figure 15.** Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 60° bedding.



**Şekil 16.** Koruge boru 90° yataklamada gömülme derinliği- zemin reaksiyon modülü grafiği.  
**Figure 16.** Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 90° bedding.



**Şekil 17.** Koruge boru 120° yataklamada gömülme derinliği-zemin reaksiyon modülü grafiği.  
**Figure 17.** Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 120° bedding.



**Şekil 18.** Koruge boru 180° yataklamada gömülme derinliği-zemin reaksiyon modülü grafiği.  
**Figure 18.** Corrugated pipe burial depth – soil reaction modulus graph at 180° bedding.

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

### 5. Results and Discussion

Çalışma kapsamında yapılan vaka uygulaması ve bulgularda elde edilen grafikler irdelendiğinde aşağıdaki tespitlerde bulunulmuştur.

- Zemin yükleri altında koruge boruların tasarımında, uygulamada yeterli hassasiyet gösterilmeyen boru çevresi zemin etkileşimi çok önemli olmaktadır. Yapılan vaka çalışmayla yataklama açısı etkisinin borunun



rijitlik sınıfından daha etkili olabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu etki Şekil 14 (30° yataklama koşulu) ve Şekil 18 (180° yataklama koşulu) verilerin karşılaştırılmasından da görülebilmektedir.

- Koruge borular gömlekleme dolgusu yardımıyla dayanımlarının büyük kısmını sağladığından; Şekil 14 - Şekil 18 grafiklerde gömülme derinliği artışı ile gömlekleme zemini reaksiyon modülü değerleri artmaktadır. Ayrıca bu grafiklerdeki doğrusal artan zemin reaksiyon modülü değeri, tasarım formülünde parametrelerin dereceden üssü bulunmadığından prizma yükü artışıdaki doğrusallığın yansımasıdır.
- Şekil 14 - Şekil 18’de verilen grafiklerde  $S_N 8$   $kN/m^2$  rijitlikte koruge boru ve yüksek yataklama açılarının kullanımı; gömlekleme zemin reaksiyon modülü değerlerini düşürmektedir. Böylece tasarımın emniyeti artırılmaktadır.
- Etkin bir tasarım için  $S_N 8$  boru rijitliği, yüksek yataklama açısı ve gömleklemede yüksek zemin rijitliği tercih edilmelidir. Etkin bir tasarıma rağmen Tablo 3’te belirtilen zemin reaksiyon modüllerinden yüksek değerler çıkması durumunda; yüksek rijitlikte boru üretim yapan tesislerden  $S_N 8$  ( $kN/m^2$ ) üzeri rijitlikte imalat talebi veya Bölüm 2.3’te açıklanan beton gömlekleme uygulaması değerlendirilebilir.

#### **Yazar katkısı**

##### *Author contribution*

Yazarların araştırmaya olan katkı oranları eşittir ve çalışmanın her aşamasında birlikte görev yapmışlardır.

#### **Etik beyanı**

##### *Declaration of ethical code*

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

#### **Çıkar çatışması beyanı**

##### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### **Kaynaklar**

##### *References*

- Atık Su Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik (2017). *T.C. Resmi Gazete* (29940, 6 Ocak 2017).
- Ayalp, Ö. G. (2006). *Gömülü Borulara Etkiyen Zemin Yüklerinin Bulunması* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Balkaya, M. (2002). *Zemine Gömülü Boruların Mühendislik Davranışı* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bashir, R. (2000). *Analysis and design of buried pipelines* [Master Science Thesis, Diss. King Fahd University of Petroleum and Minerals].
- Birtane, T. (2010). *Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) spiral sarımlı borularda elastiklik modülü ile profil hatvesi arasındaki ilişkinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- CivilWeb Spreadsheets. (2020). *Loads on Buried Pipes*. <https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design-spreadsheets/buried-pipe-design-spreadsheet/loads-on-buried-pipes/>
- Çoban, S. (2014). *İçme suyu ve kanalizasyon boru hatlarının deprem performansı* [Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Dizayn Altyapı Sistemleri. (2022). *Kanalizasyon Boruları ve Ek Parçaları Teknik Kataloğu*. [http://yildizlimited.com/assets/9\\_dizayn\\_korige\\_boru.pdf](http://yildizlimited.com/assets/9_dizayn_korige_boru.pdf)
- Ece Boru Sistemleri (EBS). (2022). *Basınçlı ve basınçsız polietilen borular*. <http://www.ebsboru.com/kataloglar/ebs-pe-and-katalog.pdf>
- Howard, A. K. (2006, October). The reclamation E' table, 25 years later. *Plastic Pipes Symposium XIII*. Washington D.C.
- Kalde Boru Sistemleri. (2015). *Koruge Teknik Katalog*. [http://www.zengileryapi.com.tr/katalog/kalde1\\_katalog.pdf](http://www.zengileryapi.com.tr/katalog/kalde1_katalog.pdf)
- Moser, A. P., & Steven F. (2001). *Buried pipe design*. McGraw-Hill Education.
- Spangler, M. G. (1966). *Soil engineering*. International Textbook Co. Scranton.
- Terzi, N. U. (2007). *Gömülü borulara etkiyen düşey ve yatay yüklerin boru stabilitesine olan etkilerinin*

araştırılması [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Tulpar, H. (2010). *Kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boruların hidrolik ve maliyet açısından değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Watkins, R. K. (1999). *Structural mechanics of buried pipes*. First edition. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420049572>.

Yavuz, A. O. (2011). *Yüksek Yoğunluklu Polietilenden Üretilmiş Boruların, Dın 16961-2: 2010-03 Standardına Göre Halka Rijitliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü].

Yimsiri S., & Ratananikom W. (2021). Long-term response of flexible pipe in sand trench due to consolidation of native clay, *Soils and Foundations*, 61(4), 1018-1032, ISSN 0038-0806. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.05.003>.

## Cytotoxicity of silver nanoparticles obtained from *Eruca vesicaria* on the rainbow trout gonad cell line-2 (RTG-2)

Gökkuşluğu alabalığı gonad hücre hattı-2 (RTG-2) üzerinde *Eruca vesicaria*'dan elde edilen gümüş nanoparçacıkların sitotoksitesisi

Semra ÇİÇEK\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 25400, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 15.04.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.08.2022

### Abstract

The rising applications of silver (Ag) nanoparticles in many sectors such as food, medicine, and agriculture lead to toxic effects on the ecological environment. Thus, studies on biological synthesis methods are carried out in order to diminish the toxicity caused by Ag nanoparticle synthesis methods. However, studies on the toxicity of biosynthesized Ag nanoparticles on fish cell lines are very few. The purpose of this research was to perform the biological synthesis of Ag nanoparticles via *Eruca vesicaria* plant extract and to examine their toxicity in the rainbow trout gonad cell line-2 (RTG 2). The characterization of Ag nanoparticles obtained from *E. vesicaria* was done by UV-vis, TEM, and XRD. The toxicity of Ag nanoparticles (100 µg/mL- 6,25 µg/mL) in the RTG-2 cell for 24 hours was determined by sulforhodamine B assay. Ag nanoparticles were obtained in the form of a sphere, triangle, cube, and sizes of 5-20 nm showed significant a toxic effect on RTG-2 fish cells depending on the dose at  $p \leq 0,001$  levels. This study is important in terms of proving that Ag nanoparticles were obtained by biological synthesis have a toxic effect on fish cell lines and showing that there is a need for studies to reduce the release of Ag nanoparticles to the environment rather than synthesis methods.

**Keywords:** Biological synthesis, Cytotoxicity, *Eruca vesicaria*, RTG-2 cell line, Silver nanoparticle

### Öz

Gümüş (Ag) nanoparçacıklarının gıda, ilaç, tarım gibi birçok sektörde artan kullanımı ekolojik çevre üzerinde toksik etkilere yol açmaktadır. Bu nedenle Ag nanoparçacık sentez yöntemlerinin neden olduğu toksisiteyi azaltmak için biyolojik sentez yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, balık hücre hatlarında biyosentezlenmiş Ag nanoparçacıklarının toksisitesi üzerine yapılan çalışmalar çok azdır. Bu çalışmanın amacı, *Eruca vesicaria* bitki özü ile Ag nanoparçacıklarının biyolojik sentezini gerçekleştirmek ve gökkuşluğu alabalığı gonad hücre hattı-2'de (RTG 2) toksisitelerini incelemektir. *E. vesicaria*'dan elde edilen Ag nanoparçacıklarının karakterizasyonu UV-vis, TEM ve XRD ile yapılmıştır. Ag nanoparçacıklarının (100 µg/mL- 6,25 µg/mL) 24 saat boyunca RTG-2 hücresindeki toksisitesi sülforodamin B tahlili ile belirlendi. Küre, üçgen, küp ve 5-20 nm boyutlarında elde edilen Ag nanopartiküller,  $p \leq 0,001$  seviyelerinde doza bağlı olarak RTG-2 balık hücreleri üzerinde önemli toksik etki göstermiştir. Bu çalışma, biyolojik sentez yoluyla elde edilen Ag nanoparçacıklarının balık hücre hatları üzerinde toksik etkisinin olduğunu kanıtlanması ve sentez yöntemlerinden ziyade Ag nanoparçacıklarının çevreye salınımını azaltacak çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Biyolojik sentez, Sitotoksitesite, *Eruca vesicaria*, RTG-2 hücre hattı, Gümüş nanoparçacık

\* Semra ÇİÇEK; semra.cicek@atauni.edu.tr, Tel: (0537) 344 96 04, <https://orcid.org/0000-0002-2927-2793>

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Nanoparticles, which are called solid particles with a dimension range of 1-100 nm, exhibit improved properties including high biologic and chemical activity compared to bulk materials with the effect of their large surface area/volume proportion and quantum attraction forces (Tao et al. 2021). Therefore, studies on the use of nanoparticles are carried out in almost all areas where bulk materials are used, such as health, energy, communication, food, agriculture, chemistry, space technologies, cosmetic products, construction (Srivastava et al. 2021).

Silver (Ag) nanoparticles are one of the most studied metal nanoparticles. Because of the strong antimicrobial action of Ag nanoparticles, their use stands out especially in areas where hygiene and sanitation are very important such as health, medicine, sensing and imaging practices in food and biological compounds (Aritonang et al. 2019; Han et al. 2020; Velsankar et al. 2020). Global, the total guessed manufacture of Ag nanoparticles was almost 500 tonnes per year in 2009, and waiting for an increment of almost 900 tonnes by 2025 (Du et al. 2018; Islam et al. 2021). Physical, chemical and biological synthesis methods such as thermal separation, chemical reduction, electron irradiation, reduction in the presence of biological elements, laser ablation, self-assembly, photochemical reduction, microwave-assisted synthesis have been reported to obtain Ag. The existence of potential ecological and biological risks arising from the usage of poisonous chemical reagents in chemical and physical synthesis routes has increased the demand for biological synthesis routes nanoparticles, especially plant-based synthesis routes (Leon-silva et al. 2016; de Jesús Ruiz-Baltazar et al. 2018; Shahriary et al. 2018; Lee & Jun, 2019; Fırat Baran, 2019; Umaz et al. 2019; Ulaeto et al., 2020; Hatipoğlu, 2021). There are a large number of researches on the biological synthesis of Ag nanoparticles via the plant media (Dura et al. 2019; Karahan & Çölgeçen, 2021). However, a study on the synthesis of Ag nanoparticles via *Eruca vesicaria* has not been reported.

There are reports that biological synthesis pathways have less environmental toxicity due to the absence of synthetic chemicals compared to other methods (Bélteky et al. 2019; Gamboa et al. 2019). Aquatic organisms, which are one of the best indicators of environmental contamination, are very suitable for investigating nanoparticle toxicity

(Demir et al. 2020). Although there are many studies on the antimicrobial effects of Ag nanoparticles obtained by plant-based biological synthesis, there are few studies examining its ecotoxicological effects on aquatic organisms. *In vitro* studies are ideal tools for assessing chemical toxicity at the cellular level prior to *in vivo* studies (Bermejo-Nogales et al. 2017). The rainbow trout gonad cells (RTG-2) have been used widely as a standard fish cell line for toxicity assays and determined to be more responsive than standard mammalian cells (Vevers & Jha, 2008).

In this study, the aims were: 1) the biological synthesis of Ag nanoparticles via *Eruca vesicaria* and 2) the determine the cytotoxicity of Ag nanoparticles at different concentration on the RTG-2 cells using cell viability test.

## 2. Material and method

### 2. Materyal ve metot

#### 2.1. Preparation of *Eruca vesicaria* extract

##### 2.1. *Eruca vesicaria* ekstraktının hazırlanması

*Eruca vesicaria* plants were obtained from a local green grocery store located Erzurum, Turkey. 25 g of *E. vesicaria* plant leaves were weighed. Next, it was washed 2-3 times with tap water and distilled water at least two times to remove pollution such as sludge, dust, insect waste. After leaves were cut into small pieces, it was boiled with 200 mL distilled water at 75 °C for 15 min (boil for 5 min) and cooled at room temperature. The plant extract was filtered with Whatman filter paper No. 1 (Baran et al. 2022). Then, it was stored at refrigerator temperature (4 °C) for Ag nanoparticle synthesis.

#### 2.2. Biological synthesis of silver nanoparticles

##### 2.2. Gümüş nanoparçacıkların biyolojik sentezi

500 mL, 1 mM solution of AgNO<sub>3</sub> (Sigma-Aldrich Cas No: 7761-88-8) was prepared. 10 mL of *E. vesicaria* extract was mixed this solution and then, this mixture was kept in a dark closet because of avoid photo-activation of silver nitrate at room temperature. 1-2 min after the plant extract was added, the colorless AgNO<sub>3</sub> solution turned brown-red. This colour change confirmed the reduction from Ag<sup>+</sup> to Ag<sup>0</sup>. Then, centrifugation and washing were carried out at least 3 times in order to remove from the plant residues, respectively, and finally the product was dried in an oven (Memmert UN110) at 75 °C (Baran et al. 2021).

### 2.3. Physical and chemical characterization of silver nanoparticles

#### 2.3. Gümüş nanoparçacıkların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu

Characterization of the silver nanoparticles was performed using UV-vis spectral analysis, Transmission electron microscopy (TEM), and X-ray diffractometer (XRD). These analyses were done by using Shimadzu UV-visible spectrophotometer (UV-3600 Plus), Hitachi Ht7700 microscope, and PANalytical Empyrean X-ray diffractometer in DAYTAM, Atatürk University, respectively. The particle size and surface morphology of silver nanoparticles was analysed using TEM, operated at an accelerated voltage of 120 kV after sonicating ones for 1 h in ultrapure water. UV-vis spectrometer was used to record absorbance in the range of 200–1100 nm. Crystal structure of silver nanoparticles was examined by X-ray diffraction analysis with a Co-K $\alpha$ 1 radiation in the range of 10 to 90° (Behravan et al. 2019; Baran et al. 2021).

### 2.4. Growth of the rainbow trout gonadal cells (RTG-2) and treatment of silver nanoparticle

#### 2.4. Rainbow trout gonad hücrelerinin (RTG-2) büyütülmesi ve gümüş nanoparçacık uygulaması

The RTG-2 cell line was obtained from Türkiye Şap Enstitüsü, (Ankara, TURKEY). The RTG-2 cell line (passage 12-15 used for experiment) was cultured in Eagle's minimal essential medium (EMEM: with L-glutamin medium, ATCC 30-2003) supplemented with %10 fetal bovine serum (Biowest S1810-500) and %1 penicillin-streptomycin (Sigma P4333) at 22±2 °C. Cell cultures were kept in 25 cm<sup>2</sup> culture flasks (Isolab 120.11.025) and the medium was changed every 2 days. When cells covered 80% of the flask, they were removed using 0.5% trypsin/0.02% EDTA (Gibco 25200072). Then, cells were seeded into 96-well plates (Isolab 122.11.096) at 3x10<sup>4</sup> cells per well (final volume 130 µL medium) and incubated for 24 hours.

Ag nanoparticles at different concentrations (100 µg/mL- 6,25 µg/mL) were dissolved in the medium with the help of an ultrasonicator and applied to cells planted 24 hours ago on 96-well plates (n=6). Dimethylsulfoxide (DMSO Sigma Cas No: 67-68-5) was used as a positive control. After 24 hours of incubation, cell viability test was performed with sulforhodamine B (SRB Sigma Cas No: 3520-42-1) assay.

### 2.5. Cell viability assay

#### 2.5. Hücre canlılık testi

Developed in 1985 to measure cell proliferation and cytotoxicity, the SRB assay is a colorimetric method based on the in vitro measurement of the total protein content of cells. 24 hours after the application, 100 µl of 10% cold trichloroacetic acid (TCA Isolab CAS No:76-03-9 ) was added to each well and fixed at +4 °C for 1.5 hours. Then, TCA was removed from the plate (plate is poured by inverting). The wells were washed 5 times with deionized water to remove TCA. At the end of each wash, the plate was turned upside down and poured. Then, 50 µl of the SRB solution (0.04% wt/vol) was added to each well and kept at room temperature in the dark closet during 30 min. Then, the SRB was poured off the plate and the wells were washed 5 times with 1% acetic acid (Sigma Cas No: 64-19-7) to remove unbound dye, and the wells were dried in the cabinet without any drops. In order to dissolve the dye bound to the proteins, 10 mM tris base (150 µl/well) (Sigma 901.013.2500) was added and the plate was kept on a shaker for at least 10 min to homogenize the dye solution. (approximately 150rpm). Optical density was read at 564 nm on an ELISA reader (Biotek Epoch) (Vichai & Kirtikara 2006; Orellana & Kasinski 2016). The viability of untreated control cells was accepted as 100%, and the viability rates of the treated cells were calculated using the formula (1) below:

$$\% \text{ Viability} = \frac{100 \times (\text{Compound-treated cell absorbance mean} - \text{blind mean})}{(\text{Control cell absorbance mean} - \text{blind mean})} \quad (1)$$

### 2.6. Statistical analysis

#### 2.6. İstatistiksel analizler

Statistical evaluation of SRB test results was performed by Tukey pairwise comparison method of one-way ANOVA test. The difference between the results with a significance value less than 0.05 (p<0.05) was considered significant. SPSS 20 (IBM, USA) software was used for all statistical analyses (Sezgin et al. 2019).

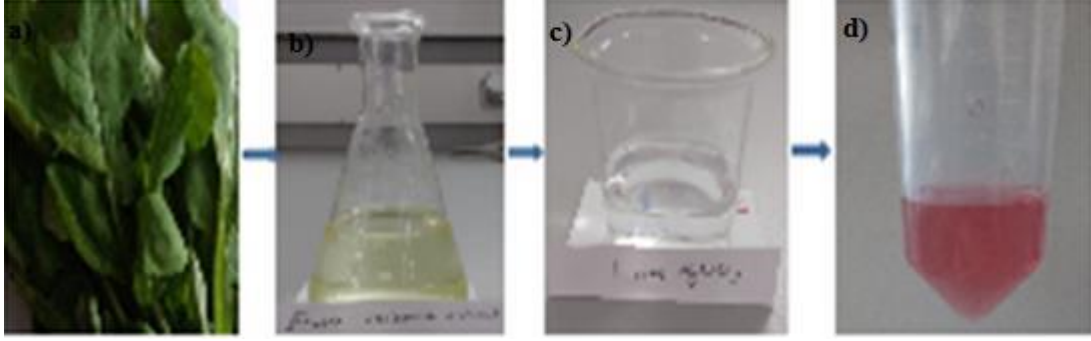
## 3. Results

### 3. Bulgular

#### 3.1. Biological Synthesis of Ag nanoparticles

##### 3.1. Gümüş nanoparçacıkların biyolojik sentezi

The biological synthesis of Ag nanoparticles was confirmed by macroscopic observation, with the reaction colour turning brown-red (Figure 1).



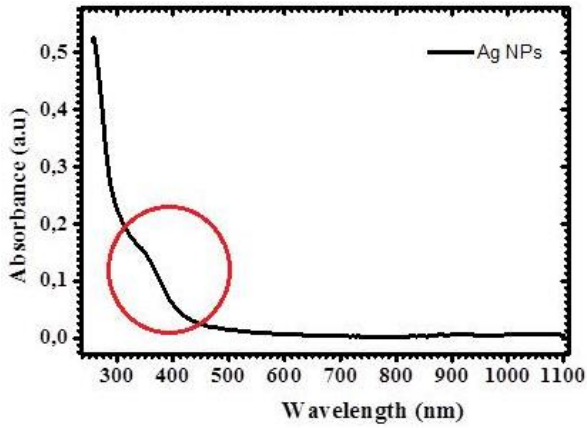
**Figure 1.** The biological synthesis of Ag nanoparticles a) *E. vesicaria* plant b) *E. vesicaria* plant extract c) 1 mM solution of  $AgNO_3$  d) Color change indicating the nanoparticle synthesis

**Şekil 1.** Ag nanoparçacıkların biyolojik sentezi a) *E. vesicaria* bitkisi b) *E. vesicaria* bitki ekstraktı c) 1 mM  $AgNO_3$  solüsyonu d) Nanopartikül sentezine işaret eden renk değişimi

### 3.2. Physical and chemical characterization of silver nanoparticles

#### 3.2. Gümüş nanoparçacıkların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu

UV-Vis spectra of Ag nanoparticles aqueous is given in Figure 2. The peaks of silver nanoparticles were found between 250 nm and 450 nm. Purely ionic silver may show a contribution in the near UV range, around 300 nm wavelength. Petit et al. (2021) reported that the emission at 290 nm, a broad excitation band centered at 230 nm was observed, attributed to  $Ag^+$  ion. (Petit et al. 2021)

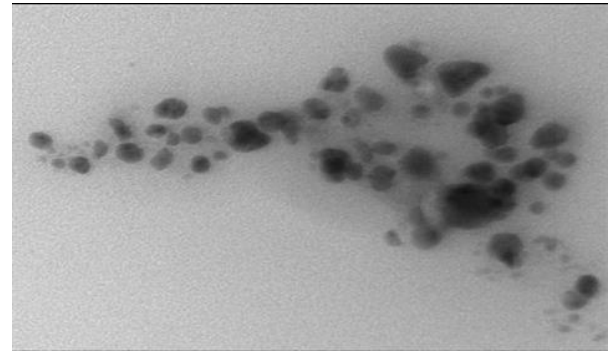


**Figure 2.** UV-vis spectrum of Ag nanoparticles

**Şekil 2.** Ag nanoparçacıkların UV-vis spektrumu

The TEM image of silver nanoparticles is given in Figure 3. Silver nanoparticles have diameter

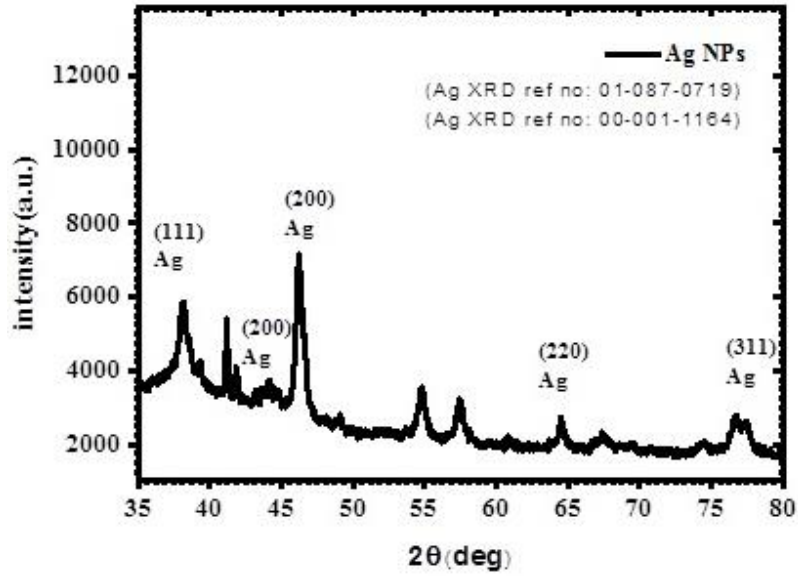
ranging from 5 to 20 nm and a few 20-40 nm. This figure shows individual silver particles as well as a few aggregates. The morphology of the silver nanoparticles was observed as spherical, triangular and cubic nanoparticles according to the TEM image. The large particles in the TEM image look different from the spherical shape. However, it should be taken into account that large particles were actually spherical, and particles overlapping on the grid may be caused misunderstanding in terms of shape.



**Figure 3.** TEM image of Ag nanoparticles

**Şekil 3.** Ag nanoparçacıkların TEM görüntüsü

X-ray diffraction pattern for silver nanoparticles represented Figure 4. The prominent peaks at  $2\theta = 38.08^\circ, 41.18^\circ, 46.25^\circ, 64.53^\circ,$  and  $76.76^\circ$  represents the (1 1 1), (2 0 0), (2 0 0), (220) and (311), respectively.



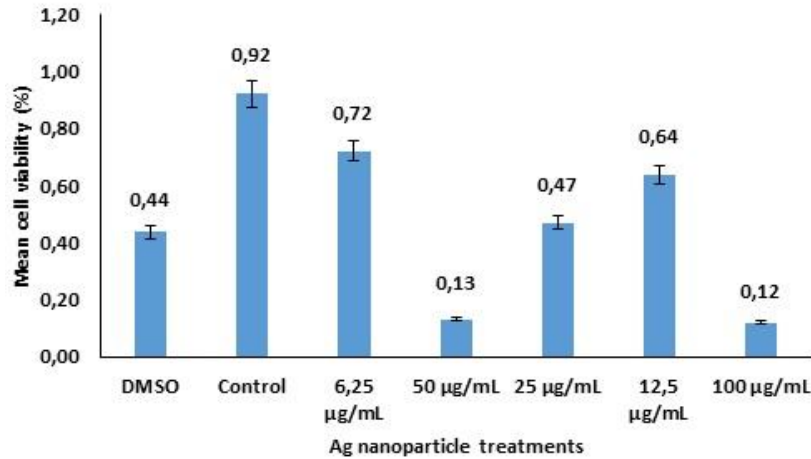
**Figure 4.** XRD spectrum of Ag nanoparticles  
**Şekil 4.** Ag nanoparçacıkların XRD spektrumu

### 3.3. Cytotoxicity of silver nanoparticles on the RTG-2 fish cells

#### 3.3. RTG-2 balık hücreleri üzerinde gümüş nanoparçacıkların sitotoksitesisi

Cytotoxicity of silver nanoparticles on the RTG-2 fish cells is given in Figure 5. The concentration (IC<sub>50</sub> value) at which Ag nanoparticles killed 50% of the population compared to the control group was determined as 25 µg/ml. When the control

group was accepted as 100% alive, the viability rate in this group was determined as 51.1%. Compared to the control group, all doses of Ag nanoparticle applied (100 µg/mL- 6,25 µg/mL) significantly reduced the viability of the RTG-2 fish cells. Compared to DMSO used as a positive control, 100 µg/mL and 50 µg/mL Ag nanoparticle applications have higher toxic effects. The toxicity of Ag nanoparticles was concentration dependent.



**Figure 5.** Cytotoxicity of Ag nanoparticles on the RTG-2 fish cells  
**Şekil 5.** Ag nanoparçacıkların RTG-2 balık hücreleri üzerine sitotoksitesisi

## 4. Discussion

### 4. Tartışma

At the stage of synthesis of Ag nanoparticles, while the colour of the AgNO<sub>3</sub> solution was white and the colour of the plant extract was yellowish green, a reddish colour that gradually darkened over time

was observed in the mixture of the two solutions. This is in accordance with the results obtained in other Ag nanoparticles biological synthesis researches (Abbas et al. 2017; Balachandar et al. 2019). Here, it is likely that phytochemicals of *E. vesicaria* such as alkaloids, alcohols, phenols,

saponins, terpenes and proteins play a role and reduce from  $\text{Ag}^+$  to  $\text{Ag}^0$  (Okaiyeto et al. 2021).

According to the UV visible spectrophotometer measurement, a high absorbance peak at approximately 250 nm gradually decreased, although it showed a very slight upward trend after approximately 360 nm, but it decreased (Figure 2). Ag nanoparticles showed absorbance values around 443 nm and 323 nm, respectively, in other studies using *Bidens Frondosa* and *Salvia officinalis* extracts (Abbas et al. 2017; Okaiyeto et al. 2021). Also, it has been reported in other studies that spherical shaped Ag nanoparticles show absorption peaks between 380 nm and 450 nm (De Aragão et al. 2016; Nogueira et al. 2019). Ag nanoparticles in spherical form observed in the TEM image (Figure 3) can explain the absorbance at wavelengths before 450 nm in the UV-vis spectrum. In the TEM image, it is clearly seen that Ag nanoparticles with an average size of 20 nm are in spherical, triangular and cubic shapes. The variable size of the nanoparticles may be due to the binding of protein and other molecules in the plant extract to the nanoparticle surface during the reduction of the nanoparticles. The size and shape forms obtained in this study are in accordance with the size and shape forms obtained in previous studies in which Ag nanoparticles were synthesized via plant extract (Okaiyeto et al. 2019; Alyousef et al. 2019; Gomathi et al. 2021). X-ray diffraction analysis was given in Figure 4 revealed the original Bragg reflection values of Ag nanoparticles; 38.08°, 41.18°, 46.25°, 64.53°, and 76.76° at 2 $\theta$  angle, which complied with 111, 200, 200, 220 and 311, demonstrating the face-centered cubic (FCC) crystalline structure of the Ag nanoparticles synthesized using extract of *E. vesicaria* as the reducing factor (Baghizadeh et al. 2015). The intense peak at 46.25° indicates a big grade of crystallinity. The high peaks at 44.50° and about 55.00° in the XRD spectra could be because of the presence of phytochemical and organic compounds in extract of *E. vesicaria* coating the surface of the synthesized Ag nanoparticles (Carmona et al. 2017; Kamaraj et al. 2017; Kora et al. 2020; Okaiyeto et al. 2021).

*In vivo* approaches are at the whole organism level, while *in vitro* studies (especially carried out in 2D) are at the cellular level and remain limited. Therefore, *in vitro* systems show less sensitivity when compared to *in vivo* systems. It was reported that LC<sub>50</sub> value in the juvenile rainbow trout was 3.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$  and IC<sub>50</sub> values ranged from 10.7 to 75.9  $\mu\text{g}/\text{mL}$  in the rainbow trout cell lines (RTL-W1, RTH-149, RTG-2) following Ag nanoparticle

(it obtained by chemical synthesis) treatment for 48 h (Johari et al. 2013; Connolly et al. 2015). The RTG-2 cell culture is one of the fish cell cultures that stand out especially in toxicity studies, as they have a high genetic similarity index with *in vivo* rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), do not require an exogenous metabolic system, and maintain their ability to metabolize toxic substances (Caminada et al. 2006). In this study, the lowest concentration of 6.25  $\mu\text{g}/\text{mL}$  and subsequent higher concentrations of 12.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , and 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  of Ag nanoparticles showed a significant toxic effects compared to the control group in the RTG-2 cells. Also, 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , and 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  of Ag nanoparticles showed a significant toxic effects compared to positive control treatment. Dissolution of Ag nanoparticles applied in this study in a medium containing 10% fetal bovine serum may also have contributed to these differences in IC<sub>50</sub> values arising from the differences between *in vitro* and *in vivo* systems. The concentrations of Ag nanoparticles that affect the cells in the culture medium containing fetal bovine serum may be lower due to the presence of serum proteins. Ag nanoparticles dissolved in bovine serum albumin-containing medium showed an effect at 31  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentration, while Ag nanoparticles dissolved in serum free medium showed effects with 2.5 and 4.9  $\mu\text{g}/\text{mL}$  concentrations in the rainbow trout primary hepatocytes (Farkas et al. 2010; Massarsky et al. 2014). In this study, fetal bovine serum was used to mimic the circulatory environment that nanoparticles are exposed to before they come into contact with gonad cells. Therefore, the usability of the RTG-2 cell line for cytotoxicity tests and its suitability for preliminary trials are obvious. In addition, the view that biological synthesis of silver nanoparticles reduces toxicity to organisms in the ecosystem, compared to chemical synthesis, is weakening. Consequently, there is a need for different approaches to reduce or prevent the release of Ag nanoparticles to the environment, especially living in aquatic ecosystems.

#### Acknowledgement

Teşekkür

The author would like to thank the editor and referee/referees for their contributions during the review and evaluation phase of the article.



**Author contribution***Yazar katkısı*

Semra ÇİÇEK: Research design, experimentation, analysis of data, writing of the article and approval of the final version.

**Declaration of ethical code***Etik beyanı*

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

**Conflicts of interest***Çıkar çatışması beyanı*

The author declares that there is no conflict of interest.

**References***Kaynaklar*

Abbas, Q. M. S., Phull, A. R., Rafiq, M., Hassan, M., Lee, K. H., & Seo, S. Y. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using *Bidens frondosa* extract and their tyrosinase activity. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 16(2), 763. PMID: 28979330

Adil, U. M. A. Z., Adil, K. O. Ç., Baran, M. F., Keskin, C., & Atalar, M. N. (2019). *Hypericum triquetrifolium* turra bitkisinden gümüş nanopartiküllerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobial etkinliğinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1467-1475. <https://doi.org/10.21597/jist.533115>

Alyousef, A. A., Arshad, M., AlAkeel, R., & Alqasim, A. (2019). Biogenic silver nanoparticles by *Myrtus communis* plant extract: biosynthesis, characterization and antibacterial activity. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33(1), 931-936. <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1629840>

Aritonang, H. F., Koleangan, H., & Wuntu, A. D. (2019). Synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of medicinal plants (*Impatiens balsamina* and *Lantana camara*) fresh leaves and analysis of antimicrobial activity. *International Journal of Microbiology*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8642303>

Baghizadeh, A., Ranjbar, S., Gupta, V. K., Asif, M., Pourseyedi, S., Karimi, M. J., & Mohammadinejad, R. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of *Calendula officinalis* in liquid phase. *Journal of*

*Molecular Liquids*, 207, 159-163. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.03.029>

Balachandar, R., Gurumoorthy, P., Karmegam, N., Barabadi, H., Subbaiya, R., Anand, K., & Saravanan, M. (2019). Plant-mediated synthesis, characterization and bactericidal potential of emerging silver nanoparticles using stem extract of *Phyllanthus pinnatus*: a recent advance in phytonanotechnology. *Journal of Cluster Science*, 30(6), 1481-1488. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01591-y>

Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Hatipoğlu, A., Yavuz, Ö., İrtegün Kandemir, S., & Eftekhari, A. (2022). Investigation of antimicrobial and cytotoxic properties and specification of silver nanoparticles (AgNPs) derived from *Cicer arietinum* L. green leaf extract. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 263. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.855136>

Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Kandemir, S. I., Valiyeva, M., Mehraliyeva, S., & Eftekhari, A. (2021). Ecofriendly/rapid synthesis of silver nanoparticles using extract of waste parts of artichoke (*Cynara scolymus* L.) and evaluation of their cytotoxic and antibacterial activities. *Journal of Nanomaterials*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2270472>

Behravan, M., Panahi, A. H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., & Mirzapour, A. (2019). Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.101>

Bélteky, P., Rónavári, A., Igaz, N., Szerencsés, B., Tóth, I. Y., Pfeiffer, I., & Kónya, Z. (2019). Silver nanoparticles: Aggregation behavior in biorelevant conditions and its impact on biological activity. *International journal of nanomedicine*, 14, 667. <https://doi.org/10.2147/IJN.S185965>

Bermejo-Nogales, A., Fernández-Cruz, M. L., & Navas, J. M. (2017). Fish cell lines as a tool for the ecotoxicity assessment and ranking of engineered nanomaterials. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 90, 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.09.029>

Caminada D, Escher C & Fent, K. (2006). Cytotoxicity of pharmaceuticals found in aquatic systems: Comparison of PLHC-1 and RTG-2 fish cell lines. *Aquatic Toxicology*, 79(2), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.05.010>

Carmona, E. R., Benito, N., Plaza, T., & Recio-Sánchez, G. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles by using leaf extracts from the

- endemic *Buddleja globosa* hope. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 10(4), 250-256. <https://doi.org/10.1080/17518253.2017.1360400>
- Connolly, M., Fernandez-Cruz, M. L., Quesada-Garcia, A., Alte, L., Segner, H., & Navas, J. M. (2015). Comparative cytotoxicity study of silver nanoparticles (AgNPs) in a variety of rainbow trout cell lines (RTL-W1, RTH-149, RTG-2) and primary hepatocytes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(5), 5386-5405. <https://doi.org/10.3390/ijerph120505386>
- de Aragão, A. P., de Oliveira, T. M., Quelemes, P. V., Perfeito, M. L. G., Araújo, M. C., Santiago, J., & Quaresma, P. (2016). JR de Souza de Almeida Leite, DA da Silva, Green synthesis of silver nanoparticles using the seaweed *gracilaria birdiae* and their antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.04.014>
- de Jesús Ruíz-Baltazar, Á., Reyes-López, S. Y., de Lourdes Mondragón-Sánchez, M., Estevez, M., Hernández-Martínez, A. R., & Pérez, R. (2018). Biosynthesis of Ag nanoparticles using *Cynara cardunculus* leaf extract: evaluation of their antibacterial and electrochemical activity. *Results in Physics*, 11, 1142-1149. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.11.032>
- Demir, V., Bucher, J., Kropf, C., Arenz, M., & Segner, H. (2020). Comparative study of cytotoxicity by platinum nanoparticles and ions *in vitro* systems based on fish cell lines. *Toxicology in vitro*, 66, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2020.104859>
- Du, J., Tang, J., Xu, S., Ge, J., Dong, Y., Li, H., & Jin, M. (2018). A review on silver nanoparticles-induced ecotoxicity and the underlying toxicity mechanisms. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 98, 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.08.003>
- Farkas, J., Christian, P., Urrea, J. A. G., Roos, N., Hassellöv, M., Tollefsen, K. E., & Thomas, K. V. (2010). Effects of silver and gold nanoparticles on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. *Aquatic Toxicology*, 96(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.09.016>
- Fırat Baran, M., (2019). *Prunus avium* kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 221-227. <https://doi.org/10.24012/dumf.487255>
- Gamboa, S. M., Rojas, E. R., Martínez, V. V., & Vega-Baudrit, J. (2019). Synthesis and characterization of silver nanoparticles and their application as an antibacterial agent. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 5, 166-173. <https://doi.org/10.15406/ijbsbe.2019.05.00172>
- Gomathi, A. C., Rajarathinam, S. X., Sadiq, A. M., & Rajeshkumar, S. (2020). Anticancer activity of silver nanoparticles synthesized using aqueous fruit shell extract of *Tamarindus indica* on MCF-7 human breast cancer cell line. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 55, 101376. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101376>
- Han, F., Lv, S., Li, Z., Jin, L., Fan, B., Zhang, J., & Li, J. (2020). Triple-synergistic 2D material-based dual-delivery antibiotic platform. *NPG Asia Materials*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41427-020-0195-x>
- Hatipoğlu, A. (2021). *Abelmoschus esculentus* yaprağı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 239-246. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.971246>
- Havva, A. T. A. R., & Çölgeçen, H. Gümüş Nanopartiküllerinin Biyosentezi ve Biyosensör Materyali Olarak Kullanımı. *Commagene Journal of Biology*, 5(2), 214-221. <https://doi.org/10.31594/commagene.941022>
- Islam, M. A., Jacob, M. V., & Antunes, E. (2021). A critical review on silver nanoparticles: From synthesis and applications to its mitigation through low-cost adsorption by biochar. *Journal of Environmental Management*, 281, 111918. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111918>
- Johari, S. A., Kalbassi, M. R., Soltani, M., & Yu, I. J. (2013). Toxicity comparison of colloidal silver nanoparticles in various life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1), 76-95. <http://hdl.handle.net/1834/11597>
- Kamaraj, C., Balasubramani, G., Siva, C., Raja, M., Balasubramanian, V., Raja, R. K., & Perumal, P. (2017). Ag nanoparticles synthesized using  $\beta$ -caryophyllene isolated from *Murraya koenigii*: antimalarial (*Plasmodium falciparum* 3D7) and anticancer activity (A549 and HeLa cell lines). *Journal of Cluster Science*, 28(3), 1667-1684. <https://doi.org/10.1007/s10876-017-1180-6>
- Kora, A. J., Mounika, J., & Jagadeeshwar, R. (2020). Rice leaf extract synthesized silver nanoparticles: An *in vitro* fungicidal evaluation against *Rhizoctonia solani*, the causative agent of sheath blight disease in rice. *Fungal Biology*, 124(7), 671-681. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.03.012>
- Lee, S. H., & Jun, B. H. (2019). Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine.

- International journal of molecular sciences*, 20(4), 865. <https://doi.org/10.3390/ijms20040865>
- Massarsky, A., Abraham, R., Nguyen, K. C., Rippstein, P., Tayabali, A. F., Trudeau, V. L., & Moon, T. W. (2014). Nanosilver cytotoxicity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) erythrocytes and hepatocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 159, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2013.09.008>
- Nogueira, S. S., de Araujo-Nobre, A. R., Mafud, A. C., Guimarães, M. A., Alves, M. M. M., Plácido, A., & Cardoso, V. S. (2019). Silver nanoparticle stabilized by hydrolyzed collagen and natural polymers: Synthesis, characterization and antibacterial-antifungal evaluation. *International journal of biological macromolecules*, 135, 808-814. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.214>
- Okaiyeto, K., Hoppe, H., & Okoh, A. I. (2021). Plant-based synthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Salvia officinalis*: characterization and its antiplasmodial activity. *Journal of Cluster Science*, 32(1), 101-109 <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01766-y>
- Okaiyeto, K., Ojemaye, M. O., Hoppe, H., Mabinya, L. V., & Okoh, A. I. (2019). Phytofabrication of silver/silver chloride nanoparticles using aqueous leaf extract of *Oedera genistifolia*: Characterization and antibacterial potential. *Molecules*, 24(23), 4382. <https://doi.org/10.3390/molecules24234382>
- Onur, D. U. R. A., Tülek, A., Sönmez, İ., Erdoğan, F. D., Yeşilayer, A., & Kepenekci, İ. (2019). *Lantana camara* L. (Lamiales: Verbenaceae)'nın sulu ekstraktı kullanılarak hazırlanan gümüş nanopartikül (AgNPs) uygulamalarının buğday gal nematodu [*Anguina tritici* Thorne, 1949 (Nematoda: Anguinidae)]'na etkileri. *Bitki Koruma Bülteni*, 59(2), 49-53. <https://doi.org/10.16955/bitkorb.485072>
- Orellana, E.A., & Kasinski, A.L. Sulforhodamine B (SRB) assay in cell culture to investigate cell proliferation. *Bio-protocol* 2016, 6(21), 1984-1985. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1984>
- Petit Y, Galleani G, Raffy G, Desmoulin JC, Jubera V, Del Guerzo A, & Cardinal, T. (2021). Three-dimensional high spatial localization of efficient resonant energy transfer from laser-assisted precipitated silver clusters to trivalent Europium ions. *Crystals*, 11(2), 148. <https://doi.org/10.3390/cryst11020148>
- Sezgin, Y., Çetin, M. B., İşeri, Ö. D., Terzi, Y. K., Özlem, N., & Alptekin, Ş. B. (2019). Farklı resveratrol konsantrasyonlarının gingival fibroblastlardaki hücre canlılığına etkisi. *Ege Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 40(3), 147-152. <https://doi.org/10.5505/eudfd.2019.60565>
- Shahriary, M., Veisi, H., Hekmati, M., & Hemmati, S. (2018). In situ green synthesis of Ag nanoparticles on herbal tea extract (*Stachys lavandulifolia*)-modified magnetic iron oxide nanoparticles as antibacterial agent and their 4-nitrophenol catalytic reduction activity. *Materials Science and Engineering: C*, 90, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.04.044>
- Silva, S. L., Fernández-Luqueño, F., & López-Valdez, F. (2016). ``Silver nanoparticles (AgNP) in the environment: a review of potential risks on human and environmental health``September 2016. *Water Air and Soil Pollution*, 227(9), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3022-9>
- Srivastava, S., Usmani, Z., Atanasov, A. G., Singh, V. K., Singh, N. P., Abdel-Azeem, A. M., & Bhargava, A. (2021). Biological nanofactories: using living forms for metal nanoparticle synthesis. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 21(2), 245-265. <https://doi.org/10.2174/1389557520999201116163012>
- Tao, H., Wu, T., Aldeghi, M., Wu, T. C., Aspuru-Guzik, A., & Kumacheva, E. (2021). Nanoparticle synthesis assisted by machine learning. *Nature Reviews Materials*, 6(8), 701-716. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00337-5>
- Ulaeto, S. B., Mathew, G. M., Pancrecius, J. K., Nair, J. B., Rajan, T. P. D., Maiti, K. K., & Pai, B. C. (2019). Biogenic Ag nanoparticles from neem extract: their structural evaluation and antimicrobial effects against *Pseudomonas nitroreducens* and *Aspergillus unguis* (NII 08123). *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 6(1), 235-245. <https://doi.org/10.1021/acsbmaterials.9b01257>
- Velsankar, K., Preethi, R., Ram, P. S., Ramesh, M., & Sudhakar, S. (2020). Evaluations of biosynthesized Ag nanoparticles via *Allium Sativum* flower extract in biological applications. *Applied Nanoscience*, 10(9), 3675-3691. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01463-2>
- Vevers, W. F., & Jha, A. N. (2008). Genotoxic and cytotoxic potential of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) nanoparticles on fish cells *in vitro*. *Ecotoxicology*, 17(5), 410-420. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0226-9>
- Vishai, V., & Kirtikara, K. (2006). Sulforhodamine B colorimetric assay for cytotoxicity screening. *Nature Protocols*, 1(3), 1112-1116. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.179>

## Doğrudan moment kontrolüne stator direncinin etkisinin incelenmesi ve sürekli mıknatıslı senkron motora uygulaması

*Investigation of the effect of stator resistance on direct torque control and application of permanent magnet synchronous motor*

**Ebubekir BOZKURT\*<sup>1,a</sup>, Mehmet POLAT<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 12000, Bingöl

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 04.01.2022

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 05.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.08.2022

### Öz

Sürekli mıknatıslı senkron motorlar güç elektroniğindeki teknolojik gelişmelerle birlikte bazı üstün özellikleri sebebiyle kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir motor türüdür. Bu motorların sıfır hızda bile maksimum moment üretebilmeleri, bakım maliyetlerinin düşük, güç/ağırlık oranının yüksek olması kullanımını artırmıştır. Bu çalışmada vektör kontrol yöntemlerinden doğrudan moment kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem motorun çalışmasına bağlı olarak sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen stator sargı direncinin değişimi göz önünde bulundurularak incelenmiş ve gerilim kaynaklı gerilim kontrollü bir everici devresi kullanılarak sürekli mıknatıslı senkron motora uygulanmıştır. Motorun modellenmesi d-q modeli ile yapılmış ve benzetim çalışmasında bu model kullanılmıştır. Motorun doğrudan moment kontrolünü gerçekleştirmek için motora uygulanan akım ve gerilim bilgileri kullanılarak moment ve akı hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen akı ve moment hataları histerezis karşılaştırıcıya giriş olarak uygulanmıştır. Evirici kontrolünde kullanılan darbe genişlik modülasyon yöntemindeki anahtarlama stratejileri histerezis çıkıştan elde edilen veriler kullanılarak sürekli mıknatıslı senkron motorun moment ve hız kontrolünü gerçekleştirmiştir. Sargı direncinin sıcaklıkla değişimi, motorun farklı hız ve moment kontrolü üzerindeki etkisi diğer tüm motor parametreleri sabit tutularak incelenmiştir. Benzetim çalışmaları ile stator sargı direncinin motorun hız ve moment kontrolü üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doğrudan moment kontrolü, Hız kontrolü, Modelleme, Sargı direncinin etkisi, Sürekli mıknatıslı senkron motor

### Abstract

Permanent magnet synchronous motors are a type of motor that is becoming more and more popular due to some superior features together with the technological developments in power electronics. The fact that these motors can produce maximum torque even at zero speed, low maintenance costs and high power/weight ratio has increased their use. In this study, the direct torque control method from vector control methods was used. This method has been investigated by considering the change in the stator winding resistance caused by the temperature increase depending on the operation of the motor and has been applied to a permanent magnet synchronous motor by using a voltage-sourced voltage-controlled inverter circuit. The modeling of the electric motor has done with the d-q model and this model has used in the simulation study. In order to realize the direct torque control of the motor, torque and flux calculations have been made using the current and voltage data applied to the motor. The obtained flux and torque errors have been applied as input to the hysteresis comparator. The switching strategies in the pulse width modulation method used in the inverter control have realized the torque and speed control of the permanent magnet synchronous motor by using the data obtained from the hysteresis output. The variation of winding resistance with temperature and its effect on different speeds and torque control of the motor has been investigated by keeping all other motor parameters constant. The effect of the stator winding resistance on the speed and torque control of the motor has been shown in simulation studies.

**Keywords:** Direct torque control, Speed control, Modelling, Effect of winding resistance, Permanent magnet synchronous motor

\*a Ebubekir Bozkurt; ebozkurt@bingol.edu.tr, orcid.org/0000-0001-9335-7188

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6188-8726

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Sürekli mıknatıslı senkron motorlar (SMSM), yüksek verimlilikleri, güç yoğunluğu ve kontrol performansları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motorun yapısına benzer yapıda olan SMSM, asenkron motorun rotor yapısı kaldırılıp yerine mıknatısların yerleştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu durum asenkron motorlarda kullanılan kısa devre çubuklarının kullanılmasını ortadan kaldırarak asenkron motorun rotorunda meydana gelen demir ve bakır kayıplarını ortadan kaldırmış ve bu yönüyle önemli sayılabilecek düzeyde verim artışı sağlayarak SMSM kendini ön plana çıkarmıştır (Asker, 2009; Çelik 2012).

Günümüzde SMSM'lerin yüksek verimlilik ve moment yoğunluğu, güç/ağırlık oranının büyüklüğü ve güvenilir çalışması sayesinde kullanımı yaygınlaşmıştır. SMSM'ler çoğunlukla yüksek performans gerektiren robot teknolojileri başta olmak üzere, CNC makinelerde, asansör kapılarında ve ana tahrik sistemlerinde, raylı sistemlerde, gemilerin elektrikli tahrik sistemlerinde, çamaşır ve bulaşık makinelerinde, servo sistemlerde, elektrikli araçlarda, döner salınımlı mikro matkaplarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Araz & Yılmaz, 2020; Dalcalı & Ocak, 2018, Kıvanc & Öztürk, 2018; Zhang vd, 2020).

Zhang ve Liu 2019 yaptıkları çalışmada yüksek kararlı performans elde etmek ve geleneksel anahtarlama tablolı doğrudan moment kontrolünde (ATDMK) göz ardı edilen stator akı dalgalanmalarını azaltmak için yeni bir görev oranı modülasyonlu doğrudan moment kontrolünü önermişlerdir. Önerilen yöntemde moment ve stator akısından elde edilebilen makine açılma hızı,  $d$  ve  $q$  eksen akım hatası bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Farklı gerilim vektörleri altındaki  $d$  ve  $q$  eksen akım eğrileri, görev oranının belirlenmesinde temel oluşturmak üzere sunulmuştur. Sunulan yöntemin performansı, simülasyonlar ve deneylerle geleneksel ATDMK ile karşılaştırılmış, moment ve stator akısının olağanüstü sabit durum performansı sunduğu gösterilmiştir (Zhang & Liu, 2019).

SMSM'ler doğrudan şebeke bağlantısı ile çalıştırılmadıklarından dolayı skaler veya vektör kontrol yöntemlerinden birine ihtiyaç duymaktadırlar. Vektör kontrol yöntemi alan yönlendirmeli kontrol ve doğrudan moment kontrolü (DMK) olmak üzere iki farklı metotta

uygulanmaktadır. DMK'nın temel fikri, stator akısını ve momentini bir histerezis bant içerisinde tutmak için anahtarlama tablosundan uygun gerilim vektörlerinden birini seçerek motor momentini ve stator akısını kontrol etmeye dayanmaktadır. DMK, alan yönlendirmeli kontrol ile karşılaştırıldığında karmaşıklığının ve parametre bağımlılığının daha az olması avantajının yanı sıra sisteme kolay uygulamasını, mükemmel dinamik performans ve sağlam kontrolün yapılmasını sağlamaktadır. Bu avantajlarından dolayı iki seviyeli evirici, üç seviyeli evirici ve matris dönüştürücü gibi dönüştürücüler tarafından beslenen motor sürücülerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Vaez, 2018; Deng vd, 2021; Wang vd, 2017).

Zhong ve arkadaşları ise ilk olarak stator akısı ile rotor akısı arasındaki açığı dikkate alarak moment ifadesini türetmişlerdir. Daha sonra stator akısının genliğinin ve dönme hızının kontrolü analiz edilmiştir. Son olarak, DMK'lı bir SMSM sürücüsü önerilmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarıyla önerilen kontrol yöntemini doğrulayıp DMK altındaki moment yanıtının akım kontrolü altındakinden çok daha hızlı olduğunu göstermişlerdir (Zhong vd, 1997).

DMK'nın en büyük dezavantajlarından biri moment dalgalanması, temel olarak sınırlı sayıda uygulanabilen gerilim vektörü ile histerezis karşılaştırıcılarının varlığından kaynaklanmaktadır. DMK kullanılmaya başladığından beri özellikle moment dalgalanması üzerine pek çok araştırma yapılmış ve bu problem çözülmeye çalışılmıştır. Akıyı ve momentini kontrol etmek için çok seviyeli evirici kullanarak daha fazla sayıda gerilim vektörü ile moment dalgalanmaları azaltılabilir. Bu durumda ise anahtarlama performansı çok iyi olan anahtarlama elemanlarına ihtiyaç duyulmakta ve maliyet artmaktadır. DMK, elektrikli sürücülerin hareket kontrolünde, özellikle geleneksel anahtarlama tablolı DMK (AT-DMK) ve uzay vektör modülasyonu (UVM) tabanlı DMK (UVM-DMK) için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, AT-DMK ile ilişkili sorunları ele almak için çok sayıda iyileştirilmiş DMK şeması önerilmiş ve geliştirilmiştir. Klasik AT-DMK şeması taraması hızlı dinamik yanıt sağlar, ancak kararlı durumda çalışma sırasında farklı moment ve akı dalgalanmalarından zarar görebilir. Öte yandan, klasik UVM-DMK şemaları moment ve akıda daha düşük dalgalanmalara sahiptir, ancak bu yöntemler DMK'nın dinamik yanıtını yavaşlatır. Bunların dışında sezgisel yöntemler kullanılarak, değiştirilmiş anahtarlama tablolarını dâhil ederek

veya çok seviyeli eviriciler kullanarak mevcut gerilim vektörlerinin sayısını artırarak bu problemin üstesinden gelinmiştir. Ancak bu iyileştirmeler, artan devre karmaşıklığı ve ekstra donanım maliyeti ortaya çıkarmaktadır (Ye vd, 2010; Hartani, 2013; Wang vd, 2020).

Li ve ekibi ise geri beslemeli doğrusallaştırma tabanlı doğrudan moment kontrolünü (FL-DMK) geniş hız aralıklı işlemler için gömülü miknatıslı SMSM sürücüler için önermişlerdir. Parametre hatalarını göz önünde bulundurarak, bu kontrol yapısını yani genel FL-DMK tasarımını tamamlamak için PI FL-DMK ve geleneksel AT-FL-DMK olmak üzere iki farklı kontrolör tasarımı sunulmuştur. Farklı yük ve hız koşulları altında, önerilen şema sadece iyi sabit durum ve dinamik performanslar değil, aynı zamanda parametre hatalarına karşı dayanıklılık da göstermiştir. Çalışmanın sonucu olarak parametre hataları geçici tepki süresini biraz etkilese de, kararlı durum momentinin ve akımın dalgalanma içermediğini göstermişlerdir (Li vd, 2021).

Wang ve Xu tarafından üç fazlı SMSM sürücüler için yeni bir hibrit DMK şeması önerilmiştir. Dinamik durum ve sabit durum altındaki çalışma modlarında inverter anahtarlama için farklı moment kontrol yöntemleri önermişlerdir. Moment ve stator akısı için yeni bir ayrıştırılmış kontrol modeli tasarlanmıştır. Gerilim vektörünün momenti değiştirme yeteneği, dinamik işlem sırasında ayrıştırılmış kontrol ile tam olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, önerilen hibrit DMK şeması tarafından hem hızlı dinamik yanıt hem de iyi sabit durum performansı sunulmuşlardır. Ek olarak, iki çalışma modu arasında sorunsuz geçişi sağlamak için üstün mod geçiş yöntemi tasarlanmıştır. Bu yolla, dinamik süreç altındaki çalışma modu, zaman içinde sabit durumdaki çalışma moduna geri döndürülebilir ve böylece momentin aşılması önlenmiştir (Wang vd, 2017).

Cao ve arkadaşları ise güvenilir elektrikli ulaşım uygulamalarıyla çok fazlı ISMSM sürücüler için yeni bir doğrudan moment modeli tahmini kontrol (DMK-MÖK) tekniği sunulmuştur. Önerilen kestirimci kontrol tekniği, motorun geliştirilmiş momentini ve net stator akısını önceden ayarlanmış tolerans sınırları içinde korurken sistem düzeyinde kayıpları en aza indirgenmektedir. Geliştirilen yaklaşımın etkinliğini ve potansiyelini doğrulamak için hem bilgisayar benzetim çalışmaları hem de dSPACE DS1104 HIL uygulamaları ortaklaşa kullanılmıştır. Başarılı deneysel sonuçlar, önerilen DMK-MÖK yönteminin yüksek performanslı elektrikli ulaşım için umut verici bir çözüm olarak

hizmet edebileceğini kanıtlamışlardır (Cao vd, 2021).

Motor kontrolünde; moment ve hız, sıcaklığın artmasıyla stator direncinde meydana gelen değişimlerden etkilenmektedir. Motor moment ve hızında meydana gelen hataları ve dalgalanmaları azaltmak için stator direncinin motor çalışma esnasında güncellenmesi ve sisteme uygulanması gerekmektedir (Kürüm & Akın, 2018). Bu sebeple direnç hatasını azaltarak sistemin performansını arttırmak için genişletilmiş kalman filtresi ile stator direnç tahmini (Zhu vd, 2007), doğru akım sinyal enjeksiyonuna dayalı stator sargı direnci tahmini (Baneira vd, 2019), akım enjeksiyonu yoluyla sargı direnci tespit etme teknikleri kullanılan yöntemlerden bazıları olmuştur (Wilson vd, 2010).

Bu çalışmada DMK teknikleri incelendikten sonra SMSM'ye ait matematiksel denklemler elde edilerek motor modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu model kullanılarak motorun MATLAB/Simulink üzerindeki modellemesi ve motor kontrolünün gerçekleştirilmesi için AT-DMK modeli oluşturulmuş, motor sıcaklığına bağlı olarak stator sargısında meydana gelen direnç değişimleri hesaplanmış, kontrole uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bu model üzerinde çeşitli moment ve açısal hızlarda motor benzetimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan benzetimin doğruluğunun incelenmesi için motora sabit veya değişken moment ile farklı zamanlarda değişen açısal hız uygulanarak motorun verdiği akım tepkisi incelenmiştir. Aynı zamanda motorun değişken hız ve moment ile benzetimi gerçekleştirilerek verilen referans değerleri sağlayabildiği durumu ve moment değişimlerinde motor akımında meydana gelen tepkiler incelenmiştir. Son olarak motorun stator direnç değişimlerinin kontrol üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kontrolörde kullanılan stator direnç parametresi motor sıcaklığına göre güncellendiği veya sabit tutulduğu durumlardaki kontrolünün davranışları analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

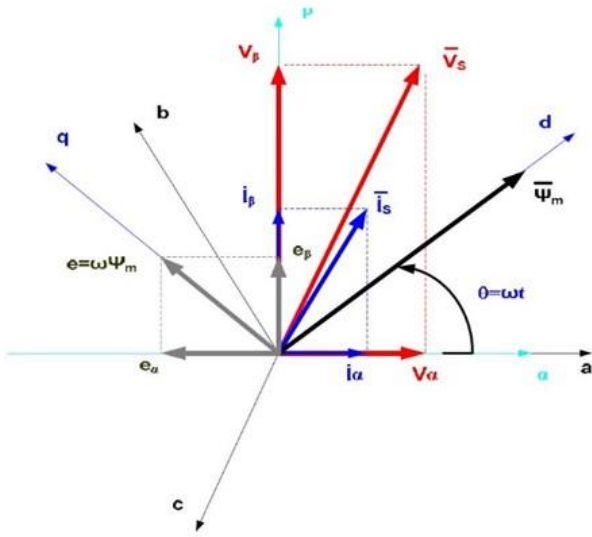
### 2. Material and method

#### 2.1 Yöntem

##### 2.1. Method

SMSM içeren ürünlerin sürülmesinde kontrol kartına ve kontrol yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda SMSM kontrolü üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Deneysel çalışmanın doğrudan motor üzerinde uygulanması yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacağından

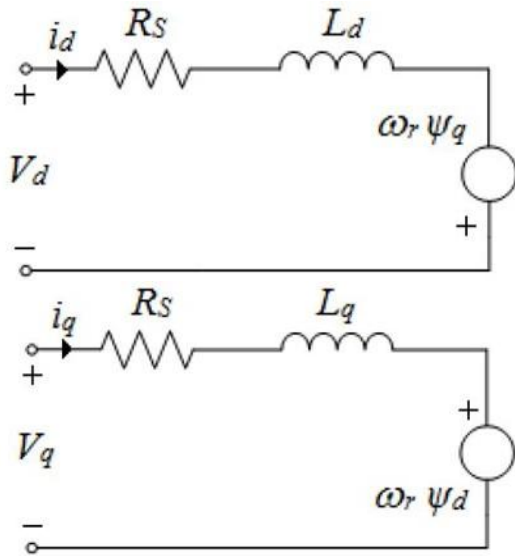




**Şekil 2.** Sürekli mıknatıslı senkron motorun vektör diyagramı (abc,  $\alpha$ - $\beta$  ve d-q referans düzlemleri) (Asker, 2009).

**Figure 2.** Vector diagram of permanent magnet synchronous motor (abc,  $\alpha$ - $\beta$  and d-q reference planes) (Asker, 2009).

SMSM'ye ait d-q eşdeğer devresi dönüşüm denklemleri kullanılarak Şekil 3'te verildiği gibi elde edilir.



**Şekil 3.** Sürekli mıknatıslı senkron motorun d-q eşdeğer devresi.

**Figure 3.** The d-q equivalent circuit of permanent magnet synchronous motor.

SMSM d-q eşdeğer devresi kullanılarak aşağıdaki gerilim denklemleri yazılır.

$$V_d = R_s i_d + \frac{d}{dt} \Psi_d - \omega_r \Psi_q \quad (1)$$

$$V_q = R_s i_q + \frac{d}{dt} \Psi_q + \omega_r \Psi_d \quad (2)$$

Burada d-q eksen gerilimleri  $V_d$  ve  $V_q$  ile, d-q eksen akımları  $i_d$  ve  $i_q$  ile, d-q eksen akıları  $\Psi_d$  ve  $\Psi_q$  ile ifade edilir.

$\Psi_d$  ve  $\Psi_q$  akı denklemleri aşağıdaki gibi yazılır;

$$\Psi_d = L_d i_d + \Psi_M \quad (3)$$

$$\Psi_q = L_q i_q \quad (4)$$

Burada ifade edilen  $\Psi_M$  mıknatıs akısını,  $L_d$  ve  $L_q$  değişkenleri ise sırasıyla d ve q eksenine indirgenmiş endüktans değerlerini ifade etmektedir. Denklem 3 ile verilen ifade Denklem 1'de ve Denklem 4 ile verilen ifade Denklem 2'de yerine yazılarak denklem genişletilirse d-q eksen gerilimlerinin yeni denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_d = R_s i_d + \frac{d}{dt} \Psi_d - \omega_r L_q i_q \quad (5)$$

$$V_q = R_s i_q + \frac{d}{dt} \Psi_q + \omega_r L_d i_d + \omega_r \Psi_M \quad (6)$$

SMSM'nin elektriksel momenti d-q eksen takımına göre aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_d i_q - \Psi_q i_d] \quad (7)$$

Denklem 3 ile verilen  $\Psi_d$  eksen akısı ve Denklem 4 ile verilen  $\Psi_q$  eksen akısı Denklem 7 ile verilen  $T_e$  moment denkleminde yerine yazılırsa, Denklem 8 elde edilir.

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_M i_q + (L_d - L_q) i_q i_d] \quad (8)$$

Denklem 8 ile verilen SMSM elektriksel moment denkleminde  $\Psi_M i_q$  ifadesi mıknatıslar tarafından üretilen momenti,  $(L_d - L_q) i_q i_d$  ifadesi relüktans momentini göstermektedir. Yüzey mıknatıslı SMSM'lerde  $L_d$  ve  $L_q$  indüktans değerleri  $L_d = L_q$  birbirine eşittir. Bu yüzden yüzey mıknatıslı SMSM'ler için elektriksel moment denkleminin Denklem 9'daki gibi ifade edilir.

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_M i_q] \quad (9)$$

Gömülü mıknatıslı SMSM'lerde  $L_d$  ve  $L_q$  indüktans değerleri farklı olduğundan bu tür motorlarda Denklem 8 ile verilen elektriksel moment denkleminin kullanılır. Newton'un ikinci



yasası kullanılarak SMSM'ye ait hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_e - T_y = J \left( \frac{1}{p} \right) \frac{d\omega_e}{dt} + B_m \left( \frac{1}{p} \right) \omega_e \quad (10)$$

Bu denklemde J motor atalet momentini,  $T_y$  motor yük momentini,  $B_m$  motorun hareketi esnasında meydana gelen sürtünme katsayısını ve p kutup çifti sayısını ifade etmektedir.  $\theta_e$ 'nin motorun elektriksel konumunu ifade ederken  $\omega_e$  motorun elektriksel açısal hızını ifade etmekte ve bu iki ifade arasındaki bağlantı Denklem 11'de yazıldığı gibi ifade edilmektedir.

$$\omega_e = \frac{d\theta_e}{dt} \quad (11)$$

$\theta_r$  motor açısal konumu ile  $\theta_e$  motor elektriksel açısal konumu arasındaki bağıntı Denklem 12'de,  $\omega_r$  motorun açısal hızını ifade etmekte olup motorun elektriksel açısal hızını ifade eden  $\omega_e$  ile arasındaki bağıntı Denklem 13'te verilmiştir.

$$\theta_r = \frac{1}{p} \theta_e \quad (12)$$

$$\omega_r = \frac{1}{p} \omega_e \quad (13)$$

Denklem 1-8 ile verilen eşitlikler kullanılarak SMSM'nin benzetim modeli oluşturulur. Bu model gerçek bir deney setinde bulunan motorun kendisini temsil etmektedir. Bu sayede motorun kendisini kullanmak yerine benzetimi kullanılarak bilgisayar üzerinde kontrol işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

### 2.3. Anahtarlama tablolü doğrudan moment kontrolü yapısı

#### 2.3. Direct torque control structure with switching table

DMK temelde üç etki tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu etkiler moment, stator akısı ve d-q eksen akılarından elde edilen rotor açısı değerleridir. AT-DMK'nın temel çalışma prensibi SMSM'den elde edilen faz akımlarını kullanarak motorun moment, akı ve motor konumunun tahmin edilmesiyle motora referans olarak verilen moment ve akının, tahmin edilen değerlerle arasındaki hataya bağlı olarak bir gerilim vektörü seçme mantığına dayanmaktadır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi moment hatası, stator akı hatası histerezis kontrole girmekte ve histerezis kontrolden çıkan büyüklükler ile d-q eksen akılarından elde edilen açıyla hesaplanan sektör

anahtarlama tablosuna giriş olarak uygulanmaktadır. Anahtarlama tablosuna uygulanan büyüklüklere göre uygun anahtarlama gerilim vektörleri seçilerek evirici anahtarları tetiklenmekte ve motora uygun gerilim vektörleri gönderilmektedir.

Stator akı hesabı motorun  $\alpha$ - $\beta$  eksenindeki gerilim, akım ve direnç değerinden yararlanılarak Denklem 14- 16 kullanılarak hesaplanmaktadır. Akı hatasının bulunması için bu denklemlerden elde edilen  $\Psi_s$  kullanılmaktadır.

$$\Psi_\alpha = \int (V_\alpha - R i_\alpha) dt \quad (14)$$

$$\Psi_\beta = \int (V_\beta - R i_\beta) dt \quad (15)$$

$$\Psi_s = \sqrt{(\Psi_\alpha)^2 + (\Psi_\beta)^2} \quad (16)$$

Motor momenti motorun  $\alpha$ - $\beta$  eksenindeki akıları, akımları ve motorun kutup sayısı kullanılarak hesaplanmaktadır.  $T_e$  moment değeri Denklem 17'deki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$T_e = \frac{2}{3} p (\Psi_\alpha i_\beta - \Psi_\beta i_\alpha) \quad (17)$$

Sektör belirleme işlemi ise stator uzay vektör konumu dikkate alınarak yapılmaktadır. Her sektör aralığı 60 derece olmak üzere 6 sektörden oluşmaktadır.

### 2.4. Benzetim çalışması

#### 2.4. Simulation study

Şekil 1 ile verilen AT-DMK sürücü sistemi gerilim modeline ait kontrol şemasının benzetimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te verildiği gibi SMSM'nin AT-DMK Matlab/simulink modeli, Akı-moment-sektör hesabı, anahtarlama tablosu ve histerezis karşılaştırıcı, 3 faz evirici ve son olarak PI kontrol bloklarından meydana gelmektedir. Benzetimde de görüldüğü gibi motor modelinden akım ve gerilim bilgileri alınarak motorun akısı, elektriksel momenti ve sektör bilgileri hesaplanmaktadır. Ayrıca motorun açısal hız bilgisi alınarak referans hızla karşılaştırılmaktadır. Buradan elde edilen akı ve elektriksel moment hataları histerezis karşılaştırıcıya girmekte ve AT-DMK için akı histerezis karşılaştırıcıdan 1 veya 0 değerleri, moment histerezis karşılaştırıcıdan 1, 0, -1 değerleri çıkış olarak üretilmektedir. Motor hız kontrolü için klasik PI kullanılmıştır. Sabit oransal kp katsayısı ve sabit integral ki katsayısı kullanılarak farklı yük ve hız durumlarında motorun davranışı incelenmiştir.

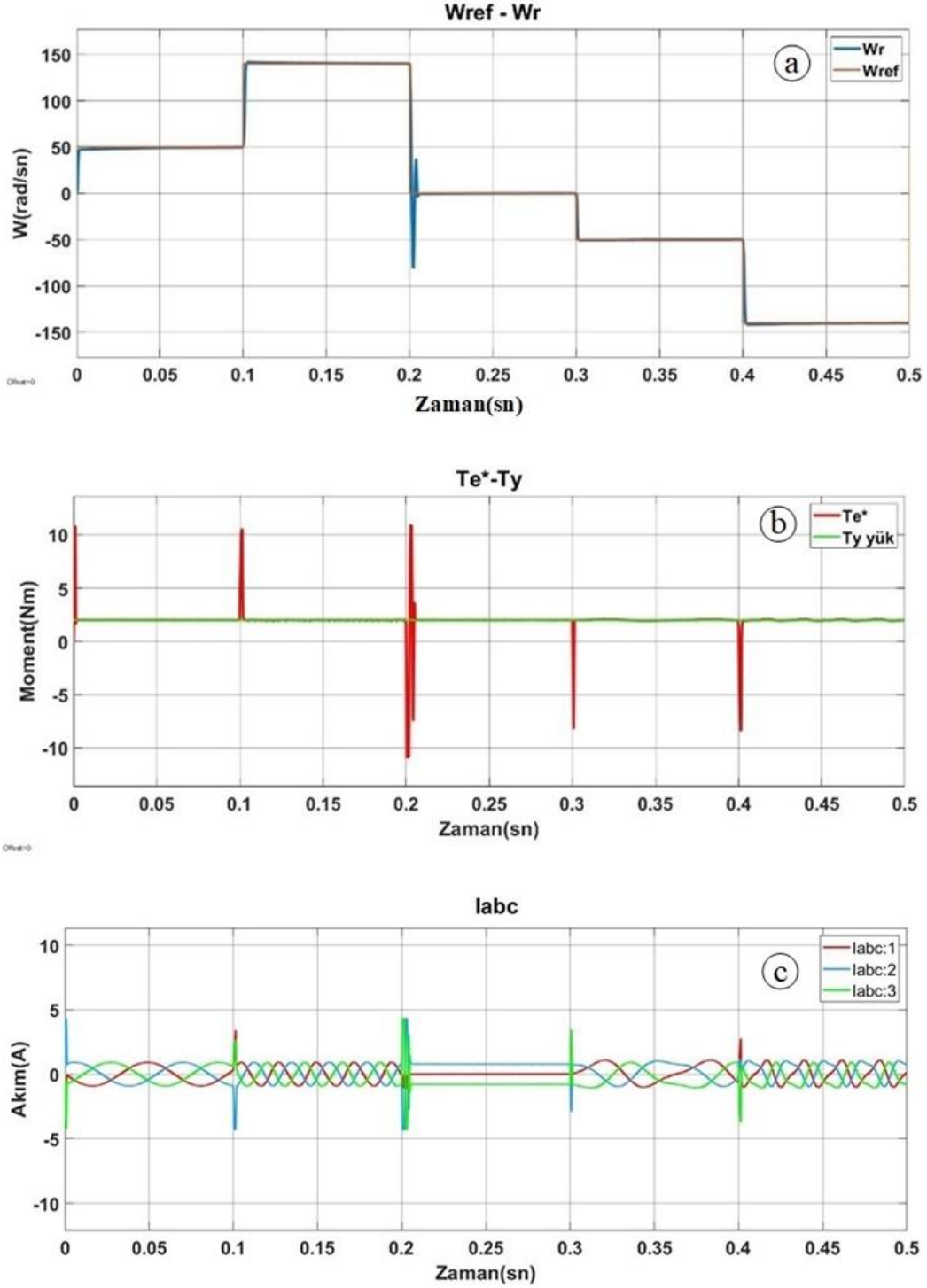


### 3.1. Dört bölge AT-DMK benzetimi

#### 3.1. Four-zone ST-DTC simulation

MATLAB/Simulink modeli oluşturulan SMSM'nin benzetim çalışmasında PI ( $k_p=0.53$ ,  $k_i=14$ ) parametreleri kullanılarak farklı zamanlarda değişen moment ve hız bilgisine göre motor tepkisi incelenmiştir.

Benzetim 0.5 sn boyunca gerçekleştirilmiştir. Motora çalışma süresince  $T_y=2$  Nm yük altında farklı açısız hızlar uygulanarak motorun çalışma performansı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'teki grafiklerde sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde SMSM'nin istenilen referans moment ve hız değerlerinde çalışmasını sağladığı görülmüştür.

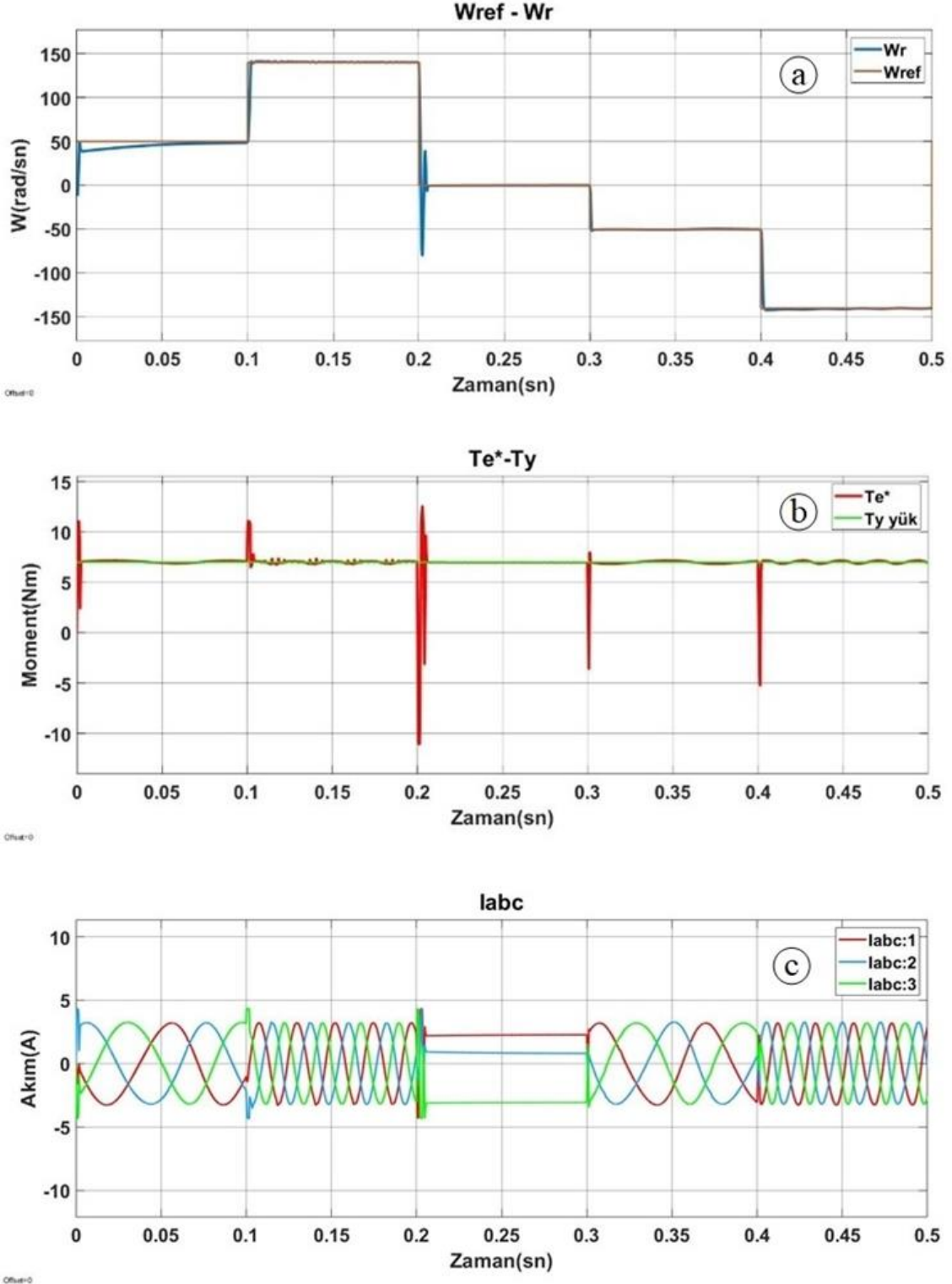


**Şekil 5.** Sürekli mıknatıslı senkron motorun dört bölge AT-DMK benzetim sonuçları ( $T_y=2$  Nm) (a) Açısız hız grafiği, (b) Moment grafiği, (c) Iabc akımlarına ait grafik.

**Figure 5.** Four-zone ST-DTC simulation results of permanent magnet synchronous motor ( $T_y=2$  Nm) (a) Angular velocity graph, (b) Torque graph, (c) Iabc current graph.

Benzetim çalışmaları motora sadece 2 Nm yük uygulanarak gerçekleştirildiğinden motorun farklı yük durumlarındaki kontrol başarısının incelenmesi için  $T_y=7$  Nm yük altında Şekil 6a'da görüldüğü gibi aynı açısal hız değerlerinde benzetim gerçekleştirilmiştir. Maksimum motor

yükü altında gerçekleştirilen benzetim sonucundan elde edilen sonuçlar Şekil 6 b-c ile verilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere motor istenilen referans değerleri takip ederek başarılı kontrol performansını sunmuştur.



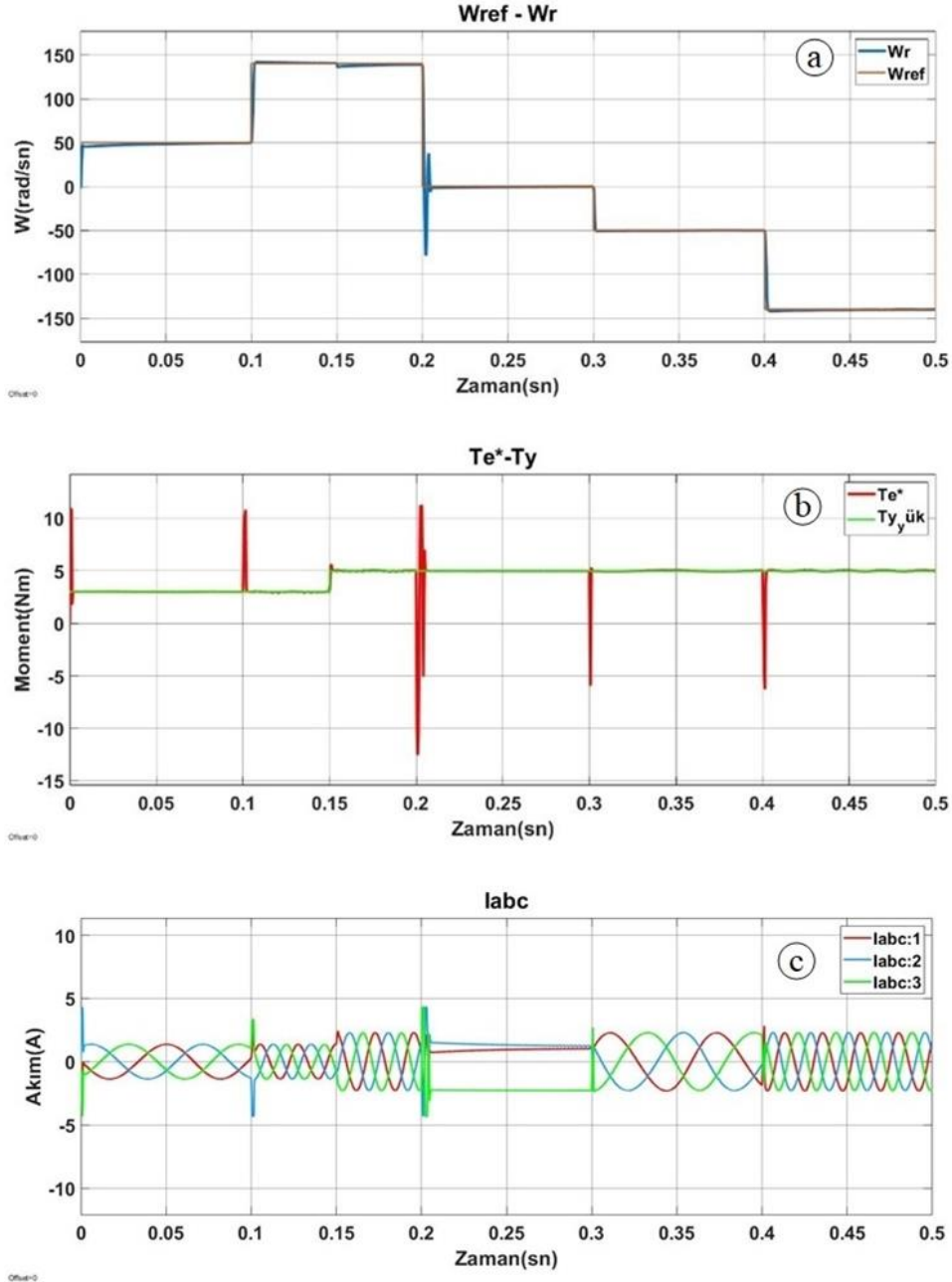
**Şekil 6.** Sürekli mıknatıslı senkron motorun dört bölgeyi AT-DMK benzetim sonuçları ( $T_y=7$  Nm) (a) Açısal hız grafiği, (b) Moment grafiği, (c) İabc akımlarına ait grafik.

**Figure 6.** Four-zone ST-DTC simulation results of permanent magnet synchronous motor ( $T_y=2$  Nm) (a) Angular velocity graph, (b) Moment graph, (c) Iabc current graph.

Motor çalışma esnasında meydana gelen moment değişiminin motor kontrolü üzerine olan etkisinin incelenmesi için aynı açısız hız değerleri kullanılmıştır. Şekil 7a'da motora 0.15 sn boyunca 3 Nm yük momenti uygulanmış, 0.15 sn'den sonra uygulanan yük momenti 5 Nm'ye çıkartılmıştır. Elde edilen kontrol sonuçları Şekil 7 b-c ile sunulmuştur.

Şekil 7c incelendiğinde 0.15'inci saniyede motora uygulanan yük momentinin artmasıyla birlikte

yükü karşılamak için motorun çektiği akımın da arttığı görülmüştür. Ayrıca motora uygulanan değişen açısız hız zamanlarında Şekil 7c'de verilen akım grafiğinde görüldüğü gibi açısız hız mutlak olarak arttığında her faz için akım frekansının arttığı, azaldığında ise akım frekansının azaldığı görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere motorun çektiği akımın frekansı arttığında motorun açısız hızı artmakta, frekansı azaldığında ise motorun açısız hızı azalmaktadır.



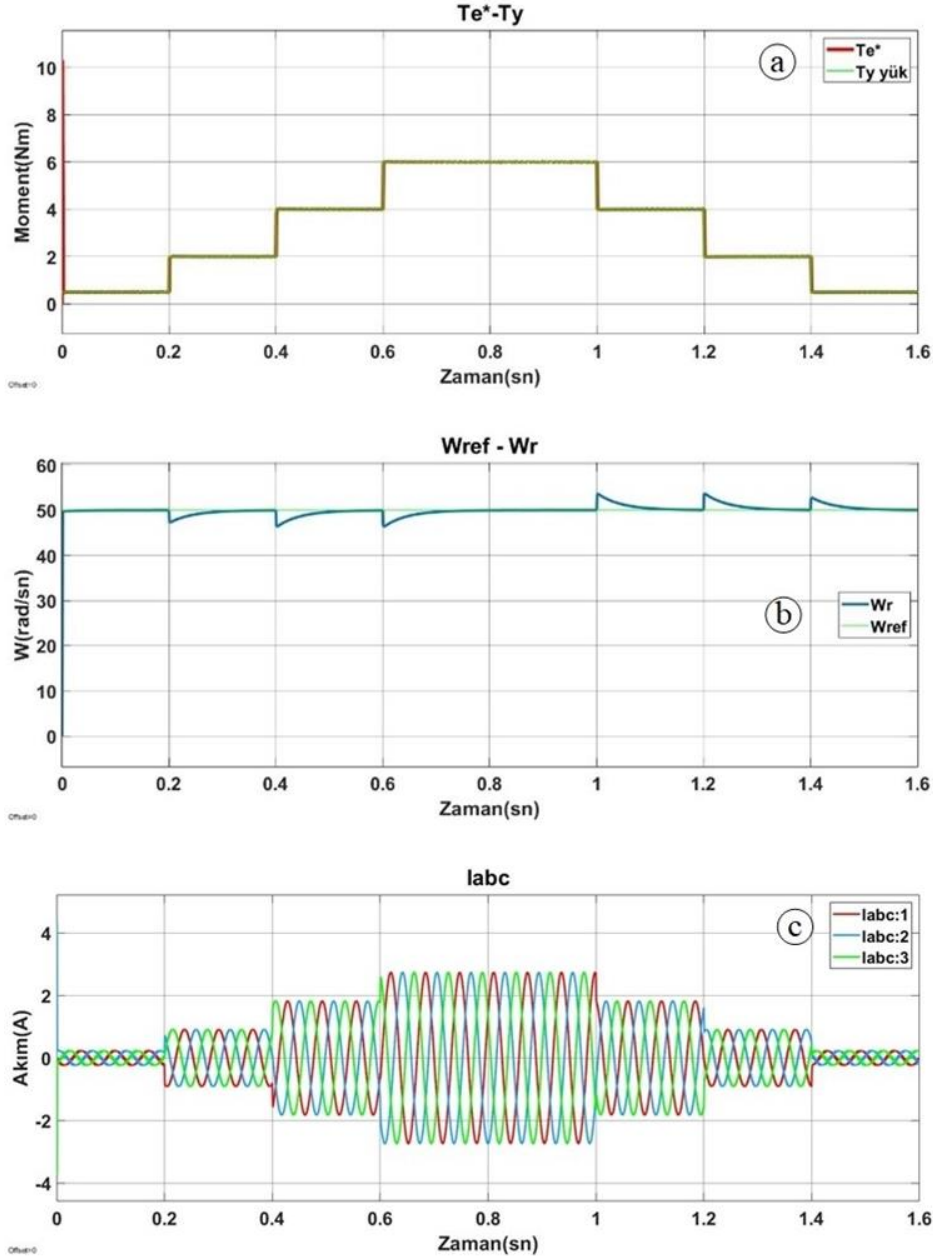
**Şekil 7.** Değişken hız ve yük koşullarında sürekli mıknatıslı senkron motorun dört bölge AT-DMK benzetim sonuçları ( $T_y=3$  Nm'den 0.15'inci sn'de  $T_y=5$  Nm'ye çıkartılmıştır) (a) Açısız hız grafiği, (b) Moment grafiği, (c) İabc akımlarına ait grafik.

**Figure 7.** Four-zone ST-DTC simulation results of permanent magnet synchronous motor under variable speed and load conditions (Increased from  $T_y=3$  Nm to  $T_y=5$  Nm in 0.15 sec) (a) Angular velocity graph, (b) Moment graph, (c) Iabc current graph.

Motor sabit açısal hız ile çalışırken motora uygulanan yükün artması ve azalması durumunda motor kontrolü üzerine olan etkisinin incelenmesi için açısal hız değerleri 50 rad/sn kullanılarak Şekil 8a ile verilen grafikte görüldüğü gibi farklı zamanlarda motora uygulanan yük değiştirilmiştir. Elde edilen kontrol sonuçları Şekil 8 b-c ile sunulmuştur.

Şekil 8b ile verilen grafik incelendiğinde motora uygulanan ani yük artışında motor hızında geçici süreli düşüş olduğu, ani yük azalması durumunda

ise motor hızında geçici süreli artış olduğu görülmektedir. Genel olarak moment değişim durumunda motor sabit hızda çalışmasını sürdürmüştür. Hız değişiminin motorun akım frekansını, moment değişiminin ise akım genliğini değiştirdiğini göz önüne alarak Şekil 8c incelendiğinde motorun sabit hızda çalışmasından dolayı akım frekansını değişmediği, değişken moment uygulandığından dolayı motor akımının genliğinin uygulanan moment değerine göre değiştiği görülmektedir.



**Şekil 8.** Sabit hız ve değişken yük koşullarında sürekli mıknatıslı senkron motorun dört bölgeli AT-DMK benzetim sonuçları ( $w= 50$  rad/sn) (a) Moment grafiği, (b) Açısal hız grafiği, (c) İabc akımlarına ait grafik.

**Figure 8.** Four-zone DT-DTC simulation results of permanent magnet synchronous motor under constant speed and variable load conditions. ( $w= 50$  rad/sn) (a) Moment graph, (b) Angular velocity graph, (c) Iabc current graph.

### 3.2. Stator sargı direncinin etkisi

#### 3.2. Effect of stator winding resistance

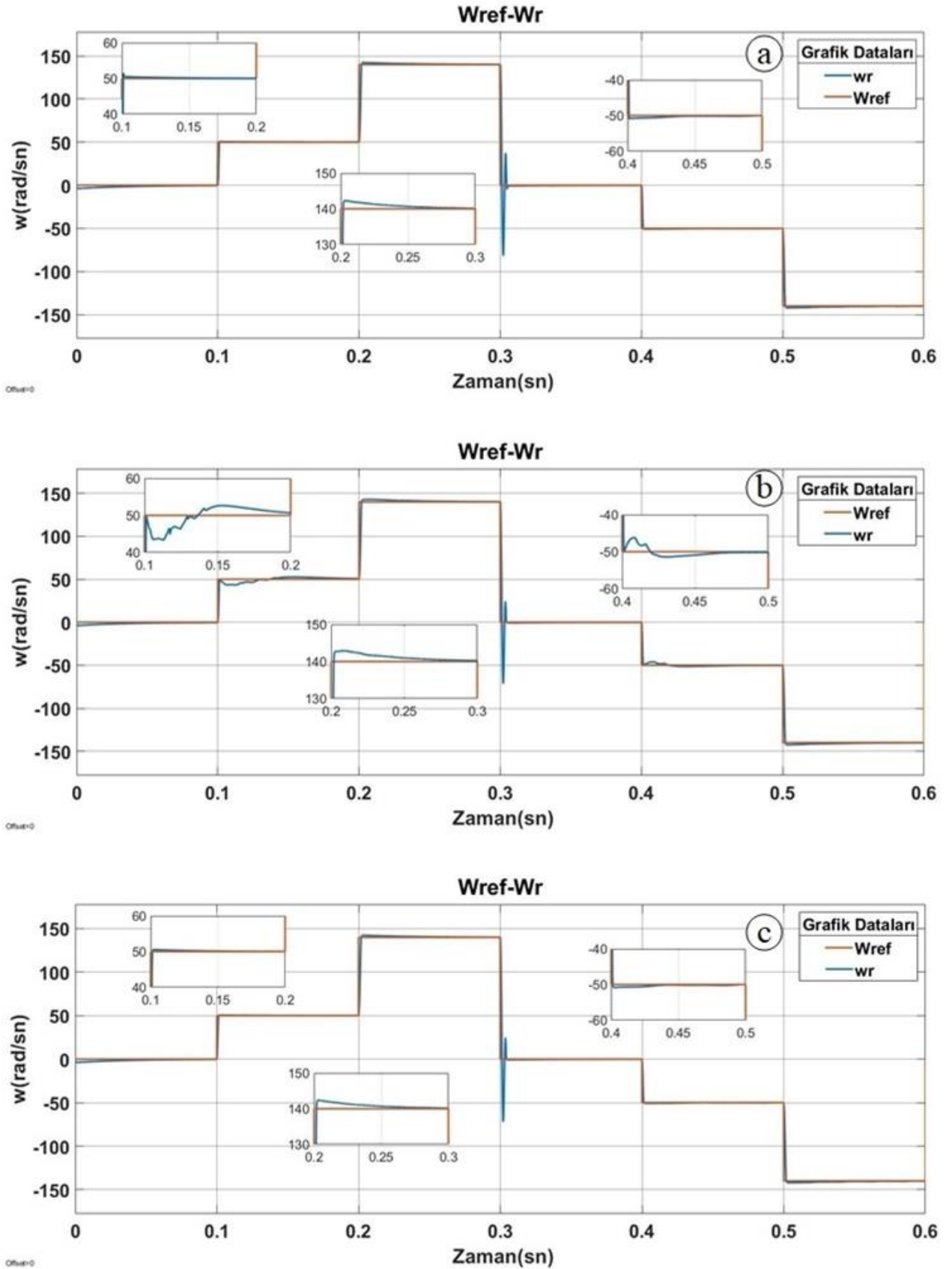
Tipik bir elektrik motorunda stator sargısı birkaç yalıtımlı bakır bobinden meydana gelmektedir. Sıcaklığa göre motorun bakır bobin sargılarının direnç değişim fonksiyonu Denklem 18'deki gibi tanımlanabilmektedir (Wilson vd, 2010).

$$R_s = R_{s0} + \gamma R_{s0}(T_s - T_0) \quad (18)$$

Burada  $R_{s0}$  direnci motorun  $T_0$  sıcaklığındaki direncini,  $R_s$  motorun  $T_s$  sıcaklığında çalıştığı andaki direncini ve  $\gamma$  bakırın sıcaklık katsayısını ( $\gamma = 3.93 \times 10^{-3}$ ) ifade etmektedir. Örneğin motor  $25^\circ\text{C}$  olduğunda  $R_{s0} = 8.46 \text{ ohm}$  iken  $120^\circ\text{C}$ 'de  $R_s = 11.618 \text{ ohm}$  olmaktadır.

Şekil 4'te verilen SMSM'nin AT-DMK Matlab/simulink Akı-Moment-Sektör hesaplama bloğunda kullanılan kontrol direncine farklı direnç değerleri atamak için  $R_k$  olarak tanımlanmıştır. Bu sayede motor ısındığında motor direncinin değiştiği durumu gerçek bir uygulamaya benzer olarak simülasyon üzerinde uygulanabilmiş ve

stator direnç değişiminin kontrol üzerinde oluşturduğu etki gözlemlenebilir hale getirilmiştir. İlk olarak motorun  $25^\circ\text{C}$ 'de sabit sıcaklıkta olduğu senaryosu göz önünde bulundurularak motor direnci  $R_s=8.46 \text{ ohm}$  ve kontrol direnci  $R_k=8.46 \text{ ohm}$  olarak alınmıştır. Stator ve kontrol dirençleri aynı değerde olduğunda elde edilen açısal hız kontrol sonucu Şekil 9 a'da görüldüğü gibi başarılı olmuştur. İkinci olarak motorun sıcaklığının  $25^\circ\text{C}$ 'den  $120^\circ\text{C}$ 'ye çıktığı varsayılmış ve motorun anlık direnci Denklem 18 ile  $R_s=11.61 \text{ ohm}$  olduğu hesaplanmış ancak  $R_k$ 'da herhangi bir güncelleme yapılmamıştır. Bu durumda  $R_s=11.61 \text{ ohm}$  ve  $R_k=8.46 \text{ ohm}$  olarak alınmıştır. Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuç grafiği Şekil 9 b ile verilmiştir. Grafik incelendiğinde motorun sıcaklıkla direnç değişimi hız kontrolü üzerinde yüksek dalgalanmalara ve yerleşme zamanının artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak  $R_k$  ile  $R_s$  aynı değere getirilerek güncelleme yapılmıştır. Bu durumda  $R_s=11.61 \text{ ohm}$  ve  $R_k=11.61 \text{ ohm}$  olarak alınmıştır. Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar Şekil 9c'de verilmiştir.  $R_k$  ile  $R_s$ 'nin aynı değerde tutulması direnç değişiminin kontrol üzerindeki olumsuz davranışını ortadan kaldırdığı görülmüştür.



**Şekil 9.** Değişken hız ve sabit yük koşullarında sürekli mıknatıslı senkron motorun stator sarğı direncinin kontrolöre olan etkisinin incelenmesi ( $T_y = 2$  Nm) (a)  $R_s = 8.46$  ohm,  $R_k = 8.46$  ohm, (b)  $R_s = 11.61$  ohm,  $R_k = 8.46$  ohm, (c)  $R_s = 11.61$  ohm,  $R_k = 11.61$  ohm.

**Figure 9.** Investigation of the effect of stator winding resistance on the controller of permanent magnet synchronous motor under variable speed and constant load conditions ( $T_y = 2$  Nm) (a)  $R_s = 8.46$  ohm,  $R_k = 8.46$  ohm, (b)  $R_s = 11.61$  ohm,  $R_k = 8.46$  ohm, (c)  $R_s = 11.61$  ohm,  $R_k = 11.61$  ohm.



Şekil 9(a-b-c) grafikleri ile ilgili motor açısız hızının 50, 140, -50, -140 rad/sn'de kontrol davranışına ait tepe değeri, yüzde aşma, yükselme ve yerleşme zamanları Tablo 3 ile sunulmuştur. Tabloda Rk ve Rs'nin aynı olduğu durumlarda tepe değeri, yüzde aşma, yükselme ve yerleşme zamanları birbirine çok yakın sonuçlar verirken, kontrol direncinin güncellenmediği durumda ise özellikle 50 rad/sn ve -50 rad/sn'de yüzde aşma ve tepe değeri artarken yükselme ve yerleşme zamanları da artmıştır. Motor kontrolünde direnç etkisinden kaynaklanan hata düşük açısız hızlarda artarken yüksek açısız hızlarda azalmaktadır. 140 rad/sn ve -140 rad/sn'de 50 rad/sn ve -50 rad/sn'de

meydana gelen bozulmalara benzer ancak daha az miktarda bozulmalar meydana geldiği Tablo 3'te açıkça görülmektedir. Tabloda verilen sonuçlardan da görüldüğü gibi stator direncinin kontrole olan etkisinin özellikle düşük açısız hızlarda fazla olduğu ve kontrol direnci güncellenmediği zamanda motor hız kontrolüne olumsuz yönde etki ettiğini, dinamik olarak güncellendiğinde ise bu etkinin ortadan kalkıp hız kontrolünün daha başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda geniş hız aralığında kullanılan özellikle servo sistemlerdeki SMSM'lerin direnç değişimi dinamik olarak güncellenmesi gerekmektedir.

**Tablo 3.** Sabit yük momentinde farklı açısız hızlar altında kontrol sonuçları

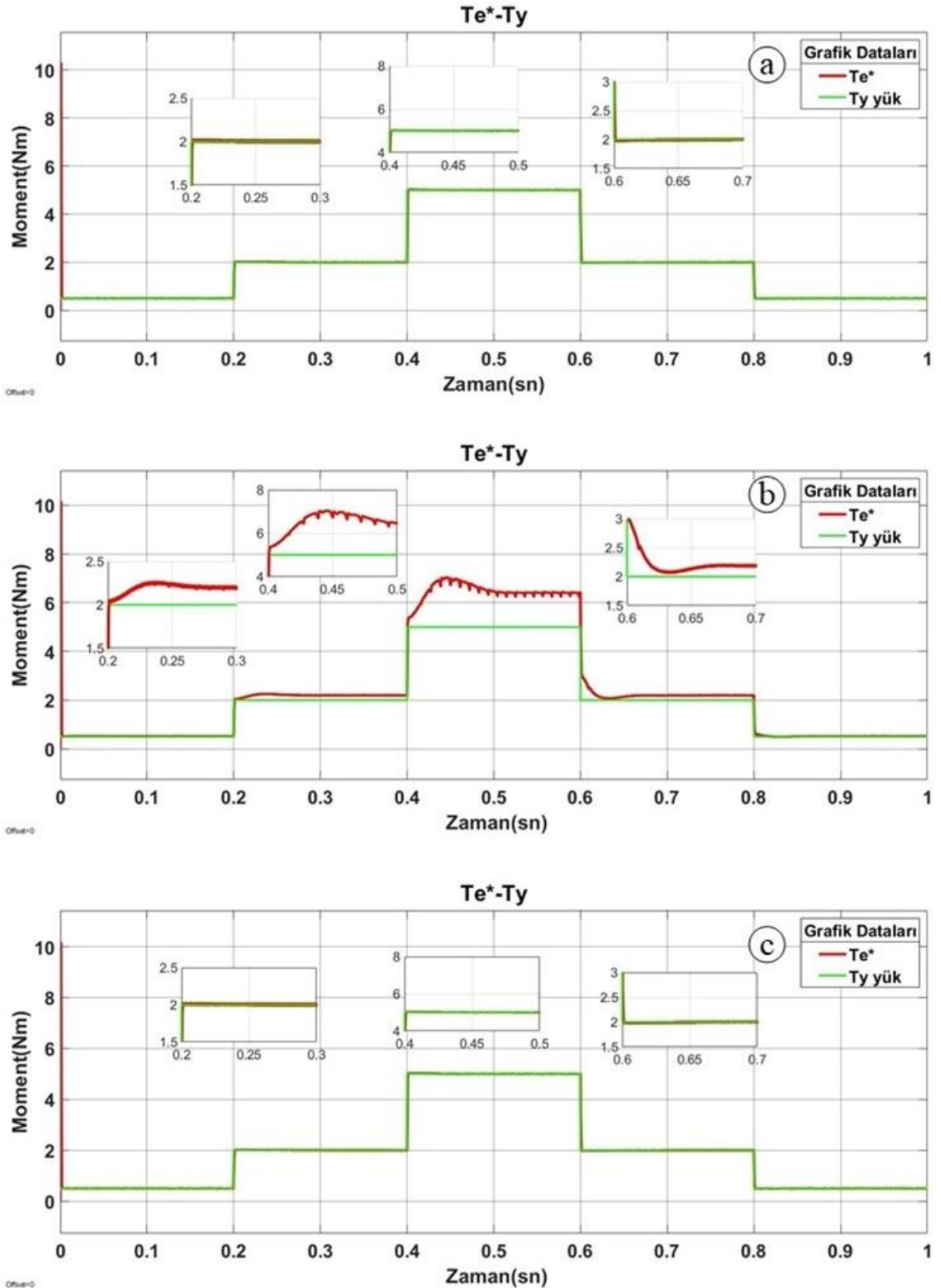
**Table 3.** Control results under variable angular speeds at constant load torque

Rs (ohm)	Rk (ohm)	Rk Durumu	Tepe Değeri	Yüzde Aşma(%)	Yükselme Zamanı(sn)	Yerleşme Zamanı(sn)
W=50 rad/sn, Tyük=2 Nm						
8,46	8,46	✓	51.570	3.140	6.5268e-04	0.0014
11,61	8,46	✗	52.6821	5.3643	7.2060e-04	0.0896
11,61	11,61	✓	50.5640	1.1281	6.7648e-04	0.0011
W=140 rad/sn, Tyük=2 Nm						
8,46	8,46	✓	142.3384	1.6703	0.0010	0.0130
11,61	8,46	✗	142.9068	2.0763	0.0011	0.0248
11,61	11,61	✓	142.4075	1.7196	0.0011	0.0146
W=-50 rad/sn, Tyük=2 Nm						
8,46	8,46	✓	50.9179	1.8359	6.4480e-04	0.0010
11,61	8,46	✗	51.3994	2.7989	6.6563e-04	0.0458
11,61	11,61	✓	50.8009	1.6017	6.5488e-04	0.0011
W=-140 rad/sn, Tyük=2 Nm						
8,46	8,46	✓	142.1508	1.5363	0.0010	0.0119
11,61	8,46	✗	142.5388	1.8134	0.0010	0.0173
11,61	11,61	✓	142.0910	1.4936	0.0010	0.0119

✓ = Rk güncel, ✗ = Rk güncel değil

Rs değişiminin moment kontrolü üzerindeki etkisini göstermek için ikinci bir çalışma yapılmıştır. Sıcaklığa bağlı olarak Rs değişiminin motorun açısız hızı üzerine olan etkisinin moment üzerindeki durumunu incelemek için motor açısız hızı 50 rad/sn alınarak farklı yük momentleri altında simülasyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuç grafikleri Şekil 10(a-b-c) ile sunulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde Rk'nın güncel olduğu Şekil 10a grafiğinde motor

momentinin referans momenti takip ederken Rk'nın güncel olmadığı durumda motor momentinde ciddi sapmalar meydana geldiği Şekil 10b'de açıkça görülmüştür. Rk güncellendiğinde motorun referans momenti takip ettiği Şekil 10c ile gösterilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere kontrol direncinin güncel tutulması motor momentinde meydana gelen olumsuzluğu azaltmıştır.



**Şekil 10.** Sabit hız ve değişken yük koşullarında sürekli mıknatıslı senkron motorun stator sarğı direncinin kontrolöre olan etkisinin incelenmesi ( $w = 50$  rad/sn) (a)  $R_s=8.46$  ohm,  $R_k=8.46$  ohm (b)  $R_s=11.61$  ohm,  $R_k=8.46$  ohm (c)  $R_s=11.61$  ohm,  $R_k=11.61$  ohm.

**Figure 10.** Investigation of the effect of stator winding resistance on the controller of permanent magnet synchronous motor under constant speed and variable load conditions ( $w = 50$  rad/sn) (a)  $R_s=8.46$  ohm,  $R_k=8.46$  ohm (b)  $R_s=11.61$  ohm,  $R_k=8.46$  ohm (c)  $R_s=11.61$  ohm,  $R_k=11.61$  ohm.

Şekil 10(a-b-c) grafikleri ile ilgili motor momentinin 0.5, 2 ve 5 Nm'deki anına ait tepe değeri, yüzde aşma, yükselme ve yerleşme zamanları Tablo 4 ile sunulmuştur. Tabloda 0.5 Nm değerinde geleneksel DMK moment dalgalanması nedeniyle yerleşme zamanı hesaplanamamıştır. Ancak genel olarak tabloda Rk'nın güncellendiği durumlarda tepe değeri, yüzde aşma, yükselme ve yerleşme zamanları birbirine yakın sonuçlar verirken, kontrol direncinin güncellenmediği durumda tepe

değerinin, yüzde aşmanın, yükselme zamanının arttığı ve Şekil 10b'de de görüldüğü üzere yerleşmenin gerçekleşmediğinden dolayı yerleşme zamanının hesaplanamadığı ortaya çıkmıştır. Bu sebeple Rk'nın güncel olmadığı motor moment kontrolüne olumsuz yönde etki ettiğini, güncel olduğunda ise motor moment kontrolünün daha başarılı sonuç verdiği ve özellikle momentin ön planda olduğu uygulamalarda Rk dinamik güncellemesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

**Tablo 4.** Sabit açısal hızda farklı yük momentleri altında kontrol sonuçları

**Table 4.** Control results under variable load moments at constant angular speed

Rs (ohm)	Rk (ohm)	Zaman Aralığı(sn)	Rk Durumu	Tepe Değeri	Yüzde Aşma(%)	Yükselme Zamanı(sn)	Yerleşme Zamanı(sn)
Tyük=0.5 Nm, W=50 rad/sn							
8,46	8,46		✓	0.5184	3.6767	4.4102e-04	-
11,61	8,46	0.002-0.2	✗	0.5342	6.8471	4.4595e-04	-
11,61	11,61		✓	0.5184	1.6231	4.4800e-04	-
Tyük=2 Nm, W=50 rad/sn							
8,46	8,46		✓	2.0242	1.2087	4.7783e-04	0.0009
11,61	8,46	0.2-0.4	✗	2.2673	13.3638	4.4786e-04	-
11,61	11,61		✓	2.0243	1.2144	4.7749e-04	0.0009
Tyük=5 Nm, W=50 rad/sn							
8,46	8,46		✓	5.0329	0.6573	4.8798e-04	0.0009
11,61	8,46	0.4-0.6	✗	7.0476	40.9526	3.5905e-04	-
11,61	11,61		✓	5.0336	0.6718	4.8052e-04	0.0009

✓ = Rk güncel, ✗ = Rk güncel değil

#### 4. Sonuç ve öneriler

##### 4. Conclusion and recommendations

Bu çalışmada AT-DMK SMSM'ye uygulanarak SMSM'nin farklı yük, hız koşulları altındaki ve motorun ısınması sonucu meydana gelen stator direnç değişiminin kontrol üzerindeki davranışı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan benzetimlerle AT-DMK yöntemin başarısı ve stator direnç değişiminin kontrol üzerine olan etkisi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlarda da görüldüğü gibi stator direnç değişiminin özellikle aşma ve yerleşme sürelerinin artması ve moment kontrolünde sürekli durum hatalarının oluşması gibi kontrolör üzerinde azımsanmayacak bir etkisinin olduğunu ve bu etkinin giderilmesi içinde direnç değişiminin dinamik olarak takip edilmesi gerektiği gözlenmiştir. Böylece, özellikle düşük hızlarda dirençten kaynaklı yüksek kontrol hatasına sebep olan ve geleneksel DMK'nın kullanımını olumsuz etkileyen direnç faktörünün direncin izlenip hesaplanması ve kontrolörde eş zamanlı olarak güncellenmesiyle etkisinin ortadan kaldırılabileceği gösterilmiştir. Bundan sonraki çalışmada direnç değişimi etkisini göz önüne alan

dinamik kontrol yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

##### Yazar katkısı

###### Author contribution

Araştırmacıardan Bozkurt; makale fikrinin oluşturulması, literatür verilerin elde edilmesi, bulgular ve sonuç kısmının şekillendirilmesine yönelik katkı sunmuştur. Polat ise, makalenin düzenlenmesi, ilerleyişinin denetlenmesi, ilgili tabloların/bulguların ve sonuç kısmının değerlendirilmesi hususunda katkı sunmuştur.

##### Etik beyanı

###### Declaration of ethical code

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

##### Çıkar çatışması beyanı

###### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar****References**

- Akyol, I. E., & Soylemez, M. T. (2017). Position sensorless field oriented control of IPMSM under parameter Uncertainties. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14501-14506.
- Araz, H. K., & Yilmaz, M. (2020). Design procedure and implementation of a high-efficiency PMSM with reduced magnet-mass and torque-ripple for electric vehicles. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 1089-1109.
- Asker, M. E. (2009). *Sürekli mıknatıslı senkron motorlara vektör ve doğrudan moment kontrol yöntemlerinin uygulanması*. [Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Baneira F., Asiminoaei L., Doval-Gandoy J., Delpino H., Yepes A. G., & Godbersen J. (2019). Estimation method of stator winding resistance for induction motor drives based on dc-signal injection suitable for low inertia. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(6), 5646-5654. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2869412>
- Bilgin O., & Kazan F. A. (2008). Sabit mıknatıslı senkron motorun alan yönlendirmeli kontrolü ve simülasyonu. *2008 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)* (pp. 1-5), Bursa.
- Cao, B., Grainger, B. M., Wang, X., Zou, Y., Reed, G. F., & Mao, Z. H. (2020). Direct torque model predictive control of a five-phase permanent magnet synchronous motor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(2), 2346-2360. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3011312>
- Çelik, H. (2012). *Sabit mıknatıslı senkron motorun DSP tabanlı doğrudan moment kontrolü*. [Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çelik, H., & KÜRÜM, H. (2013). Sabit mıknatıslı senkron motorun alan yönlendirmeli kontrolü. *Engineering Sciences*, 8(1), 67-85. <https://doi.org/10.12739/nwsaes.v8i1.5000066828>
- Çiftçi, A., & Dursun, M. (2017). Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılan sürekli mıknatıslı senkron generatörün maksimum güç izleme algoritması ile vektör kontrolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 356-369.
- Dalcalı, A., & Ocak C. (2018). Farklı mıknatıslı malzemelerinin yüzey mıknatıslı doğrudan tahrikli sabit mıknatıslı senkron motor performansına etkisi. *Journal Of Awareness*, 3(5), 217-224.
- Deng, W., Li, H., & Rong, J. (2020). A novel direct torque control of matrix converter-fed PMSM drives using dynamic sector boundary for common-mode voltage minimization. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(1), 70-80. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2962408>
- Hartani, K., Sekour, M. H., & Draou, A. (2013). *A new direct torque control scheme for PMSM with on-line stator resistance tuning*. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (ss. 721-726). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PowerEng.2013.6635699>
- Kivanc, O. C., & Ozturk, S. B. (2018). Sensorless PMSM drive based on stator feedforward voltage estimation improved with MRAS multiparameter estimation. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 23(3), 1326-1337.
- Kürüm, H. Y., & Akın, E. (2018). Sabit mıknatıslı senkron motorun parametre tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 183-191.
- Li, H., Wang, Z., Xu, Z., Wang, X., & Hu, Y. (2020). Feedback linearization based direct torque control for IPMSMs. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(3), 3135-3148.
- Vaez-Zadeh, S. (2018). Analysis of a DTC with back EMF oriented voltage for PMS motor drives. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(3), 1594-1596.
- Wang, M., Sun, D., Ke, W., & Nian, H. (2020). A universal lookup table-based direct torque control for OW-PMSM drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(6), 6188-6191. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3037202>
- Wang, X., Wang, Z., & Xu, Z. (2018). A hybrid direct torque control scheme for dual three-phase PMSM drives with improved operation performance. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(2), 1622-1634. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2835454>
- Wang, Z., Wang, X., Cao, J., Cheng, M., & Hu, Y. (2017). Direct torque control of T-NPC inverters-fed double-stator-winding PMSM drives with SVM. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(2), 1541-1553. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2689008>
- Wilson, S. D., Stewart, P., & Taylor, B. P. (2010). Methods of resistance estimation in permanent magnet synchronous motors for real-time thermal management. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(3), 698-707. <https://doi.org/10.1109/TEC.2010.2051811>
- Ye, X., & Zhang, T. (2010). Direct torque control of permanent magnet synchronous motor using

space vector modulation. *2010 Chinese Control and Decision Conference* (ss. 1450-1453). IEEE. [https://doi: 10.1109/CCDC.2010.5498221](https://doi.org/10.1109/CCDC.2010.5498221)

Zhang, Z., & Liu, X. (2019). A duty ratio control strategy to reduce both torque and flux ripples of DTC for permanent magnet synchronous machines. *IEEE Access* 7 (ss. 11820-11828). [https://doi: 10.1109/ACCESS.2019.2892121](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2892121)

Zhang, K., Fan, M., Yang, Y., Chen, R., Zhu, Z., Garcia, C., & Rodriguez, J. (2020). Tolerant sequential model predictive direct torque control of permanent magnet synchronous machine drives. *IEEE Transactions on Transportation*

*Electrification*, 6(3), 1167-1176. [https://doi: 10.1109/TTE.2020.3008828](https://doi.org/10.1109/TTE.2020.3008828)

Zhong, L., Rahman, M. F., Hu, W. Y., & Lim, K. W. (1997). Analysis of direct torque control in permanent magnet synchronous motor drives. *IEEE transactions on power electronics*, 12(3), 528-536. [https://doi: 10.1109/63.575680](https://doi.org/10.1109/63.575680)

Zhu, Z. Q., Zhu, X., Sun, P. D., & Howe, D. (2007). Estimation of winding resistance and PM flux-linkage in brushless AC machines by reduced-order extended Kalman Filter. *2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control* (ss. 740-745). IEEE. [https://doi: 10.1109/ICNSC.2007.372872](https://doi.org/10.1109/ICNSC.2007.372872)

# ISO 22000 Gıda güvenliği yönetim sisteminin çay fabrikalarındaki uygulanabilirliği

## *Applicability of ISO 22000 food safety management system in tea factories*

Cemal DİLEK<sup>1,b</sup>, Osman ÜÇÜNCÜ<sup>\*2,a</sup>

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

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, 61750, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 28.04.2022

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 25.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.08.2022

### Öz

Günümüz çay tüketicilerinin bilinçli ve seçici olmasından dolayı çay fabrikaları, yaş çay alımından paketlemeye kadar geçen süreçte belirli standartlar dahilinde kalite, hijyen ve gıda güvenliğini daha da ön plana çıkarmaktadırlar. Bu süreçte çay fabrikalarının kalite ve hijyen sorumlularına önemli görevler düşmektedir. Bu çalışmada ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemine sahip Trabzon, Giresun ve Rize’de bulunan çay fabrikalarına yönelik, ISO standartlarının uygulanabilirliği analiz edilmiştir. Nitel araştırma desenine sahip bu çalışmada, ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi belgesi olan üç fabrikanın kalite ve hijyen sorumluları ile yarı-yapılandırılmış mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler içerik analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, işletmelerin gıda güvenliği konusunda bazı problemlerinin olduğu, bu problemlerin çözümü için işletme sahiplerinin öncelikle ISO 22000’in yararlı olduğunun bilincinde olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca katılım sağlayan işletmelerin ISO 22000 standartlarının uygulama aşamalarında karşılaştığı bazı sorunlar ortaya çıkarılmış ve sistem için gereken kaynakların sağlanması ve eğitim, personel, üretim alanı, depoların yönetimi için ihtiyaç duyulan yapı kurulması ile ISO 22000 sistemlerinin çay fabrikalarında uygulanabilir ve faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çay fabrikası, Gıda güvenliği, ISO 22000, Kalite

### Abstract

Because of that today’s tea consumers are conscious and selective, it is observed that tea factories emphasize quality, hygiene and food safety from purchasing fresh tea to packaging, and they do these according to certain standards. Quality and hygiene officers take on important duties in this process. In this study, the applicability of ISO standards for tea factories in Trabzon, Giresun and Rize with ISO 22000 Food Safety Management System was analyzed. This study has a qualitative research design, and semi-structured interviews were conducted with the quality and hygiene managers of three factories with ISO 22000 Food Safety Management System certificate. The obtained data were analyzed using the content analysis method. As a result, it has been determined that factories have some problems about food safety, and in order to solve these problems, factory owners must first fully believe that ISO 22000 is beneficial. Additionally, some problems encountered by the participating enterprises during the implementation stages of ISO 22000 standards were revealed and it was concluded that ISO 22000 systems are applicable and beneficial in tea factories when the necessary resources for the system are provided and the necessary structure for training, personnel, production area and warehouse management is established.

**Keywords:** Tea factory, Food safety, ISO 22000, Quality

\*a OsmanÜçüncü; osmanucuncu@yahoo.com, Tel: (0535) 542 66 11, orcid.org/0000-0003-0858-0188

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-6763-3027

## 1. Giriş

### 1. Introduction

ISO 22000, Uluslararası standardizasyon örgütünün (International Organization for Standardization) ortak kararlar alarak yayımladığı bir gıda güvenliği yönetim sistemi standardıdır. Bu yönetim sistemi gıda zincirindeki işletmelerin, gıdanın üretiminden tüketimine kadar güvenli olmasının sağlayarak gıda güvenliğine tehdit oluşturabilecek unsurların kontrol altına alınması, en aza indirilmesi veya yok edilmesi için gerekli koşulları barındırması ile önem arz etmektedir (MEB, 2020). Özellikle günümüzde risk odaklı yaklaşımı merkez alan ISO'nun Yeni Yüksek Seviye Yapısı Annex SL ile uyumlu hale getirilen ISO 22000:2018 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi (GGYS) yayımlanarak, gıda zincirindeki tüm kuruluşlara yeni faydalar sağlanması amaçlanmıştır (Bsigroup, 2022).

ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda, bu sistemi kullanan işletmelerin kullanmayanlara göre Kritik Kontrol Noktalarının (KKN) belirlemede daha etkin olduğuna vurgu yapılmıştır. Bu anlamda KKN'lerin belirlenmesi, kaliteli, güvenli ve standart bir ürün üretim gerçekleştirilmesinde, işletmenin büyümesinde, imajının artırılmasında, personelin daha etkin çalışmasında ve markalaşma yolunda daha güçlü adımlar atılmasında destekleyici rol oynamaktadır (Sertakan, 2006; Bölükbaşı, 2006; Erfa, 2007; Yılmaz, 2007; 2009; Küçüktezcan, 2010; Şenel, 2011; Çınar, 2012; Başaran, 2014; Cihangir, 2017). Bununla birlikte ISO 22000 sistemi uygulamalarında personelin eğitim eksikliği, analizlerin yüksek maliyetli oluşu, bazı çalışanların gıda güvenliği yönetim sistemini benimsememesi, işini iyi yapan çalışan bulma güçlüğü, mevsimlik işçi çalıştırma gibi sorunların ortaya çıktığı belirtilmiştir (Özdoğan, 2009).

Yazıcı (2008) çalışmasında, farklı ülkelerde uygulanmakta olan HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point - Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları) sisteminin standart hale gelmesi için geliştirilen ISO 22000 gıda güvenliği, kalite yönetim sistemi standardı ve bir gıda işletmesi üzerinde uygulanmasından bahsetmiştir. Aynı çalışmada kalite kavramıyla ilgili tanımlara yer verilmiş, HACCP sisteminden ISO 22000 gıda güvenliği yönetim sistemine geçiş anlatılmış ve ISO 22000 sisteminde istatistiksel kalite kontrol tekniklerinin kullanımının faydaları ortaya konmuştur. "ISO 22000 Kalite Sistemlerinin Hazır Yemek Sektöründe Uygulaması" adlı çalışmada yemek sektöründe ISO 22000'in incelenerek temel

kavramların açıklaması yapılmış, kalite, standart, prosedür, proses gibi temel kavramların tanımlarına yer verilmiş ve çalışma ISO 9000 ile ISO 22000 kriterleri açıklanarak, uçaklarda ikramlık yiyecek veren bir işletmede ISO 22000'in incelenmesi ile sonlandırılmıştır (Ecevit, 2009). Araştırma ikramlık ürünler sunan işletmede uygulanan ISO 9001 sisteminin ISO 22000'e güncellenmesini konu edinmiştir.

Ecevit, (2009) ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sisteminin önkoşul programlarını, etkili iletişimi ve HACCP prensiplerini de içinde barındırması nedeniyle tüm gıda işletmeleri için oldukça faydalı bir kalite kontrol yönetim sistemi olduğunu belirtmiştir. Bir diğer çalışmada, yıllık 1350 tonluk fındık yağı üretim kapasitesiyle çalışan fabrikada Fındık Yağı Proses Akış Şeması ile ISO 22000:2005 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi kullanılarak, fındıkta aflatoksin varlığı ve ağartma amacıyla kullanılan toprağın tam olarak giderilememesi KKN olarak belirlenmiştir (Soylu, 2009). Bu sonuç Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin kurulması ve eksiksiz uygulanmasının önem taşıdığını gösteren çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Önbaş (2009) ise, gıda güvenliği sistemi olmayan yemekhaneler ve çalışan personellerinin, ISO 22000 uygulaması olan bir hastane yemekhanesinde çalışan personelin karşılaştırılmasını yapmıştır. Araştırma sonucuna göre ISO 22000 yönetim sistemi, uygulandığı yemekhanelerde personellerin örgütsel bağlılığına pozitif yönde etki etmektedir. Üretilen üründe kaliteyi kontrol altına alabilmede, o kurumun gıda güvenliği sisteminin uyguluyor olmasının önemli derecede bir etkisi vardır (Önbaş, 2009). Özdoğan (2009), sofralık zeytin sanayinde faaliyette bulunan 24 işletmeyi içeren yürüttüğü bir çalışmada ISO 22000 yönetim sisteminin mevcut durumunu inceleyerek işletmelerin sistemi uygulama aşamalarında karşılaştıkları sorunları tespit etmiştir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin çay fabrikalarında uygulanabilirliği ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada; gıda güvenliği için hazırlanmış bir standart olan ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin çay fabrikalarındaki uygulanabilirliğinin araştırılması ve elde edilen sonuçların nitel analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle çalışmadan elde edilecek veriler, güvenilir ürün üreten veya güvenli gıda üretmek için çalışmalar yapan çay işletmeleri için önemli olmakla birlikte, güvenli gıda üretimi sağlamak isteyen işletmelere

de ışık tutacaktır. Belirtilen bu amaçlar doğrultusunda Trabzon, Rize ve Giresun illerinde faaliyet gösteren ve ISO 22000 standartları belgesine sahip çay üretimi gerçekleştiren firmaların kalite ve hijyen sorumlusu gıda mühendislerinin görüşleri alınarak, çay üretimi yapan fabrikalarının ISO 22000 standartları uygulanması esnasında yaşanan sorunların giderilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Yöntem

### 2. Method

### 2.1. Araştırma deseni

#### 2.1. Research design

Bu araştırma da ISO 22000 standartları belgesine sahip çay üretimi gerçekleştiren firmaların gıda mühendislerinin görüşleri kendi doğal ortamlarında yarı yapılandırılmış mülakat sorularıyla alındığından, çalışma nitel araştırma desenine sahiptir. Nitel araştırma gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, alguların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik bir sürecin izlendiği bir araştırma türüdür (Yıldırım & Şimşek, 2011). Ayrıca nitel araştırma, insanların deneyimlerinin bireysel ve toplumsal olay ve oluşumların öz niteliklerini araştırıp yorumlamak için, araştırmacının bulunduğu doğal ortamında insanları gözlemesi, olay ve olguların oluşum aşamalarının incelemesi için yürüttüğü açıklayıcı ve yorumlayıcı bir sürecin ifadesidir (Creswell, 2013; Mertens, 2014).

### 2.2. Örneklem

#### 2.2. Sampling

Çalışmada, örneklem olarak ISO 22000 sistem sertifikası olan ve Trabzon (CF<sub>1</sub>), Giresun (CF<sub>2</sub>) ve Rize (CF<sub>3</sub>) illerinde çay üretimi hizmeti veren birer işletme seçilmiştir. Bu işletmelerin seçiminde amaçlı örnekleme tekniği kullanılmıştır. Araştırmanın amacına bağlı olarak bilgi açısından zengin durumların seçilerek derinlemesine

araştırma yapılmasına olanak tanıyan amaçlı örnekleme, belli ölçütleri karşılayan veya belirli özelliklere sahip olan bir veya daha fazla özel durumlarda çalışılmak istendiğinde tercih edilmektedir. Araştırmacı, seçilen durumlar bağlamında doğa ve toplum olaylarını ya da olgularını anlamaya ve bunlar arasındaki ilişkileri keşfetmeye ve açıklamaya çalışmaktadır. Amaçlı örneklemenin amacı, araştırmada çalışılan problemleri aydınlığa kavuşturacak zengin bilgi içeren durumları seçmektir (Büyüköztürk vd., 2012). Bu nedenle işletmelerin örneklem olarak seçilmesinin nedenleri; siyah çay üretimi, paketlenmesi ve satışı gibi ticari amaç gütmesi, ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi standardını uyguluyor olması, sisteme geçiş yapılmadan önce güvenilir gıda üretiminin kontrolünü sağladığı en az bir uluslararası gıda güvenliği ve kalite sistemini uyguluyor olması, güvenli gıda üretimini görev bilmesi ve piyasada bir marka olarak bilinen firma olması şeklinde sıralanabilir.

### 2.3. Veri toplama araçları

#### 2.3. Data collection tools

Araştırmanın verileri yarı-yapılandırılmış görüşme formu ile toplanmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşmede, araştırmacı önceden sormayı planladığı soruları içeren görüşme formunu hazırlar. Buna karşın araştırmacı görüşmenin akışına bağlı olarak alternatif sorular sorabilir ve kişinin cevaplarını detaylandırmasını isteyebilir (Bogdan & Biklen, 2007; Patton, 2002). Katılımcı işletmeler ile yapılan görüşmeler 30 ila 50 dakika kadar sürmüştür. Yarı yapılandırılmış görüşme soruları konu ile ilişkili - ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Baş Denetçi ve İç Denetçi denetim konusu ile ilgili sorular literatürden yararlanılarak hazırlanmıştır (Bucak, 2012; Yüksel & Yüksel, 2004; Yıldırım & Şimşek, 2011). Çalışmanın amacına uygun olarak yarı yapılandırılmış mülakat sorularının sayısı ile soruların ait olduğu kategoriler aşağıdaki tabloda verilmiştir.



**Tablo 1.** Yarı yapılandırılmış mülakat sorularının sayısı ile soruların ait olduğu kategoriler**Table 1.** The number of semi-structured interview questions and the categories to which the questions belong

Kategori	Bazı mülakat soruları	Soru Numaraları
Durum Tespiti	1- Kuruluşunuzun ISO 22000 yönetim sistemine ihtiyacı var mı? Varsa nedenleri?	1-11
	2-Daha önce kullandığınız, ISO 22000'den başka bir sistem var mıydı? Var ise kaç yıl boyunca bu sistemi kullandınız?	
	3-ISO 22000 sertifikasına sahip olmak için nasıl bir süreçten geçtiniz? Bu süreçte sizi zorlayan bir durum veya durumlar oldu mu?	
Sistemin Uygulanması	12-İşletmenizde, güvenli ve kaliteli gıda üretimi için gerekli prosesler nasıl planlandı?	12-18
	13- Sistemin gerekliliklerinin geçerliliği için gerekli izleme ve ölçmenin kontrolünü nasıl yapıyorsunuz?	
	14-Sistemin doğrulanması için, gereken iç denetim, sonuçların değerlendirilmesi ve sonuç analizini nasıl yapıyorsunuz?	
Gıda Güvenliği	15-Sistemin sürekli iyileştirilmesi ve güncelleştirilmesini nasıl sağlıyorsunuz?	19-22
	20- Gıda üretimi hizmeti yapılan işletmeleriniz de ham madde ve ürünler için parti kodlaması ve geri çağırma sistemleriniz var mı?	
	21- ISO 22000' göre, ürün özellikleri dikkate alınarak gıda güvenliği konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip multi-disipliner bir HACCP ekibi oluşturduunuz mu?	

## 2.4. Verilerin analizi

### 2.4. Analysis of data

Görüşmelerden elde edilen verilerin analizinde içerik analizi tekniğinden yararlanılmıştır. İçerik analizi; verilerin sınıflanması ve bu verilerin ne tür yargıları içerdiğini ortaya koymak için, açık olarak formüle edilmiş kurallar doğrultusunda, araştırmacının elde ettiği verilerin bilimsel olarak değerlendirilmesini sağlar (Bilgin, 2000). İçerik analizinde temel amaç, verilerden yola çıkarak kavramlar arası ilişkileri açıklayabilecek kod, kategori ve temalara ulaşmaktır (Marshall & Rossman, 2006; Yıldırım & Şimşek, 2011). Görüşmeden elde edilen ham veriler transkript edildikten sonra araştırmacı tarafından okunmuş ve katılımcıların görüşlerinden kodlara ulaşılmıştır. Elde edilen kodlar literatürden de yararlanılarak anlamlı bir hale getirilmiş ve araştırmacının amacına uygun olarak gereksiz kodlar çıkarılmıştır. Daha sonra verileri sayısallaştırarak her bir soru için ayrı tablolar hazırlanmıştır.

## 3. Bulgular

### 3. Results

Bulgular üç farklı tema altında incelenmiş ve elde edilen veriler bu temalar ışında aşağıdaki gibi sunulmuştur.

## 3.1. Çay işletmelerinin ISO 22000 standartları ile ilişkili durumlarına dair tespit edilen bulgular

### 3.1. Results regarding the status of tea factory in relation to ISO 22000 standards

Çay fabrikalarındaki durumu tespit etmek amacıyla yapılan görüşmeler sonucu; CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub> fabrikalarının hepsi ISO 22000 Yönetim sistemini kullanmadan önce HACCP sistemini sırasıyla 10, 8 ve 15 yıl süresince kullandıkları tespit edilmiştir. Görüşmelerden elde edilen diğer sonuç, CF<sub>1</sub> ve CF<sub>2</sub> fabrikaları sertifikalarını uluslararası özel firmalardan almışken, CF<sub>3</sub> fabrikası ise sertifikasını TSE (Türk Standartları Enstitüsü)'den almıştır. Bir başka sonuç ise CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub> fabrikalarının hepsinde kurulan yönetim sisteminin yönetim temsilcisi olan gıda mühendisi tarafından yapıldığıdır. Değerlendirmeler CF<sub>1</sub> ve CF<sub>2</sub> fabrikalarında yılda bir kere yapılırken, CF<sub>3</sub> fabrikasında altı ayda bir yapılmakta olup, bu değerlendirmeler hedeflere ulaşılma ulaşılmadığının kontrolünü ve yeni hedeflerin belirlenmesi içermektedir. Görüşmelerden elde edilen diğer bir sonuç ise CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub> fabrikalarının tamamında ISO 22000'in belirlemiş olduğu dokümanların mevcut olduğu ve fabrikaların yönetim temsilcisinin sürekli bir şekilde kayıt tuttuğu bu dokümanları kontrol ettiği ve güncellediğidir. Ayrıca bu üç fabrikadaki çalışanlar ISO 22000 yönetim sisteminde aktif rol almakta ve bu çalışanlara eğitimlerle birlikte görev tanımları

aktarılmaktadır. Ek olarak CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub> fabrikaları yıl içerisinde sırasıyla 2, 5 ve 1 tane önleyici faaliyet yapmışken, sırasıyla 5, 25 ve 3 tane düzeltici faaliyetler yapmışlardır. Fabrikaların yaptığı faaliyetler ise makine-ekipman, üretim

alanı ve haşere ile mücadele alanındadır. Bununla birlikte bu üç çay işletmesinin ISO 22000 standartları ile ilişkili durumlarına dair diğer tespitler ise Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** ISO 22000 standartları ile ilişkili durum tespit kategorileri  
*Table 2. Due diligence categories associated with ISO 22000 standards*

<i>ISO 22000 standartları ile ilişkili durum tespit kategorileri</i>	<b>Kodlar</b>	<b>CF<sub>1</sub></b>	<b>CF<sub>2</sub></b>	<b>CF<sub>3</sub></b>	<b>Toplam</b>
<i>İşletmelerin ISO 22000 Yönetim Sistemine niçin ihtiyacı olduğu</i>	Satış için	x			1
	Geriye dönük arşiv oluşturma	x	x		2
	İzlenebilirlik		x	x	2
	Eksiklikleri, yanlışlıkları/hataları düzeltme şansı	x	x	x	3
	Gıda güvenliği	x	x	x	3
<i>İşletmenin ISO 22000 sertifikasına sahip olmak için geçirdiği süreç ve karşılaşılan zorluklar</i>	Danışman şirketten yardım almak	x	x		2
	Kendi sistemini kurmak			x	1
	Çalışanların adaptasyon sorunu	x	x	x	3
	Kritik kontrol noktalarının tespiti	x	x	x	3
	Yeterli kaynakların sunulması	x	x	x	3
<i>İşletmenin yönetim kurulunun bu sistemin kuruluşundaki davranışları</i>	Manevi sorumluluk	x	x	x	3
	Eğitim faaliyeti	x	x	x	3
	Bütün imkânların sağlanması	x	x	x	3
	İç denetimlere katılım	x	x	x	3
	Gelirin artması	x	x	x	3
<i>Sistemin işletmeye sağladığı katkılar</i>	Daha çok müşteri kazanımı	x	x	x	3
	Maliyeti düşürdüğü	x	x	x	3
	Güven, imaj ve saygınlık kazandırması	x	x	x	3
	Memnuniyet	x	x	x	3
<i>ISO 22000 yönetim sisteminin iç ve dış müşteri tatminine olan etkisi</i>	Güvenilirlik	x	x	x	3
	Kaliteli iş	x	x	x	3
	Kaliteli ürün temini	x	x	x	3
	Gıda güvenliği	x	x	x	3

İşletmeler, ISO 22000 Yönetim Sistemine; satış işlemleri aşamalarında, geriye dönük arşiv oluşturmada, eksiklerin, hataların belirlenip düzeltme şansının olması ve gıda güvenliği açısından ihtiyacı olduğunu belirtmişlerdir. Bazı işletmeler kurulum aşamasında danışman kuruluşlardan yardım isterken, bazıları kendi bünyesindeki yetkin kişiler yardımıyla sistemi kurmuşlardır. Yönetimin, yeterli maddi kaynak sunmasının yanında manevi olarak desteklediği, eğitim faaliyetlerinin düzenlenmesi ve iç denetimlere katılımda kendilerinin de yer aldıklarını belirtmişlerdir. Sistemin işletmeye

sağladığı katkılar arasında gelirden artış, daha çok müşteriye ulaşma, maliyeti düşürme ve güven, imaj ve saygınlık kazandırması yer almaktadır.

### 3.2. Çay işletmelerinde ISO 22000 nasıl uygulandığına ilişkin elde edilen bulgular

#### 3.2. Results on how ISO 22000 is applied in tea factories

Bu kısımda çay işletmelerinde ISO 22000 sisteminin nasıl uygulandığına dair mülakatlardan elde edilen sekiz kategori ile bu kategorilere ait kodlar Tablo 3’te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Çay işletmelerinde ISO 22000 sisteminin uygulanması ile ilgili kategori ve kodlar  
**Table 3.** Categories and codes related to the implementation of the ISO 22000 system in tea factories

<i>Sistemin uygulanmasına dair kategoriler</i>	<b>Kodlar</b>	<b>CF<sub>1</sub></b>	<b>CF<sub>2</sub></b>	<b>CF<sub>3</sub></b>	<b>Toplam</b>
<i>İşletmelerde güvenli ve kaliteli gıda üretimi için gerekli proseslerin nasıl planlandığı</i>	KKN belirlendi	x	x	x	3
	Danışman yardımı alındı	x	x		2
	Firma Bünyesinde planlandı			x	1
<i>Sistemin gerekliliklerinin geçerli kılınması için gerekli izleme ve ölçmenin kontrolünün nasıl yapıldığı</i>	Duyusal analiz	x		x	2
	Cihaz yardımıyla	x	x	x	3
	İş başı eğitimi ve diğer eğitimler	x	x	x	3
	İşçi tarafından tutulan formlar yardımıyla	x	x	x	3
	Gıda Müh. ve Teknikerin tuttuğu formlar		x		1
<i>Sistemin doğrulanması için, gereken iç denetim, sonuçların değerlendirilmesi ve sonuç analizinin nasıl yapıldığı</i>	Kritik Kontrol Noktalarında	x	x	x	3
	ISO 22000 Formları	x	x	x	3
<i>Sistemin doğrulanması için yapılan dış denetim</i>	Danışman yardımı alındı	x	x		2
	Firma bünyesinde planlandı			x	1
	Sorumlu ekip toplantısı	x	x	x	3
<i>Sistemin sürekli iyileştirilmesi ve güncelleştirilmesinin nasıl sağlandığı</i>	Hedeflerin değerlendirilmesi	x	x	x	3
	Yeni hedeflerin belirlenmesi	x	x	x	3
	Eksiklikleri, yanlışlık (/hata)ları düzeltme	x	x	x	3
	Personeli adapte etmekte çekilen zorluk	x	x	x	3
<i>Sistem uygulanırken yaşanan zorluklar veya problemlerin neler olduğu, bunların aşılması için ne tür çözümler uygulandığı</i>	İşçilerin mevsimlik olması	x	x	x	3
	Takibi Gıda Müh./Teknikerin yapması		x		1
	Takibin çalışana yaptırılması	x			1
	Eğitim sıklığının artırılması	x		x	2
<i>İşletmelerde uygulanan ISO 22000 yönetim sistemlerinin 5S sisteminde uygulanabilirliği</i>	Uygulanabilir	x			1
	Yarı uygulanabilir			x	1
	Kendi oluşturdukları sistem		x		1
<i>İş güvenliği ile ilgili kişisel koruyucu malzemeler kullanılması</i>	Bone, Maske kullanılıyor	x	x	x	3
	Fabrika karşıyor	x	x	x	3

İşletmelerin bazıları danışman firmadan yardım alarak, bazıları ise kendi yetkili personeliyle gerekli prosesleri ve KKN'leri belirlemişlerdir. Sistemin gerekliliklerinin geçerli kılınması için gerekli izleme ve ölçmenin kontrolü duyusal analizler, cihazlar, gıda mühendisi, teknikerin tuttuğu formlar ve işçiler tarafından tutulan formlar ile sağlanır. Sistemin sürekli iyileştirilerek güncel tutulması sorumlu ekip toplantılarının sonucunda belirlenen hedeflerin değerlendirilmesi sonucunda eksikliklerin ve hataların giderilmesiyle sağlanır. Sistem uygulanırken yaşanan zorlukları veya problemleri personelin adapte edilmesindeki zorluk, çay mevsiminin kısa olması sebebiyle geçici işçi çalıştırılması, sistem takibinin yetkili kişiler ve o bölümden sorumlu çalışanlar tarafından benimsenmemiş olması ve en önemlisi de dönemsel olarak yapılması gereken eğitimlerin

sayısının çok az olması şeklinde sıralamak mümkündür. Ayrıca fabrikaların işçilere ücretsiz kişisel koruyucu malzemeler sağlamasıyla gıda güvenliği, hijyenin kazanılması ve sanitasyonun sağlanması amaçlanmıştır.

### 3.3. Çay işletmelerinde ISO 22000 standartlarının daha verimli hale getirilmesi ilişkin elde edilen bulgular

#### 3.3. Results on making more efficient ISO 22000 standards in tea factories

Çalışmanın bu kısımda gıda güvenliği bağlamında çay işletmelerinde ISO 22000 standartlarının daha verimli hale nasıl getirilebileceğine dair yarı-yapılandırılmış mülakatlardan elde edilen dört kategori ile bu kategorilere ait kodlar Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Gıda güvenliği bağlamında çay işletmelerinde ISO 22000 standartlarının daha verimli hale nasıl getirilebileceğine dair oluşturulan kategoriler ve kodlar.

**Table 4.** Categories and codes created on how ISO 22000 standards can be made more efficient in tea factories in the context of food safety.

Gıda güvenliğine dair kategoriler	Kodlar	CF <sub>1</sub>	CF <sub>2</sub>	CF <sub>3</sub>	Toplam
Kurumun ISO 22000'e göre yapılan üretim alanlarında kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinin varlığı	Kontrol listesi Değerlendirme	x	x		2
	İş Emniyeti Risk Değerlendirme	x			1
	Kinney Risk Değerlendirme			x	1
Çalışanlar için işbaşı ve diğer eğitimler	Eğitimler sıklaştırılmalı	x	x	x	3
	Parti kodlama	x	x	x	3
Gıda üretim hizmeti yapılan işletmelerde ham madde ve ürünler için parti kodlaması ve geri çağırma sistemlerinin varlığı	Geri çağırma sistemi	x	x	x	3
	HACCP ekibi var	x	x	x	3
ISO 22000'e göre, ürün özellikleri dikkate alınarak gıda güvenliği konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip multi-disipliner bir HACCP ekibinin varlığı ve özellikleri	Yeterli bilgi ve donanıma sahip	x	x	x	3
	Her yıl düzenli eğitimlere gönderilir	x	x		2
	Bilinçlendirme yapılıyor	x		x	2
Tüketicilerin gıda güvenliği konusunda bilinçlenmesinde kullanılan araçların varlığı ve araç türleri	E-mail	x		x	2
	SMS	x		x	2
	Anket			x	1
	Müşteri ziyaretlerinde eğitim ile	x		x	2

İşletmeler yönetim sistemini uygularken kontrol listesi değerlendirme, iş emniyeti ve Kinney risk değerlendirme yöntemlerinden faydalandıklarını söylemişlerdir. Herhangi bir sorunda parti kodlama kullanılarak geri çağırma sisteminin işlediği dile getirilmiştir. Üç işletme değerlendirildiğinde bir firmada sistem HACCP ekibi ile, diğer firmalarda ise yetkin personel yardımıyla yürütülmektedir. HACCP ekibi olmayan firmaların ilgili personelleri her yıl düzenli eğitime gönderilerek onların bilgi ve donanımın artırılması amaçlanmıştır. Araştırmada yer alan firmalardan bazıları bilinçlendirme için özel bir çalışma yapılmadıklarını, bazı firmalar ise e-posta, sms, anket ve müşteri ziyaretlerinde yapılan eğitimlerle bilinçlendirme sağladıklarını ifade etmişlerdir.

#### 4. Tartışma

##### 4. Discussion

Yapılan çalışma; ISO22000 Gıda güvenliği Yönetim Sistemi standartlarının çay işletmelerine hangi ölçülerde uygulanabildiği üzerinedir. Çalışmada, örneklem olarak ISO 22000 sistem sertifikası olan ve Trabzon, Rize ve Giresun illerinde çay üretimi hizmeti veren 3 fabrika (CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub>) seçilmiştir. Araştırma yapılırken üç sınırlılık oluşmuştur. İlki; iki işletmenin belgesi bulunmasına rağmen yönetim sistemleri ile ilgili yapılan işler, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bu işletmelere ait paketleme fabrikalarında gerçekleşiyor olmasıdır. İkinci sınırlılık ise; iki kuruluşun bu araştırmayı işletmelerinde yapılmasını uygun görmemeleridir. Son olarak koyulan sınırlılık araştırmaya katılmayı kabul eden firmaların, ticari amaçlı çalışan kuruluşlar olmasına özen gösterilmiş, ticari amacı olmayan

kurumlar araştırmaya dâhil edilmemiştir. Bu kısıtlamalarla birlikte araştırmanın uygulaması Giresun, Rize ve Trabzon'da bulunan 3 çay fabrikasında yarı-yapılandırılmış görüşme tekniği ile yapılmış ve görüşme öncesinde hazırlanan 22 adet soru yönlendirilmiştir. Katılımcı işletmelerin kalite ve hijyen sorumluları olan gıda mühendisleri ile görüşmeler yapılmış, cevaplar içerik analiz yöntemi ile incelenmiştir.

Üç farklı çay fabrikasında çalışan görevliler, ISO 22000 Yönetim Sisteminin gerekliliği ile ilgili beş farklı görüş bildirmişlerdir. Özellikle üç fabrikadaki her bir sorumlu da eksiklikleri, yanlışlıkları veya hataları düzeltmede bu sistemin etkili olacağını ifade etmişlerdir. Bu durum işleyiş sisteminin kontrolünü sağlamada etkili olabilir. Ayrıca sorumlular, arşiv oluşturmada (CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub>) ve fabrikadaki farklı durumları izlemeye (CF<sub>2</sub>, CF<sub>3</sub>) bu sistemin yararlı olacağı yönünden görüş bildirmişlerdir. Bununla birlikte bu sistemin satış ve gıda güvenliği için gerekli olduğunu düşünen işletme de bulunmaktadır (CF<sub>1</sub>). Yiyecek-içecek hizmeti veren işletmelerin yer aldığı bir araştırmada yönetim sisteminin farklı konularda katkı sağladığı için gerekli olduğu belirtilmiştir (Bucak, 2012).

Araştırmanın yapıldığı işletmelerin tümü (CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub>) ISO 22000 GGYS 'ye geçmeden önce sırasıyla 10, 8 ve 15 yıl olarak ISO 9001 ile birlikte HACCP kullandıklarını belirtmişlerdir. Çay işletmelerinin daha önceden HACCP sistemini kullanmış olmaları güvenli gıda üretimine önem verdiklerini göstermektedir.

Katılımcı işletmelerin tümü, ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'ne geçerken çalışanların adaptasyon sorunu ile karşılaşmışlardır. Ayrıca işletmelerin ikisi (CF<sub>1</sub> ve CF<sub>2</sub>) danışman şirketten yardım aldıklarını ve KKN'lerin tespitinde sorunlarla karşılaştıklarını belirtmişlerdir. ISO 22000 GGYS'ye geçişte zorluk çekilen konular arasında çoğu işletmelerde var olan çalışanların bilgi yetersizliği, sisteme adapte olmakta güçlük çekilmesi ve dokümantasyon işlemini benimsetmekte zorluk yaşanması verilebilir. Çalışmamızda ifade edilen bu sonuca, benzer bir çalışmada gıda hijyeni ile ilgili yetersiz bilgiye sahip olan yönetici ve çalışanların, gıda güvenliği uygulamalarını doğru bir şekilde yapamadıkları tespit edilmiştir (Baş vd., 2007).

İşletmeler ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi sertifika belgelerini farklı belgelendirme kuruluşlarından aldıklarını belirtmişlerdir. İşletmelerin iki tanesinin (CF<sub>1</sub> ve CF<sub>2</sub>) tercihi, uluslararası özel kuruluşlar olurken, diğer işletmenin tercihi ise TSE olmuştur. Bu durumun en önemli nedeni, işletmelerin gerekli belgeleri temin ettikleri belgelendirme kuruluşunun hizmetlerini beğenerek yine aynı kuruluşları tercih etmesi ve iş birliği içinde çalışıyor olmasıdır. Bu durum iki avantaj ortaya çıkarmaktadır. Birincisi belgelendirme kuruluşunun daha önceden işletmeyi tanımamasının analiz edilme sürecini hızlandıracak olmasıdır. İkinci avantaj ise gerekli görülen denetlemenin işletmenin ilgili faaliyet alanına göre yapılarak doğru noktalara hızlı şekilde müdahale edilmesiyle sistemin kurulmasını sağlayabilecek olmasıdır. Dezavantajı ise etkin bir sistemin kurulması için doğru belgelendirme kuruluşunun seçiminde dikkatsiz davranılmış olması olabilir. Bu duruma bağlı olarak ta iyi bir yönetim sisteminin kurulmasında aksaklıklar ve gecikmelerin yaşanabileceği ihtimali ortaya çıkabilir.

Üç farklı çay fabrikasında çalışan gıda mühendislerinin tamamı, fabrika yönetimlerinin ISO 22000 GGYS'nin kurulmasında olumlu davranış sergilediklerini ifade etmişlerdir. İşletmelerin Yönetim Kurulları yeterli kaynakların sunulması, manevi sorumluluk, eğitim faaliyeti, bütün imkânların sağlanması ve iç denetimlere katılım konularındaki gerekliliklerini yerine getirmek için her an hazır beklediklerini belirtmişlerdir.

Katılımcı işletmeler ISO 22000 GGYS'ye göre çay üretim ve paketlenme işlemlerindeki tüm aşamaların, belgelendirmeyi yaptıkları uluslararası

iki firma ve TSE tarafından denetlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

ISO 22000 GGYS'nin uygulanması için başlıca sorumluluk işletme yönetimine düşmektedir. Yönetimin öncelikle ISO 22000 GGYS'nin işletmelerine katkıda bulunacağına ve sürekli güvenli gıda üretimi için mutlaka uygulanması zorunluluğuna inanması gerekmektedir. İşletme politikası oluşturulurken bu inançla hareket etmeli, altyapı ve üst yapıya gerekli olan kaynaklar sağlanmalı ve bunların sisteme uygun hale getirilmesi için çalışılmalıdır. Öncelik olarak yönetim bu sisteme takım lideri olmalı, üzerine düşen sorumlulukları yerine getirerek denetleme aşamasına katılmalıdır. Katılımcı çay işletmeleri, ISO 22000 Yönetim Sisteminin kurulması için her türlü imkânın sağlandığını, yeterli kaynakların sunulduğunu, maddi ve manevi sorumluluklarını yerine getirdiklerini, iç denetimlere katılım sağladıklarını dile getirmişlerdir. Bu durum sistemin daha hızlı uygulanabilir olmasına destek olmaktadır. Bu sonucu destekleyen ve en önemli etmenlerin yönetimin isteği ve desteği olduğunu gösteren bir çalışmada ise Gıda Güvenliği Yönetim Sisteminin kurularak, uygulama aşamalarının sürdürülebilmesi için üst yönetim desteğinin tam olmasının şart olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Küçüktezcen, 2010).

İşletmelerin sorumluları tarafından, işletmelerde kurulan ISO 22000 GGYS'nin faaliyet aşamalarındaki değişkenliklerin mutlaka her bir faaliyet için sürekli doğrulanarak düzeltmeler yapılması gerektiği ifade edilmiştir. ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemin'deki iç ve dış denetimler ile elde edilen veriler, yönetim sisteminin daha sağlıklı uygulanması için önemlidir. İç denetimler yılda en az 1 kez yapılmalıdır. Bununla birlikte, bu denetimlerin sayısı isteğe göre daha da artırılabilir. İç denetim yapılmış bir işletmede sorun teşkil eden kısımlara, sonraki denetimlerde daha fazla hassasiyet gösterilmesi ile sorunlar daha kolay çözümlenebilir. Dış denetimler ise farklı bir kurum tarafından daha objektif yapılabileceğinden dolayı yılda bir kez yapılması yeterlidir. İşletmelerin canlı bir organizmaya benzetildiği ve faaliyet süresince değişken bir yapıya sahip olduklarını belirten bir çalışmada meydana gelen değişikliklerin sistemi olumlu veya olumsuz etkilediği, bu nedenle sistem sürekli doğrulama faaliyetleri, iç ve dış denetimler ile bu etkilerin sisteme yansması ve sürekli iyileştirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır (Yazıcı, 2008).

ISO 22000 GGYS'nin gerekliliklerinin geçerli kılınması için gerekli izleme ve ölçme kontrolünün

yapılması aşamasında yaşanabilecek aksaklıkların önlenmesi amacıyla araştırmaya katılan işletmelerin tümü çalışanların konuya ilişkin eğitimleri üzerine daha çok önem vermişlerdir. Yapılan bir çalışmada özel testler kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda eğitimin kaliteyi doğrudan etkileyen çok önemli bir konu olduğu sonucuna varılmıştır (Önbaş, 2009).

CF<sub>1</sub> ve CF<sub>2</sub> işletmeleri dış denetimlerini danışmanlık aldıkları firmaya yaptırmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken iç denetimlerde olduğu gibi dış denetimlerde de işletmeye özgü sorunlar olmasıdır. Diğer bir önemli husus ise işlerin işleyişini yakından takip eden işçiler tarafından dokümanların doldurulmasının gerekliliğidir. Dokümantasyonun kontrol işlemi ise iş yerinde yetkili personel tarafından yapılmalıdır. Çalışanlar doküman doldurmayı fazladan bir iş olarak görmekte ve bunları doldururken zorlandıklarını belirtmişlerdir. Bu konu ile ilişkili Kanada'da Nguyen vd. (2004) yapmış olduğu bir araştırmada gıda güvenliği yönetim sistemi uygulamakta olan işletmelerin karşılaştıkları iki temel sorunun değişim ve dokümanların doldurulmasına karşı olan dirençtir.

ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin kurulum ve uygulanma aşamasında, işletmelerden bazı önkoşulların sağlanması istenmektedir. Bunlar arasında en önemlileri çalışan personelin eğitilmesi, hammadde ve yardımcı maddelerin özelliklerinin belirlenmesi, teknik donanım ve ekipman yeterliliği, kullanılan suyun özelliği, hijyen ve sanitasyon, kullanılan dezenfektan ürünlerinin özellikleri yer almaktadır. İstenilen ön koşulları sağlayamayan kuruluşların bu sistemi tamamiyle uygulaması imkânsız olacaktır (Koçak, 2007). Baş vd., (2007) yaptıkları çalışmada Türkiye'deki gıda firmalarında HACCP ve gıda güvenliği yönetiminin önündeki en önemli sorunun bilgi yetersizliği olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İşletmelerin önkoşul programlarının olmaması ve yetersiz fiziksel şartların diğer engelleri oluşturduğu düşünülmektedir. İşletmelerde çalışan görevlilerin tamamı çalışanları iş başı eğitime tabi tutarak görevlerinin anlatıldığını ve sonrasında doldurması zorunlu formların doldurulmasını istendiğini ifade etmişlerdir. Çalışanların bu formları doldurup teslim etmesi mecburi bir davranıştır. Bununla birlikte gözlemlenen davranışlar içerisinde bu formların zamanında doldurulmaması, çalışanların aklına geleni sonradan doldurması gibi davranışların yanlış sonuçlara yol açacağı ve sistemin doğru çalışmasını engelleyeceği unutulmamalıdır. Sistemin güvenliğinin artırılması, KKN'lerin

izlenmesi ve kaydedilmesi için otomatik kayıt sağlayabilecek teknolojilerin kullanılması gerektiğinin üzerine vurgu yapılmıştır (Başaran, 2016). Katılımcı işletmelerde çalışan gıda mühendislerinden ikisi KKN'de duyuşal ve cihazlar yardımıyla kontrolü sağlarken, diğer gıda mühendisi ise cihazlar yardımıyla kontrolü sağladıklarını ifade etmişlerdir. Araştırmanın yapıldığı işletmelerindeki gıda mühendislerinin tamamı KKN'lerin belirleyip sonrasında prosesleri planladıklarını ifade etmişlerdir. Prosesler planlanırken ilk iki firma danışman kuruluştan yardım aldığını diğer firma ise gerekli fizibilite çalışmalarını kendi bünyelerinde yaparak belirlediklerini ifade etmişlerdir. GGYS'nin uygulanması için restoran işletmelerinde gıda güvenliği konusunda uzman kişilerin çalıştırması ya da danışmanlık hizmeti alınmasının önemli olduğu sonucuna ulaşılmış olması (Şen, 2017) bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Üç farklı çay fabrikasında (CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub> ve CF<sub>3</sub>) çalışan gıda mühendislerinin tamamı tutulan formlardaki verileri belirlenen standart kalite değerleriyle karşılaştırmış ve uygunsuzlukları giderdiklerini ifade etmişlerdir. Böylelikle ürün kalitesini belirli bir standarda oturtmayı hedefledikleri görülmektedir. Ayrıca gıda güvenliği ile ilgili sorumlu kişilerle toplantı yapılarak değerlendirmelerde bulduklarını, daha önceki hedeflere ulaşıp ulaşılmadığının, ulaşılmış ise yeni hedefler belirlediklerini, sürekli iyileştirme ve güncellemelerde bulduklarını belirtmişlerdir. Bucak, (2012) tarafından yapılan benzer bir araştırmada ise ortaya çıkan değerlendirme sonuçlarına göre eksikliklerin tamamlanıp, gerekli güncellemelerin mutlaka yapılması sonucuna varılmış olunması sonuçlarımızı desteklemektedir.

Katılımcı fabrikalardaki sorumluların hepsi müşteri artışı, gelir artışı, maliyetin azalması, güven, imaj ve saygınlık kazandırması konularında ortak görüşlere sahiptirler. Bu durum ISO 22000'in başarıyla uygulanabildiği takdirde bir firmanın kurulum amaçlarından olan müşteri-gelir artışı, maliyet azalması, güven, imaj ve saygınlığın artması konularına olumlu katkılar yapacağı aşikârdır. ISO 22000'in kurumsallaşmak, güvenilirliği arttırmak, eksiklikleri ve hataları düzeltmek, kaliteyi arttırmak için gerekli bir sistem olduğunu her üç çay fabrikasındaki sorumlular tarafından ifade edilmiştir. Kurumsal firma olmak, güvenilirliği arttırmak, geriye dönük arşiv oluşturma, izlenebilirlik, eksiklikleri, yanlışlıkları/hataları düzeltme şansı kazanmak ve gıda güvenliğini sağlamak için sisteme bir an önce

geçmelerinin yaralı olacağı tüm işletmeler tarafından ortak görüş olarak ifade edilmiştir.

Mevcut araştırmanın yapıldığı işletmelerdeki görevliler sırasıyla; ilk firma (CF<sub>1</sub>) 5 düzeltici faaliyet, 2 önleyici faaliyet, ikinci firma (CF<sub>2</sub>) 25 düzeltici faaliyet, 5 önleyici faaliyet üçüncü firma (CF<sub>3</sub>) ise 3 düzeltici faaliyet, 1 önleyici faaliyet gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Özellikle haşere ile mücadele faaliyetler arasında daha çok ön planda tutulmuştur. Çözüm için haşereyle ilaçlı mücadele noktaları, sezon başında tüm fabrikanın ilaçlanması, kuş, sinek, böcek girmemesi için sineklikler takmışlardır. Bu durum önleyici ve düzeltici faaliyetlerin önemini ortaya koymaktadır.

Görüşmelerin yapıldığı çay fabrikalarında çalışan gıda mühendislerinin tamamı ISO 22000 Yönetim Sistemi'nin memnuniyet, güvenilirlik, izlenebilirlik, kaliteli iş ve kaliteli ürün temini, gıda güvenliği gibi konularda iç ve dış müşteriye hitap ettikleri yönünde görüş bildirmişlerdir. Ayrıca risk değerlendirme yöntemlerinin kullanılmasıyla iş kaza olasılıklarını en aza indirdiği buna dayalı olarak daha rahat çalışma ortamında çalışan işçilerin daha verimli iş çıkardıklarını ve bu durumun da çalışanlarda memnuniyet oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Geri çağırma sisteminin yönetim temsilcisi olan gıda güvenliği ekip lideri tarafından yapıldığı tüm katılımcılar tarafından ifade edilmiştir. Bu durum ekip liderinin önemini ortaya koyan bir başka kanıttır. Gıda güvenliğinin yönetimi için olmazsa olmazlardan birisi de gıda güvenliği konusunda bilgi ve deneyime sahip olunması gerekliliğidir. Araştırmadaki üç farklı çay fabrikasında çalışan gıda mühendislerinin tamamı gıda güvenliği konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip multi-disipliner bir HACCP ekibi bulunduğunu ve en az bir yetkili ile kurulduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca sorumlu gıda mühendislerinden (CF<sub>1</sub>, CF<sub>3</sub>) tüketicilerin e-mail, sms, anket ve müşteri ziyaret gibi yöntemlerin kullanılması ile gıda güvenliği konusunda bilinçlenmelerine katkı sağladıklarını ifade etmişlerdir. Diğer işletme mühendisi (CF<sub>2</sub>) ise bu konuda herhangi bir çalışmalarının olmadığını belirtmiştir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

### 5. Conclusions and Recommendations

ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi, ISO 9001 Kalite ve Yönetim Sistemi'ni de içine alan gıda güvenliği maddeleri ile HACCP standardının birleştirilmesiyle meydana gelmiş bir kalite yönetim sistemidir. Günümüzde hayat standardının yanında daha kaliteli hizmet isteyen tüketicilerin,

ihtiyaç ve isteklerin artması, kalite yönünden seçici olmaları sıkı bir rekabet içinde bulunan çay işletmelerinin kendilerini yenilemesi ve geliştirmesini zorunlu hale getirmiştir. İstek ve ihtiyaçları sürekli artan tüketicilerin taleplerini karşılayabilmek için çay işletmeleri farklı stratejiler belirleyerek, mevcut durumlarını muhafaza etmeye, geliştirmeye ve pazarlarını artırmaya çalışmaktadırlar. Her yönüyle kaliteli ve güvenli bir ürün elde etmek için üretim aşamalarında yer alan tüm faktörlerin geliştirilmiş olması gerekmektedir.

Çay fabrikalarında ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin uygulanması esnasında kaliteli ve güvenli son ürün için; öncelikle fabrikanın ulusal ve uluslararası mevzuatlarla eksik yanları belirlenmeli ve bunların en kısa sürede bertaraf edilerek sistemin sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Ortaya çıkan olumlu veya olumsuz değişimler sonucu yapılacak düzeltmeler, sistemin çok daha verimli çalışmasına fayda sağlayacaktır. Sistemin uygulandığı işletmelerde çalışanların uyum sorunu sistemin önemi ve ciddiyetini içeren eğitimlerle çözüme kavuşturulabilir.

ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nin işletmelere maddi ve manevi kazanç boyutunda katkıları oldukça fazla olduğu görülmektedir. Maddi olarak; yapılan işler standartlara uygun yapıldığından dolayı kayıp ve fire durumu en aza inmekte ve tasarruf yapılabilmektedir. Ayrıca ISO22000 GGYS'ye sahip olan çay işletmelerinin buldukları pazarda, GGYS'ye sahip olmayan işletmelere göre daha fazla güven duyularak tercih edildikleri görülmüştür. Dolayısıyla belgeye sahip işletmenin hizmet verdiği pazarda saygınlık ve olumlu imaj kazanacağı aşikârdır. ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi sertifikasına sahip işletme, gelir ve maliyet gibi maddi kazançların yanı sıra bir o kadar güvenilirlik ve imaj gibi manevi kazanç ta sağlamış olur.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Bu makale, 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim dalında Doç. Dr. Osman Üçüncü danışmanlığında Cemal Dilek tarafından yüksek lisans tezi olarak hazırlanan tezden üretilmiştir. Tezin makaleye dönüştürülmesine katkıda bulunan Prof. Dr. Yaşar Akkan ve Doç. Dr. Cemalettin Baltacı'ya teşekkür ederiz.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Makalede kullanılan verilerin elde edilmesi, yorumlanması ve makalenin yazımında yazarlar eşit katkı sunmuşlardır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

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

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

Baş, M., Yüksel M., & Çavuşoğlu T. (2007). Difficulties and barriers for the implementing of HACCP and food safety systems in food businesses in Turkey. *Food Control*, 18, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.09.002>

Başaran, B. (2014). *ISO 22000 gıda güvenliği yönetim sistemi uygulanan bir işletmede helva üretimindeki hammadde kaynaklı mikrobiyolojik risklerin izlenmesi değerlendirilmesi ve mikrobiyolojik kritik kontrol noktalarının tespiti* [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Başaran, B. (2016). ISO 22000 gıda güvenliği yönetim sistemi, *Journal of Food and Health Science*, 2(1), 9-26. <https://doi.org/10.3153/JFHS16002>

Bilgin, N. (2000). *İçerik analizi*. Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Yayınları.

Bogdan, R. C. & Biklen, S. K. (2007). *Qualitative research for education* (5th ed.). Boston: Pearson education.

Bölükbaşı, B. (2006). *Aroma üretimi yapan firmalarda uygulanacak HACCP kriterlerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Bsigroup (2022, February 20). *ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetimi*. <https://www.bsigroup.com/tr-TR/ISO-22000-Gida-Guvenligi-Yonetimi/>

Bucak, T. (2012). *Yiyecek içecek işletmelerinde ISO 22000 gıda güvenliği yönetim sisteminin uygulanabilirliği: İzmir ili örneği* [Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü].

Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E.K., & Demirel F. (2012). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri* (25. Baskı), Pegem Akademi.

Cihangir, P. (2017). *Bursa ilinde gıda sanayinde ISO 22000 kalite uygulamaları* [Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Creswell, J. W. (2013). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Çınar, S. (2012). *ISO 22000 ve Gıda Sanayinde Uygulamaları* [Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Ecevit, B. (2009). *ISO 22000 kalite sistemlerinin hazır yemek sektöründe uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Erfan, M. A. (2007). *Ham Rafine Ayçiçeği Yağı Üretiminde TS EN ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sisteminin Kurulması* [Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Koçak, N. (2007). ISO 22000: Gıda güvenliği yönetim sistemleri uygulama sürecinde temel adımlar, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 135-159.

Küçüktezcan, E. (2010). *ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Standardı: Bir Un Fabrikası Örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Marshall, C. & Rossman, G. B. (2006). *Designing qualitative research* (4th ed.). California: Sage Publications.

MEB- (2020, October 28). Milli Eğitim Bakanlığı, Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, EBA Portalı. *Gıda Teknolojisi, Gıda Mevzuatı ve Standartlar*.

Mertens, D. M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: integrating diversity with quantitative, qualitative and mixed methods* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Nguyen, T., Wilcock A. & Aung, M. (2004). Food safety and quality systems in Canada, *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(6), 655-671. <https://doi.org/10.1108/02656710410542052>

Önbaş, N. (2009). *Yiyecek içecek işletmelerinde ISO 22000 gıda güvenliği yönetim sistemi* [Yüksek



- Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü].
- Özdoğan, Y. G. (2009). *Sofralık zeytin sektöründe değer zinciri analizi ve ISO 22000 uygulamalarında karşılaşılan sorunlar* [Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). California: Sage Publications.
- Sertakan, A. (2006). *Bisküvi üretim proseslerinde HACCP gıda güvenliği sisteminin kurulması ve uygulamaları üzerine bir çalışma* [Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Soylu, A. (2009). *Fındık yağı sektöründe ISO 22000:2005 gıda güvenliği yönetim sistemi uygulamaları* [Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Şen M. A. (2017). Kritik kontrol noktalarında (KKN) risk matrisi uygulaması “bir restoran örneği”, *The Journal of Academic Social Science*, 5(61). <https://doi.org/10.16992/ASOS.13196>
- Şenel, İ. (2011). *Yiyecek içecek üretim hizmeti veren yataklı tedavi kurumlarının HACCP ve ISO 22000 gıda güvenlik sistemleri uygulamalarında karşılaştıkları engeller* [Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Yazıcı, M. (2008). *ISO 22000 sisteminin bir gıda firmasında uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2011). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (8. Basım). Seçkin Yayınları.
- Yılmaz, G. Ş. (2007). *ISO 22000: 2005 gıda güvenliği yönetim sistemi standardı: gıda ambalajı üreten bir firma örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Yüksel A. & Yüksel F., (2004). *Turizmde bilimsel araştırma yöntemleri*. Turhan Kitabevi.

## Effect of insulation thickness on energy saving in cold regions of Türkiye

### *Türkiye'nin soğuk bölgelerinde yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi*

Altuğ KARABEY\*<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 65080, Van

• Geliş tarihi / Received: 01.02.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 05.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 03.09.2022

#### Abstract

In the countries procuring a major amount of their energy from abroad, using of the energy effectively and ensuring the energy-saving become gradually more important. In this study, considering the climatic and meteorological conditions of Van province, optimum insulation thickness, payback period, and energy-saving values were analyzed for three insulation materials (rock wool, polyurethane, XPS) and five energy sources (imported coal, fuel oil, LPG, natural gas and electricity) on wall models built with pumice and aerated concrete. The optimum insulation thickness was calculated using the interest and inflation rates. The calculations were made by making use of the lifecycle cost analysis (LCCA). Insulation thickness that should be applied depending on the wall elements used in buildings can vary. Thus, examining the wall models, insulation materials and energy sources were examined, and the optimum insulation thicknesses, annual savings, and payback periods were found to be 3-15.6 mm, 30-63%, and 1.4-5.8 years, respectively, in the present study.

**Keywords:** Energy saving, Life Cost Analysis, Thermal insulation.

#### Öz

Enerji kullanımında dışa bağımlı ülkelerde enerjinin verimli olarak kullanılması ve bu sayede enerjiden tasarruf sağlanması gitgide daha önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, Van ili şartları ve meteorolojik değerleri göz önüne alınarak, bims ve gaz beton ile inşa edilen duvar modelleri üzerinde, üç farklı yalıtım malzemesi için (taş yünü, poliüretan, XPS) optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve enerji tasarrufları, beş farklı enerji kaynağı (ithal kömür, fuel-oil, LPG, doğalgaz ve elektrik) dikkate alınarak incelenmiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları; faiz ve enflasyon değerleri yardımıyla ömür maliyet analizine (lifecycle cost analysis) göre elde edilmiştir. Mimarilerde kullanılan duvar bileşenlerine göre uygulanması gereken yalıtım kalınlığının farklılık göstereceği bilinciyle, çalışmada incelenen duvar modelleri, yalıtım malzemeleri ve enerji kaynakları göz önüne alınarak, optimum yalıtım kalınlıkları, yıllık tasarruf miktarları ve geri ödeme sürelerinin sırasıyla; 3-15.6 mm, %30-63 ve 1.4-5.8 yıl aralıklarında olduğu elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji tasarrufu, Ömür Maliyet Analizi, Isı yalıtımı.

\*a Altuğ KARABEY; akarabey@yyu.edu.tr, Tel: (0533) 4881658, orcid.org/0000-0001-5799-4585

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Today, especially because of the climate-related global problems, it is very important to have the energy and to use it efficiently. The need for energy constitutes one of the most important items in the budget for both governments and individuals. Moreover, in many countries, the need for energy increases with advancing technology and industry (Tolun 2010). In Türkiye, however, the energy requirement is met mainly using fossil fuels and renewable energy. A remarkable portion of these energy sources is imported. Approx. 35-40 of imported energy is used in heating the houses (Isik & Tugan 2017). Besides that, a large portion of the total energy is used in buildings in Türkiye and 80% of this energy is consumed in heating and cooling (Gurel & Cingiz 2011). As stated in the 2018 Energy Efficiency Development Report by the General Directorate of Renewable Energy – Ministry of Energy and Natural Resources, 20% of total energy and 22% of total electric energy are consumed in houses in Türkiye. Approx. 60% of this energy is consumed for heating purposes in buildings (ETKB 2018). When compared to the EU countries, the amount of energy used in houses is remarkably high (European Commission (EC) 2018). Previous studies reported that, if the amount of energy used in buildings having sufficient heat insulation is decreased to the level of EU, the energy-saving could reach 30-40% in Türkiye (CSB 2015).

Measures to be taken for energy efficiency in residences; insulation, preventing the formation of thermal bridges, preventing losses from windows, disconnecting the air-conditioned environment with the outside air, using canopies, using a double door system at building entrances. Thermal insulation in buildings has many other benefits besides energy and fuel savings. Human and environmental health is one of them. Because the amount of energy consumed with thermal insulation applications will decrease, the amount of harmful gases will decrease and their effects will be alleviated. Therefore, a healthier and more comfortable environment will be created (Bektas et al. 2017). The importance of the heat transfer from inner environment and outer environment becomes more remarkable considering saving the energy used for heating. Given the principles of thermodynamics, the heat transfer occurs between two media having different temperature values. This transmission occurs generally from a high-temperature medium to a low-temperature medium (Isik & Tugan 2017). The heat insulation becomes

more important at this point. Heat insulation is the most efficient way to save energy in houses. From a general perspective, heat insulation can be defined as decreasing the heat transition between two media having different temperature levels (Karabey et al. 2012). Heat insulation in houses offers various advantages including a decrease in the fuel expenses, prolonged lifetime of building, a more livable and comfortable environment to be heated, and decreasing the harm to the environment by consuming less energy.

The type of material to be used in heat insulation and the optimum insulation thickness should be carefully calculated. The insulation process creates a cost at the beginning. This cost is compensated with the lower level of energy consumption in the process. When performed by using carefully selected parameters, 50% saving can be achieved and the payback period ranges between 3 and 5 years (Kaynakli & Yamankaradeniz 2007). Using a well-adjusted insulation thickness, heat loss (in case of low temperature) and heat gain (in case of high temperature) decrease. However, after a specific insulation thickness, the increasing thickness does not contribute to the energy-saving (Karabey et al. 2012). Hence, it is important to accurately determine the insulation thickness.

Another point to consider while calculating the optimum insulation thickness is the heating and cooling degree-day regions. It explains which parts of 24 hours of a day are cold for heating day-degrees. Similarly, the outer temperature should be considered for cooling day-degrees (Ucar 2010). In some of the studies carried out in Türkiye, 4 or 5 regions were reported. As stated by Bulut et al. (2007) in their study on determining the heating and cooling degree day regions, it was determined that there are five regions in Türkiye. The present study carried out in Van province is in the fourth region. Thus, heating is performed 7 months of a year. Taking the inner temperature to be  $t_h=20$  °C and outer temperature to be approx.  $t_e<15$  °C, the degree-day number would be  $DD=3988$  °C days (Dagsoz & Bayraktar 1995).

Gustafsson (2000) carried out a study in Sweden on the insulation dimensions in order to reduce the costs. In that study, the costs and benefits of insulation and economic transformations were examined from various aspects. Golcu et al. (2006) examined the effects and results of optimum insulation thickness on the energy saving. In their study, they used coal as the energy source and the optimum insulation thickness was found to be 0.048 m, annual saving to be 42%, and payback

period to be 2.4 years. [Gulten and Aksoy \(2007\)](#) investigated the energy expenses in outer wall system alternatives for different fuel types. In their study, they determined that, when applying the optimum insulation thickness to the wall, there was a reverse relationship between payback period and optimum insulation thickness.

[Yu et al. \(2009\)](#) carried out a study on the insulation thickness for an ideal and economical heating system. In their study, the authors stated that determining the insulation material is also important for insulation thickness and prices and thermal efficiencies should be considered while determining the material. [Ucar and Balo \(2010\)](#), in their study, selected cities from 4 different regions and calculated the payback periods of optimum insulation thickness with different insulation materials by 5 different fuel types. The longest payback period was found in Mersin province located in Mediterranean Region and the shortest one in Bitlis province located in the Eastern Anatolia region.

[Karabey et al. \(2012\)](#) investigated the optimum insulation thickness and conducted an energy-cost assessment for different fuel types and the brick-wall structure used in Van province. In their study, by using two different wall models in Van province, insulation thickness, energy-saving, and payback period values were calculated for five fuel types. In India, [Mishra et al. \(2012\)](#) calculated the optimum insulation thickness values for external walls and roof by using glass wool and expanded polystyrene. In their study, they used the degree-day method. The energy-saving and the payback period values were calculated. Conducting cost analysis for all the cities in Türkiye, [Kurekci et al. \(2012\)](#) computed the heat insulation thickness values. In their study, they used two fuel types (natural gas and coal). Moreover, analyzing five different insulation materials, they also calculated optimum insulation thickness and payback period values. [Ashrafian et al. \(2016\)](#), in their study, investigated different insulation materials for houses in three different regions of Türkiye. [Isik and Tugan \(2017\)](#) conducted calculations in order to minimize the heat losses and energy expenses by making use of optimum heat insulation thickness in Tunceli, Hakkari, and Kars provinces in Türkiye. As a result, the authors reported the optimum insulation thickness to be 7.9 cm for Tunceli, 8.2 cm for Hakkari, and 10.4 cm for Kars. In a postgraduate thesis, [Erdogan \(2018\)](#) computed optimum heat insulation thickness and payback periods and costs for different lifetimes of various insulation materials for Bursa province, which is

located in the second degree-day region, for non-zero real interest rates. [Dylewski and Adamczyk \(2018\)](#) examined various characteristics of heating and conducted climatic and economic analyses for this purpose. They emphasized that the climate of location and the cost should be considered while calculating the optimum insulation thickness. In a previous study, [Bektas \(2018\)](#) used the TS825 standard and cost analysis method and determined the optimum insulation thickness for a building under the conditions of Ankara province. The calculations were performed for five different insulation materials and external-coating of two different wall models. It was determined that brick and aerated-concrete walls should not have the same thickness.

[Rosti et al. \(2020\)](#), in their study carried out in Iran, calculated the payback period and saving obtained from the optimum thickness on the outer wall for all the climate regions in Iran. [Gelisi and Yesildal \(2020\)](#) investigated the classical and modern construction components. In their study, they used different wall components in 4 degree-day regions of Türkiye as sample. They reported that the minimum insulation thickness value should be 2-7cm in the 1<sup>st</sup> degree-day region, 2-8cm in the 2<sup>nd</sup> degree-day region, 3-10cm in the 3<sup>rd</sup> degree-day region, and 4-13cm in the 4<sup>th</sup> degree-day region. [Gelisi and Yesildal \(2020\)](#), in another study, examined the insulation thicknesses for different materials for the climatic conditions of Gumushane province by using TS 825 standard. In their study, they reported that the minimum insulation thickness should be 4cm for the structures in Gumushane. [Kalhor and Ememinejad \(2020\)](#) conducted analyses on insulation materials by using heat resistance and other factors. Insulation materials were traditionally chosen, and suggestions were provided for those materials. In another study carried out by [Unver et al. \(2020\)](#), heat insulation practices were examined for houses considering their climate regions. At this point, optimum thickness and payback periods of different insulation materials were tested. [Kizirgil \(2021\)](#) determined the optimum insulation thickness and environmental effects for the cold regions of Türkiye. In that study, optimum insulation thickness, costs, and CO<sub>2</sub> emission analyses were performed for two fuel types and four materials for 15 provinces located in the cold climate region.

In the present study, considering the conditions and meteorological characteristics of Van province, optimum insulation thicknesses, payback periods, and energy savings were analyzed for three

different insulation materials (rock wool, polyurethane, XPS) and five different energy sources (imported coal, fuel oil, LPG, natural gas, and electricity) on the wall models built using pumice and aerated concrete. The results were compared and presented in tables and graphs. In this way, it is aimed to enrich the existing studies in the literature by making a detailed analysis on insulation about Van province. At the same time, it is expected that this study will shed light on other studies related to thermal insulation, energy saving and environmental impact.

## 2. Material and method

### 2. Materyal ve metot

Even though they vary depending on the architectural project and status, the heat losses in multi-storey buildings arises generally from outer walls by 40% of total heat, windows by 30%, roof by 7%, basement floor by 6%, and air leaks by 17%. For a single-storey house, heat losses occur from outer walls by 35%, roof by 22%, windows by 20%, basement by 20%, and air leaks by 13%. As can be seen, the largest portion of heat loss in buildings arises from outer walls, windows, ceiling-roof, and floor (Altinisik 2006). For this reason, the outer walls causing the highest level of heat loss were examined in this study and the samples that are most widely preferred in Van province were used.

The energy-saving in buildings mainly depends on accurate details, use of high-quality materials, and performing a perfect application with skillful craftsmanship. Heat insulation should be a specialty. Thus, it should be performed by expert professionals; energy saving should be achieved using heat insulation and the individuals living in the place should be provided with comfortable conditions.

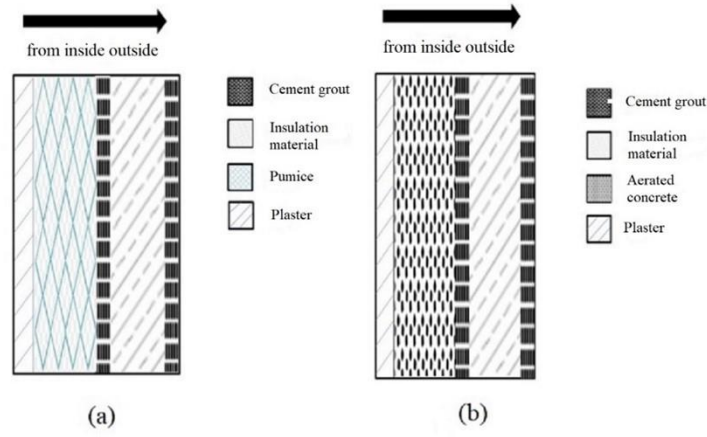
In Van, the fuels such as natural gas, domestic and imported lignite, liquid fuels, oil-derivative waste oils, wood, etc. are used for heating. Old automobile tires are crumbled and combusted in industrial zones (Cinar & Kocu 1999).

In Van province, the use of fossil fuels in heating the constructions is at a much higher level in winter. This is because no sufficiently effective insulation materials have been used especially in old structures. Heat Insulation Principles have not been implemented in buildings. Thus, too much energy is consumed in heating the non-insulated buildings in the winter season and the use of fossil fuels increases. This causes environmental pollution. Because of the harmful gases and particles, important air pollution and environmental problems have been experienced in Van, especially in the winter season.

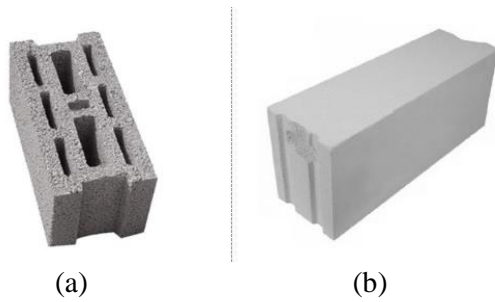
In a well-insulated medium, a large portion of the energy to be obtained by making use of an appropriate combustion method can be used as useful heating energy and the environment-polluting effect of fuel being combusted can be minimized.

Assessing the insulation materials in terms of applicability, price, procurement, fire safety, and environment and public health, it should be considered that they also should comply with the standard that the industry has set for future advancements. These purposes should be analyzed together with their combined effects within the scope of regulations, market, and safety (Gelis & Yesildal 2020). In the present study, by using maximum heat transfer coefficient (U) values recommended for four degree-day regions, the minimum insulation thickness, in which the heat transfer coefficient is a parameter, was calculated.

Because different wall structure components are used in buildings and there are different practices, pumice and aerated concrete that are among the most widely used wall structure components in Van province were used as standard structure components. The minimum insulation thickness recommendations were calculated for the type and thickness of these components (10 cm for pumice concrete and 20 cm for aerated concrete).



**Figure 1.** Cross-section of outer-wall components.  
**Şekil 1.** Dış duvar bileşenlerinin kesit görünüşü.



**Figure 2.** Construction components used in outer wall.  
**Şekil 2.** Dış duvarda kullanılan yapı elemanları.

**2.1. Calculations**

**2.1. Hesaplamalar**

Building envelope plays an important role in heat gains and losses in buildings. Heat losses in buildings generally occur through outer walls, windows, ceilings, basements, and air leakages. It suggests the necessity of heat insulation. In the present study, optimum insulation thickness was calculated considering only the losses occurring on the outer walls and ignoring the heat bridges. Heat loss on the unit surface of outer wall is calculated using the formula below

$$q = U \cdot \Delta T \tag{1}$$

where, q refers to the heat loss on the unit surface of outer wall, U to heat transfer coefficient of outer wall, and ΔT to temperature difference between two sides.

Annual heat loss on the unit surface is

$$q_A = 86400 \cdot DD \cdot U \tag{2}$$

where, q<sub>Y</sub> refers to annual heat loss on the unit surface of outer wall and DD to the degree-day number.

The annual amount (E<sub>A</sub>) of energy needed for heating due to the heat loss on the unit surface of outer wall is calculated by dividing the annual heat loss by the efficiency of system (Açikkalp & Kandemir 2019).

$$E_A = 86400 \cdot DD \cdot U / \eta \tag{3}$$

Total heat transfer of wall U is

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \tag{4}$$

where, R<sub>i</sub> refers to heat resistance of inner surface, R<sub>w</sub> to heat resistance of non-insulated wall layers, R<sub>ins</sub> to heat resistance of insulation material, and R<sub>o</sub> to heat resistance of outer surface.

Heat resistance of insulation material (R<sub>ins</sub>) is

$$R_{ins} = \frac{x}{\lambda} \tag{5}$$

where, x refers to insulation material thickness and λ to insulation material’s heat transfer coefficient (Kandemir et al. 2019).

Total heat resistance of non-insulated wall layer is

$$R_{wt} = R_i + R_w + R_o \tag{6}$$

Total heat transfer is

$$U = \frac{1}{R_{wt} + R_{ins}} \tag{7}$$

In conclusion, annual amount of energy consumed E<sub>A</sub> is

$$E_A = \frac{86400 \cdot DD}{(R_{wt} + R_{ins}) \cdot \eta} \quad (8)$$

The lifecycle energy cost analysis of a system or a component of a system was conducted using the Lifecycle Cost Analysis method. The annual cost of energy for heating the unit area (insulated or non-insulated) ( $C_E$ ) is

$$C_E = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_F}{(R_{wt} + R_{ins}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (9)$$

Where,  $C_F$  refers to the cost of the energy source and  $H_u$  to the lower calorific value of the energy source (Kurekci et al. 2012).

Lifecycle cost analysis (LCCA) was used in calculating the optimum insulation thickness. Total heating cost was calculated by combining lifecycle (N) and real value factor (PWF). Real value factor is related with inflation rate (g) and interest rate (i). Real interest rate (r) and PWF are calculated using interest rate and inflation rate (Acikkalp & Kandemir 2019).

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (10)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (11)$$

In Equation 11, N refers to lifecycle and was taken as 10 years. Investment cost  $C_{ins}$  ( $\$/m^2$ ) is calculated as follows.

$$C_{ins} = C_i \cdot x \quad (12)$$

Where,  $C_i$  refers to the cost of insulation material ( $\$/m^3$ ) and x to the insulation material thickness (Kandemir et al. 2019).

In conclusion, the total heating cost of an insulated building was calculated using lifecycle cost analysis (LCCA)

$$C_t = (C_{ins} \cdot PWF) + C_i \cdot x \quad (13)$$

or

$$C_t = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_F}{(R_{wt} + R_{ins}) \cdot H_u \cdot \eta} + C_i \cdot x \quad (14)$$

Optimum insulation thickness is calculated in order to minimize the total heating expenses or maximize the annual savings. Optimum insulation thickness is calculated by taking the derivative of total heating expenses (Equation 14) by the insulation thickness (x). In conclusion, the optimum insulation thickness, where the investment cost and fuel expenses are at optimum, is

$$x_{opt} = 293,94 \left( \frac{DD \cdot C_F \cdot PWF \cdot \lambda}{H_u \cdot C_i \cdot \eta} \right)^{\frac{1}{2}} - \lambda \cdot R_{wt} \quad (15)$$

Payback of investment is an important parameter. It requires the calculation of the payback period. This period is calculated by proportioning the annual heating expenses of non-insulated condition to the annual total heating cost different calculated for insulated and non-insulated conditions. The payback period was calculated using the formulas below (Işık & Tugan 2017).

Total heating expense of non-insulated building is;

$$C = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_F \cdot PWF}{(R_{wt}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (16)$$

Payback period is

$$PP = \frac{C}{(C - C_{ins})} \quad (17)$$

As seen in Equation 15, optimum insulation thickness varies depending on the parameters such as energy source costs, insulation material costs, wall and insulation material characteristics, and PWF. For Van province, the parameters used in the calculation of optimum insulation thickness, annual savings, and payback periods are presented in Table 1 (AKSA Naturel Gas 2022; Hepsiburada 2022; Bulut et al. 2007; TS 825 2008; TUIK 2022).

**Table 1.** Parameters used in calculations.

**Tablo 1.** Hesaplamalarda kullanılan parametreler.

Parameters			
R <sub>wt</sub> (pumice all model)	1.16 W/m <sup>2</sup> K	H <sub>u</sub> (natural gas)	34542750 j/kg
R <sub>wt</sub> (aerated concrete wall model)	1.21 W/m <sup>2</sup> K	H <sub>u</sub> (electricity)	3600820 j/kg
PWF	9.81	H <sub>coal</sub>	0.65
DD (°C day)	3476	η <sub>fuel-oil</sub>	0.80
λ (rock wool)	0.040 W/mK	η <sub>LPG</sub>	0.92
λ (polyurethane)	0.035 W/mK	H <sub>n, gas</sub>	0.93
λ (XPS)	0.031 W/mK	H <sub>electricity</sub>	0.99
c <sub>i</sub> (rock wool)	65.4 \$/m <sup>3</sup>	C <sub>F</sub> (imported coal)	0.18 \$/kg
c <sub>i</sub> (polyurethane)	115.4 \$/m <sup>3</sup>	C <sub>F</sub> (Fuel-oil, No:4)	0.6 \$/kg
c <sub>i</sub> (XPS)	61.5 \$/m <sup>3</sup>	C <sub>F</sub> (LPG)	0.97 \$/kg
H <sub>u</sub> (imported coal)	29309000 j/kg	C <sub>F</sub> (natural gas)	0.19 \$/m <sup>3</sup>
H <sub>u</sub> (Fuel-oil, No:4)	41346625 j/kg	C <sub>F</sub> (electricity)	0.07 \$/kg
H <sub>u</sub> (LPG)	46475700 j/kg	i=14 (mean value for December 2021), g=13.6 (December 2021), N=10 years	

**3. Results and discussion**

*3. Bulgular ve tartışma*

The investment expenses increase with increasing thickness of insulation used in building walls but heating costs and fuel expenses decrease. The effect of insulation thickness on the fuel and investment costs increases after a specific value.

The value yielding the minimum total cost yields the optimum insulation thickness. Using rock wool, polyurethane, and XPS as insulation materials for the wall models widely preferred in Van province, optimum insulation thickness was calculated for five different energy sources by making use of Equation 15. The results obtained for pumice and aerated concrete walls are presented in Table 2.

**Table 2.** Optimum insulation thicknesses for wall models by different energy sources.

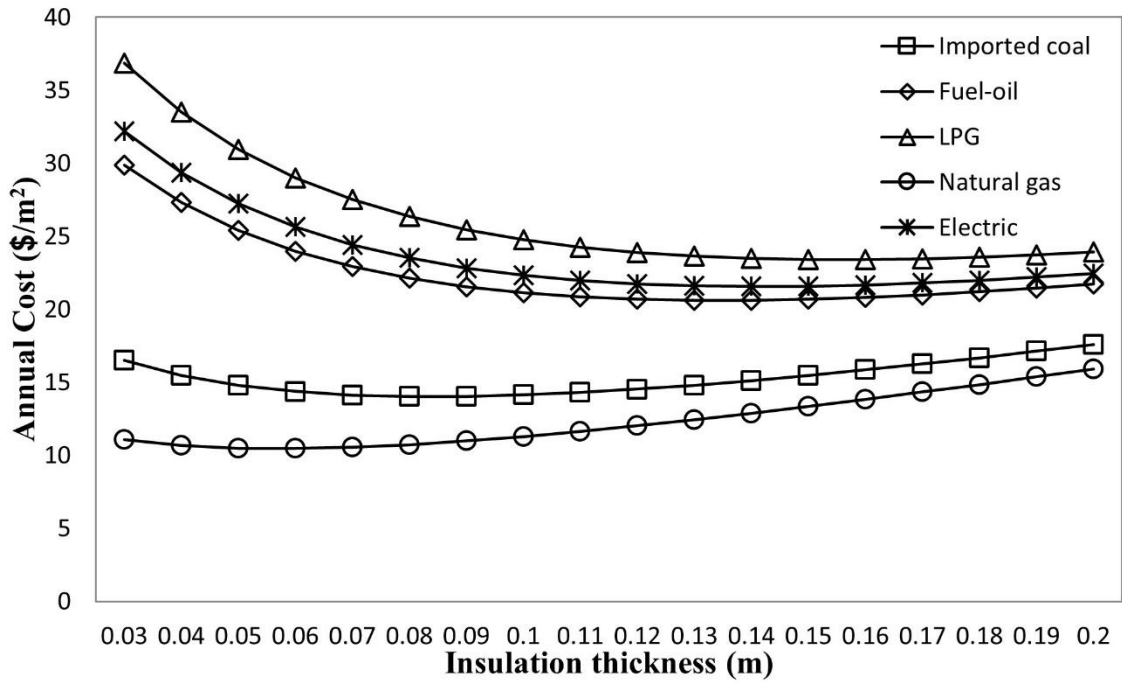
**Tablo 2.** Farklı enerji kaynaklarına göre duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıkları.

Energy Source	Optimum Insulation Thickness (m)					
	Pumice concrete wall model			Aerated concrete wall model		
	rock wool	polyurethane	XPS	rock wool	polyurethane	XPS
<b>Imported Coal</b>	0.084	0.051	0.082	0.082	0.049	0.081
<b>Fuel-oil</b>	0.134	0.087	0.128	0.132	0.085	0.126
<b>LPG</b>	0.156	0.102	0.147	0.154	0.1	0.146
<b>Natural Gas</b>	0.057	0.032	0.058	0.055	0.030	0.056
<b>Electricity</b>	0.142	0.092	0.135	0.140	0.09	0.133

Total annual heating expenses were calculated for an insulated building under the conditions of Van province by five different energy sources and two different wall models by making use of Equation 14. Then, the relationship between annual total cost and optimum insulation thickness was illustrated in

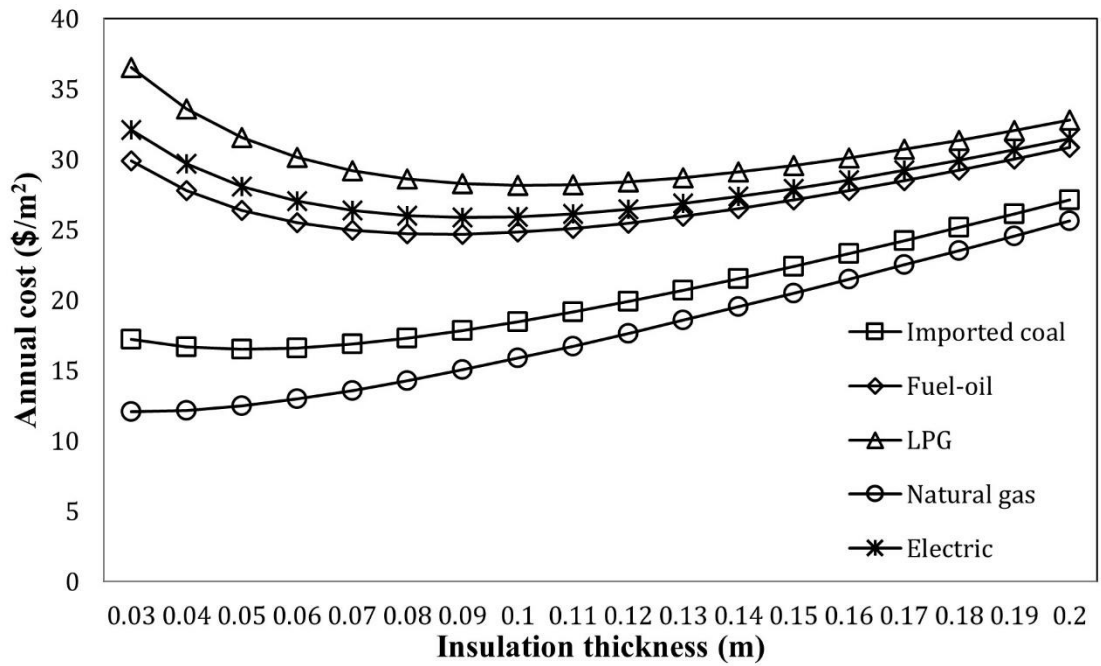
diagrams for energy sources and wall types; the relationships for the pumice concrete wall are illustrated in Figures 3-5 and those for the aerated concrete wall in Figures 6-8. The values used in calculations are presented in Table 3.





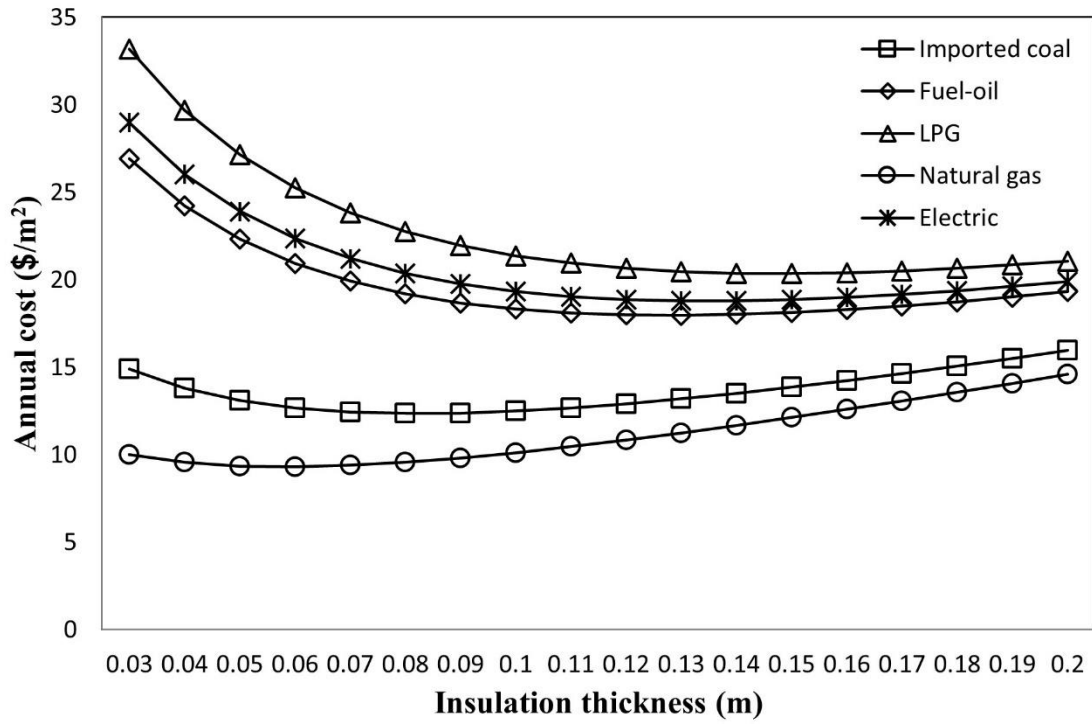
**Figure 3.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for rock wool and pumice concrete wall model.

*Şekil 3.* Bims ile yapılan duvar modelinde taş yünü kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.



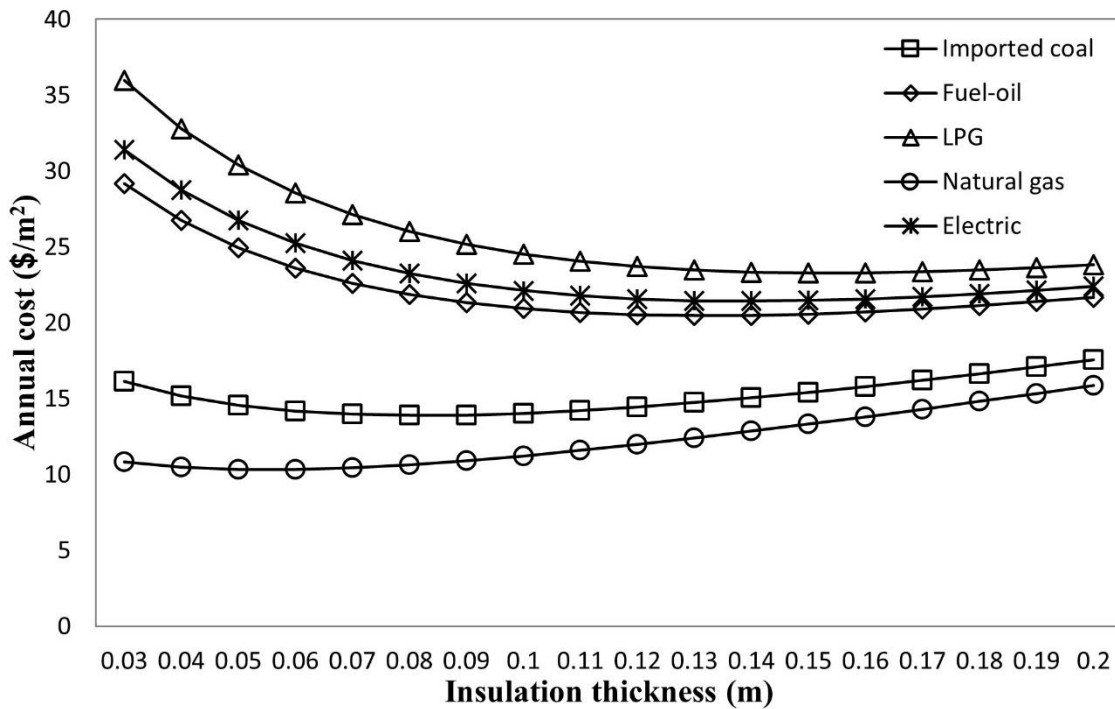
**Figure 4.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for polyurethane and pumice concrete wall model.

*Şekil 4.* Bims ile yapılan duvar modelinde poliüretan kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.



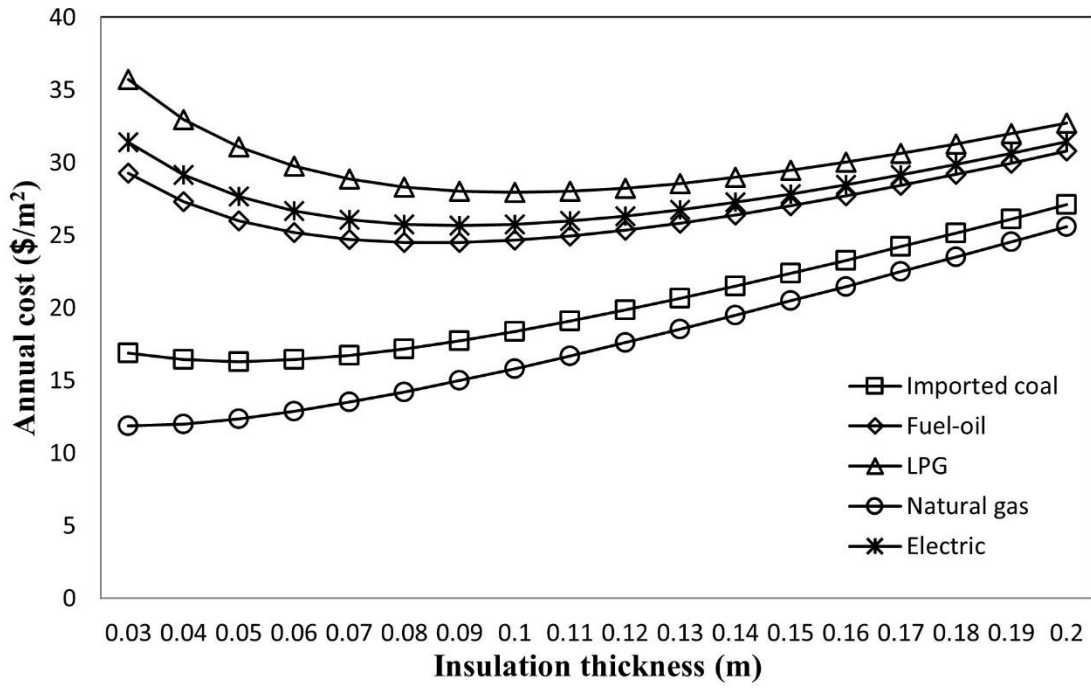
**Figure 5.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for XPS and pumice concrete wall model.

*Şekil 5.* Bims ile yapılan duvar modelinde XPS kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.



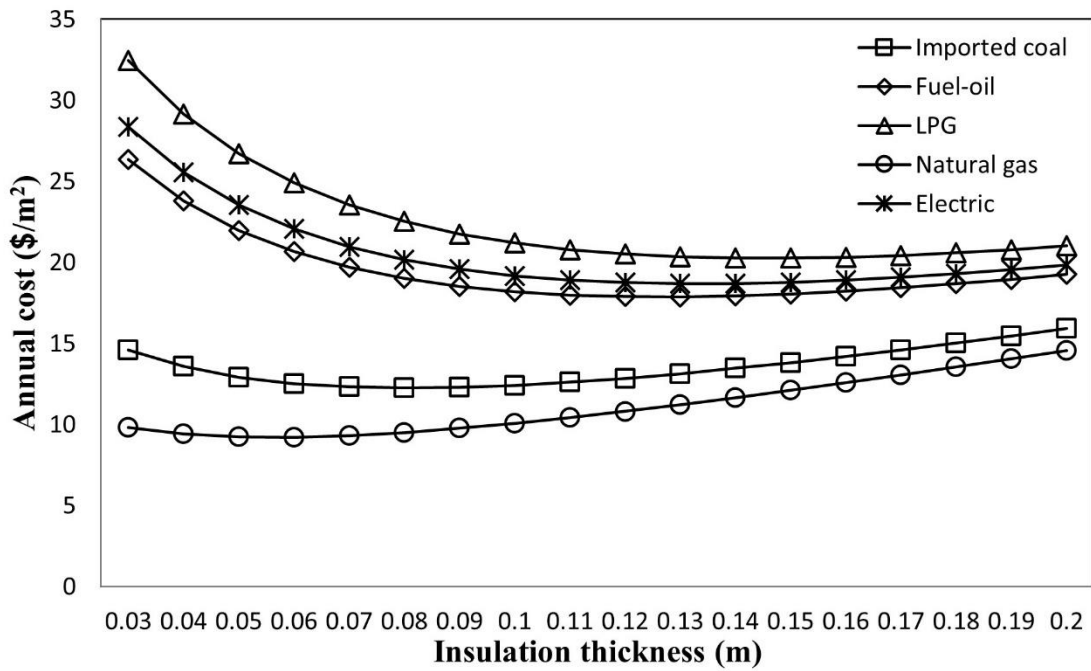
**Figure 6.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for rock wool and aerated concrete wall model.

*Şekil 6.* Gaz beton ile yapılan duvar modelinde taş yünü kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.



**Figure 7.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for polyurethane and aerated concrete wall model.

*Şekil 7.* Gaz beton ile yapılan duvar modelinde poliüretan kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.



**Figure 8.** Effect of the insulation thickness on the annual total expenses for XPS and aerated concrete wall model.

*Şekil 8.* Gaz beton ile yapılan duvar modelinde XPS kullanılan durum için yalıtım kalınlığının yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.

**Table 3.** Relationship with annual total expenses by different wall models and energy sources.

**Tablo 3.** Farklı duvar modelleri ve enerji kaynaklarına göre yıllık toplam maliyet ilişkisi.

Energy Source	Annual Total Expenses (\$/m <sup>2</sup> )					
	Pumice concrete wall model			Aerated concrete wall model		
	Total Annual Cost for Rock Wool (\$/m <sup>2</sup> )	Total Annual Cost for Polyurethane (\$/m <sup>2</sup> )	Total Annual Cost for XPS (\$/m <sup>2</sup> )	Total Annual Cost for Rock Wool (\$/m <sup>2</sup> )	Total Annual Cost for Polyurethane (\$/m <sup>2</sup> )	Total Annual Cost for XPS (\$/m <sup>2</sup> )
Imported Coal	14.02	16.50	12.35	13.89	16.30	12.25
Fuel-oil	20.6	24.68	17.97	20.47	24.48	17.87
LPG	23.4	28.16	20.36	23.27	27.95	20.26
Natural Gas	10.46	12.07	9.31	10.33	11.87	9.21
Electricity	21.56	25.87	18.78	21.43	25.67	18.69

Payback period is calculated by dividing the annual heating expenses by the annual difference between insulated and non-insulated buildings. Similar to the effect of PWF on optimum insulation thickness, with increasing degree-day value, optimum insulation thickness increases but the payback period decreases. Thus, since Van is in a cold region, the results obtained were similar to optimum insulation thickness values obtained for Erzurum, Kars, and Erzincan.

Payback periods and annual savings for a 10-year lifecycle by optimum insulation thickness values of different energy sources in pumice and aerated concrete wall models are presented in Table 4. The difference between heating expenses calculated for insulated and non-insulated forms of preferred wall models refers to the annual amount of saving for the unit area. Annual savings vary in parallel with fuel costs and PWF.

**Table 4.** Payback period - annual saving relationship by different wall types and energy sources.

**Tablo 4.** Farklı duvar tipleri ve enerji kaynaklarına göre geri ödeme süresi, yıllık tasarruf ilişkisi.

Energy Source	Payback period (Years) / Annual saving (\$/m <sup>2</sup> )					
	Pumice concrete wall model			Aerated concrete wall model		
	Rock Wool	Polyurethane	XPS	Rock Wool	Polyurethane	XPS
Imported Coal	2.4 / 9.88	3.2 / 7.40	2.1 / 11.55	1.7 / 9.03	1.4 / 6.62	1.9 / 10.67
Fuel-oil	1.8 / 25.29	2.2 / 21.21	1.6 / 27.92	1.9 / 23.53	2.3 / 19.52	1.7 / 26.13
LPG	1.7 / 34.00	2.0 / 29.24	1.6 / 37.04	1.7 / 31.76	2.0 / 27.08	1.6 / 34.77
Natural Gas	3.3 / 4.51	5.2 / 2.89	2.7 / 5.66	3.6 / 4.02	5.8 / 2.47	2.8 / 5.14
Electricity	1.8 / 28.12	2.1 / 23.81	1.6 / 30.90	1.8 / 26.21	2.2 / 21.97	1.7 / 28.95

#### 4. Conclusion

##### 4. Sonuçlar

Nowadays, because of the problems such as gradually decreasing energy sources, increasing heating expenses, gases released to the atmosphere and creating a greenhouse effect, and release of fossil fuel residuals, it is important to follow the heat insulation principles set in the standards and to use energy efficiently. Optimum insulation thickness was calculated for five energy sources by using two different wall models preferred in Van

province and making use of rock wool, polyurethane, and XPS as insulation materials. Moreover, in the present study, the efficiencies of energy sources were analyzed for total insulation costs and payback periods and different wall models. Given the wall models used in this study, it was determined that the minimum values of optimum insulation thickness were obtained for natural gas and imported coal used as energy sources. It also reduced the annual total expenses. When using polyurethane as insulation material, optimum insulation thickness values were found to

be 0.032 m for natural gas and 0.057 m for imported coal in pumice concrete wall model and 0.030 m for natural gas and 0.055 m for imported coal in aerated concrete wall model. Similarly, when using polyurethane as insulation material, the annual amount of saving was found to be 2.89 \$/m<sup>2</sup> for natural gas and 7.40 \$/m<sup>2</sup> for imported coal in pumice concrete wall model and 2.47 \$/m<sup>2</sup> for natural gas and 6.62 \$/m<sup>2</sup> for imported coal in aerated concrete wall model. Building insulation can directly contribute to the efficient and less consumption of energy resources by reducing the thermal energy demand. As building insulation reduces the amount of energy consumed, it also contributes to reducing the negative environmental effects of greenhouse gases emitted by buildings. Considering both its economic and environmental benefits, the selection of the exterior wall construction material and the determination of the thickness and type of the thermal insulation material at the end are interrelated and important issues.

### Nomenclature

#### Terminoloji

$C_A$  : Annual energy expense of heating (\$/m<sup>2</sup>-year)  
 $C_F$  : Unit price of energy sources being used (\$/kg, \$/m<sup>3</sup>, \$/kWh)  
 $C_{ins}$  : Total heating costs of insulated building (\$/m<sup>2</sup>- year)  
 $C$  : Total heating costs of non-insulated building (\$/m<sup>2</sup>- year)  
 $C_{ins}$  : Insulation material cost (\$/m<sup>3</sup>)  
 $DD$  : Degree-day number (°C-day)  
 $E_A$  : Annual amount of energy needed for heating (j/m<sup>2</sup>- year)  
 $g$  : Inflation rate  
 $H_u$  : Calorific value (j/kg)  
 $i$  : Interest rate  
 $U$  : Total heat transfer coefficient (W/m<sup>2</sup>K)  
 LCCA : Lifecycle cost analysis  
 $N$  : Lifecycle (year)  
 PWF : Real value factor  
 $q_A$  : Annual heat loss (W/m<sup>2</sup>)  
 $r$  : Real interest rate  
 $R_o$  : Heat resistance coefficient of outer environment air (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_i$  : Heat resistance coefficient of inner environment air (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_{ins}$  : Heat resistance coefficient of insulation material (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_w$  : Heat resistance coefficient of non-insulated wall model (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_{wt}$  : Total heat resistance coefficient of non-insulated wall model (m<sup>2</sup>K/W)

$x$  : Insulation thickness (m)  
 $x_{opt}$  : Optimum insulation thickness (m)  
 $\lambda$  : Heat transfer coefficient of insulation material (W/mK)  
 $\eta$  : Efficiency of the combustion system

### Author contribution

#### Yazar katkısı

The author provided the literature review of the article, the preparation of the model, the preparation of all figures and tables, the evaluation of the results and the preparation of the references.

### Declaration of ethical code

#### Etik beyanı

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

### Conflicts of interest

#### Çıkar çatışması beyanı

The author declares that there is no conflict of interest.

### Kaynaklar

#### References

- AKSA Naturel Gas, Akxa Natural Gas Distribution Inc. (2022, January 21). <https://www.aksadogalgaz.com.tr/Musteri-Hizmetleri/Fiyat-Tarifeleri/Satis-Tarifesi/Van>.
- Altınışık, K. (2006). *Isı yalıtımı*. Nobel Yayın, Press No:954.
- Ashrafiyan, T., Yilmaz, A. Z., Corgnati, S. P., & Moazzen, N. (2016). Methodology to define cost-optimal level of architectural measures for energy efficient retrofits of existing detached residential buildings in Türkiye. *Energy and Buildings*, 120, 58-77. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.074>
- Bektaş, V. (2018). *Binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması* [Master thesis, Bilecik Şeyh Edebali University, Institute of Science and Technology].
- Bektaş, V., Çerçevik, A. E., & Kandemir, S. Y., (2017). Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 36-42. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bseufbd/issue/32048/356348>

- Bulut H., Büyükalaca, O., & Yılmaz, T. (2007). Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün bölgeleri. *16th National Congress of Thermal Sciences and Technology (ULIBTK'07)*, Kayseri.
- Çınar, K., & Koçu, N. (1999). Konya kentindeki hava kirliliğinin sebepleri ve sonuçları. *Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu 99*, (pp.624-632), İstanbul.
- Dagsoz, A. K., & Bayraktar, K. (1995). *Türkiye'de derece gün sayıları ve enerji politikamız*. İzocam Yayınları, A-8.
- Dylewski, R., & Adamczyk, J., (2018). Optimum thickness of the thermal insulation layer from the economic and ecological perspective, *4th International Conference on Building Energy, Environment*, (pp. 91-96), Melbourne.
- Gelis, K., & Yesildal, F. (2020). Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ve minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 10(4), 869-877.  
<https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.725909>
- Golcu M., Dombayci, O. A., & Abali, S. (2006). Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(4), 639-644.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/670/88852>
- Gustafsson, S. (2000). Optimisation of insulation measures on existing buildings. *Energy and Buildings*, 33(1), 49-55.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00062-1)
- Gulten, A., & Aksoy, U. T. (2007). Farklı yakıt türlerine göre dış duvar sistem alternatiflerinin enerji maliyetinin incelenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy* 2(1), Article Number: A0017.  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/187425>
- Gurel, A. E., & Cingiz, Z. (2011). Farklı dış duvar yapıları için optimum ısı yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 75-81.  
<http://www.saujs.sakarya.edu.tr/tr/pub/issue/20675/220625>
- Erdoğan, O. (2018). *Ekonomik parametreler dikkate alınarak bina dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının optimizasyonu* [Master thesis, Uludağ University, Institute of Science and Technology].
- Hepsiburada, D-MARKET Electronic Services Inc. (2022, January 21).  
<https://www.hepsiburada.com/yalitim-malzemeleri-c-60005248?ib=t>
- İşık, E., & Tugan, V. (2017). Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum ısı yalıtım kalınlığının hesaplanması. *International Journal of Pure Applied Science*, 3(2), 50-57.  
<https://doi.org/10.29132/ijpas.328883>
- Kalhor, K., & Ememinejad, N. (2020). Qualitative and quantitative optimization of thermal insulation materials: insights from the market and energy codes. *Journal Of Building Engineering*, 30, 101275.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101275>
- Kandemir, S. Y., & Açıkkalp, E. (2019). A method for determining optimum insulation thickness: Combined economic and environmental method. *Thermal Science and Engineering Progress*, 11, 249-253.  
<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.04.004>
- Kandemir, S. Y., Bektaş V., & Açıkkalp E. (2019). Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 275-288.  
<https://doi.org/10.24012/dumf.401958>
- Karabey, A., Bolukbasi, A., & Onal, M. (2012). Van ili farklı yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlığı ve enerji maliyetinin değerlendirilmesi. *National Air Conditioning and Refrigeration Education Symposium*. (pp. 698-708), Balıkesir.
- Kaynaklı Ö., & Yamankaradeniz, R. (2007). Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı. 8. *National Installation Engineering Congress*, (pp. 187-195), İzmir.
- Kizirgil, S. (2021). *Türkiye'nin soğuk iklim bölgeleri için optimum yalıtım kalınlığı ve çevresel etki analizi* [Master thesis, Fırat University, Institute of Science and Technology].
- Kurekci, A., Bardakcı, T., Cubuk, H., & Emanet O. (2012). Türkiye'nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 131, 5-21.  
[http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/d71182310b6a550\\_ek.pdf?dergi=1291](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d71182310b6a550_ek.pdf?dergi=1291)
- Mishra, S., Usmani, J., & Varshney S. (2012). Optimum insulation thickness of the external walls and roof for different degree-days region, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 1(7), 1-8.  
<https://doi.org/10.17577/IJERTV1IIS7213>
- Rosti, B., Omidvar, A., & Monghasemi, N. (2020). Optimal insulation thickness of common classic and modern exterior walls in different climate zones of Iran. *Journal of Building Engineering*,

- 27, 100954. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100954>
- Tolun, M. (2010). *Farklı derece-gün bölgeleri için yalıtım probleminin incelenmesi* [Master thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology].
- TS 825, (2008). *Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TUIK, Turkish Statistical Institute. (2022, January 21). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=enflasyon-ve-fiyat-106>
- Ucar, A. (2010). Thermo-economic analysis method for optimization of insulation thickness for four different climatic regions of Türkiye. *Energy*, 35, 1854-1864. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.022>
- Ucar, A., & Balo F. (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*, 35(1), 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.009>
- Unver, U., Adıguzel, E., Adıguzel, E., Civi, S., & Roshanaei K. (2020). Türkiye'deki iklim bölgelerine göre binalarda ısı yalıtım uygulamaları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 171-187. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/imctd/issue/59372/805008>
- Yesildal, F., & Gelis, K. (2020). Gümüşhane iklim şartlarında farklı malzemeler için yalıtım kalınlıklarının TS 825 kapsamında değerlendirilmesi. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 10(3), 830-843. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.718215>
- Yu, J., Yang, C., Tian, L., & Liao, D. (2009). A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86(11), 2520-2529. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.010>

## Protatif anaerobik biyoreaktör tasarımı ve üretim denemeleri

### *Portable anaerobic bioreactor design and production trials*

Halil ŞENOL<sup>1,a</sup>, Selçuk ATASOY<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup> Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun

<sup>2</sup> Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 11.09.2022

#### Öz

Biyogaz organik atıkların anaerobik sindirimi ile üretilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz içerisinde % 50-65 metan gazı, % 35-50 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı ve 100-1000 ppm oranında hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) gazı ihtiva etmektedir. Biyogaz üretim teknolojilerinde en büyük dezavantajlardan biri biyogazı biyometana çeviren saflaştırma teknolojilerinin maliyetidir. Bu çalışmada protatif, kesikli çalışan bir anaerobik biyoreaktör ve 20 litrelik bir gazometre tasarlanmıştır. Gazometre kullanılmak üzere amaç biyoreaktörden çıkan ham biyogazın içinde bulunan H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gazlarının dışarıdan herhangi bir müdahale gerektirmeden sadece biyogazın üretim gücünü kullanarak adsorpsiyonunu sağlamaktır. Bu kapsamda 5 litrelik etkili hacmi bulunan kesikli biyoreaktörün sadece üretilen biyogaz miktarı ve biyogaz içeriği iki tekrarlı test edilmiştir. Bu üretim kapsamında kesikli reaktörde gaz üretiminin başladığı andan itibaren her beş günde bir numune alınmış olup kimyasal oksijen ihtiyacının giderimi başlangıç durumuna göre kıyaslanmıştır. Her üretim denemesi 36 gün sürmüştür ve üretim denemeleri 2 tekrarlı yürütülmüştür. Daha sonra çalışmanın ikinci aşamasına geçilmiş olup biyogaz çıkışı doğrudan gazometre tankına bağlanmıştır. Bu aşamada gazometreden ve kesikli reaktörden her beş günde bir biyogaz ve organik atık numune örneği alınarak test edilmiştir. Gazometresiz denemeler sonucunda oluşan biyogazın H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> içerikleri sırasıyla 558 ± 55 ppm ve % 55.4 ± 2.9 iken gazometreli üretim sonucunda bu değerler sırasıyla 45 ppm ve % 24.5 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak endüstriyel ölçekli bir gazometreli sistemin ekstra bir biyogaz saflaştırma ünitesi gerektirmeden biyogaz içerisindeki H<sub>2</sub>S'nin yaklaşık %88' ini ve CO<sub>2</sub>'nin % 55' ini adsorpladığı tespit edilmiştir. Sonraki çalışmalar için, gazometre hacminin değişimi ve gazometredeki suyun bekleme sürelerinin artırılması, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S konsantrasyonlarının daha da azaltılabileceği için tavsiye edilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Hidrojen sülfür, Karbondioksit, Kesikli biyoreaktör, Metan

#### Abstract

Biogas is a flammable gas mixture that can be produced by anaerobic digestion of organic wastes. It contains 50-65% methane gas, 35-50% carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas and 100-1000 ppm hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) gas in biogas. One of the biggest disadvantages in biogas production technologies is the cost of purification technologies that convert biogas to biomethane. In this study, a portable, intermittent anaerobic bioreactor and a 20 liter gasometer were designed. The purpose of using gasometer is to ensure the adsorption of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> gases in the raw biogas coming out of the bioreactor, using only the production power of the biogas without requiring any external intervention. In this context, only the produced biogas amount and biogas content of the batch bioreactor with an effective volume of 5 liters were tested twice. Within the scope of this production, a sample was taken every five days from the start of gas production in the batch reactor and the removal of chemical oxygen demand was compared with the initial situation. Each production trial lasted 36 days. Then, the second stage of the study was started and the biogas outlet was directly connected to the gasometer tank. At this stage, biogas and organic waste samples were taken from the gasometer and batch reactor every five days and tested. While the H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> contents of the biogas formed as a result of the experiments without gasometer were 558 ± 55 ppm and 55.4 ± 2.9%, respectively, these values were found to be 45 ppm and 24.5%, respectively, as a result of the production with gasometer. As a result, it has been determined that an industrial-scale gasometer system adsorbs approximately 88% of H<sub>2</sub>S and 55% of CO<sub>2</sub> in biogas without requiring an extra biogas purification unit. For further studies, changing the gasometer volume and increasing the holding times of the water in the gasometer are recommended as CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S concentrations can be further reduced.

**Keywords:** Biogas, Hydrogen sulfide, Carbon dioxide, Batch bioreactor, Methane

<sup>\*b</sup> Selçuk ATASOY; selcuk.atasoy@giresun.edu.tr, Tel: (0542) 655 61 25, orcid.org/0000-0003-0712-7904

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0003-3056-5013



## 1. Giriş

### 1. Introduction

Ülkelerin sanayi ve nüfus açısından hızla büyümesi ile birlikte dünya genelinde özellikle de endüstride önemli ilerlemeler kaydeden ülkelerde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacının artması, fosil kökenli yakıtların (kömür, petrokok, linyit ve doğalgaz vb.) azalmasına yol açmaktadır (R. Atelge, 2021b). Jeotermal, rüzgâr, hidro, dalga ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık % 14'üne, sadece biyokütle ise yaklaşık % 10'una karşılık gelmektedir (Angelidaki vd., 2018).

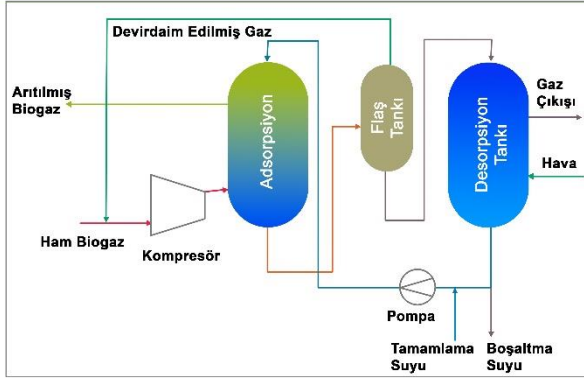
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan enerji kaynaklarından biride biyogaz enerjisidir (Şenol vd., 2021). Biyogaz organik maddelerden anaerobik sindirim (AS) yöntemi ile üretilebilmektedir. Biyogazın içeriğinde bulunan metan gazı yanıcı özelliği vermektedir. Yüksek performanslı ve düşük maliyetli enerji elde edilmesi gibi avantajlarından dolayı AS, son yıllarda oldukça tercih edilen bir prosestir (Şenol, 2019). AS yöntemi, yaygın olarak kullanılan diğer arıtım teknikleri ile karşılaştırıldığında daha az enerji ve besin kaynağı gerektirmektedir (R. Atelge, 2021a). Ayrıca, düşük işletme maliyeti ile birlikte, ısı ve elektrik enerjisinde kullanılacak uygun formda metan gazı elde etme imkânı, AS yöntemi ile sağlanmaktadır (Miltner vd., 2017).

Biyogaz içeriğindeki CH<sub>4</sub> ve karbondioksit CO<sub>2</sub> oranı, kısmen substratın organik içeriğine ve pH'ına bağlı olarak çoğunlukla sırasıyla %50-70 ve %30-50 aralığındadır (Angelidaki vd., 2018). CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> gazlarının yanı sıra reaktörlerde üretim başlangıcında kafa boşluğunun hacmine bağlı olarak %0-3 konsantrasyon aralığında N<sub>2</sub> gazı içerebilir (Şenol vd., 2021). En önemli minör bileşenler karbon monoksit (CO), oksijen (O<sub>2</sub>), hidrojen sülfür, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve amonyaktır (NH<sub>3</sub>) (Şenol, 2019). Reaktörlerdeki substrat kaynağına bağlı olarak biyogaz, siloksanlar (0 - 41 mg Si.m<sup>-3</sup>), uçucu hidrokarbonlar (alkoller, yağ asitleri, terpenler) veya florlu hidrokarbonlar, klorlu, ağır metal buharları ve aromalar gibi başka kirleticiler içerebilir (Miltner vd., 2017). Biyogazın içeriğinde bulunan CH<sub>4</sub> gazı dışındaki tüm gazlar istenmeyen gazlardır ve biyogaz kirleticileri olarak bilinirler. Biyogaz saflaştırma işlemi için ilk adım biyogaz temizliği ve ikinci adım biyogaz yükseltmesidir. Biyogaz temizliği, H<sub>2</sub>S, Si, CO, siloksanlar, uçucu organik bileşikler ve NH<sub>3</sub> gibi zararlı veya toksik bileşenlerin uzaklaştırılmasıdır (Angelidaki vd., 2018). İkinci adım olan biyogaz yükseltme, biyogazın kalorifik değerini artırmayı

ve onu bir yakıt standardına dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca biyogaz yükseltme, CO<sub>2</sub> gazının ayrılmasını, nem içeriğini gidermek için gazın kurutulmasını, diğer küçük bileşenlerin çıkarılmasını ve sıkıştırılmasını içeren çok aşamalı bir gaz ayırma işlemidir (Miltner vd., 2017). Biyogazın farklı uygulama alanlarında kullanılabilmesi için metan içeriğinin en az %90 (v/v) olması gerekir (Şenol, 2021). Yükseltmiş biyogazın %95 (v/v) metan içeriğine sahip olması durumunda biyometan olarak adlandırılır (Niesner vd., 2013).

Biyogazdaki yanmaz kısmın büyük bir kısmı CO<sub>2</sub> gazıdır ve bu da biyogazın birim hacmi başına kalorifik değeri düşürür. Bu durum, doğrudan yakma teknolojisinin gerekli olduğu pişirme ve aydınlatma gibi biyogaz kullanımlarını sınırlar. Ayrıca CO<sub>2</sub>, biyogaz depolama alanının fazladan yer işgal etmesi ve biyogazın sıkıştırılmasında fazladan enerji kullanılması gibi dezavantajlar yaratmaktadır. Biyogazın CO<sub>2</sub> ile sıkıştırılması sonucu kuru buz oluşur ve bu da valflerde veya ölçüm noktalarında topaklanma ve donma sorunları yaratır. Bu gibi nedenlerle biyogaz içerisindeki CO<sub>2</sub>'nin uzaklaştırılması daha geniş alanlarda kullanılması açısından önem kazanmaktadır (Şenol, 2021). CO<sub>2</sub>'yi biyogazdan ayırmak için çeşitli ticari teknolojiler mevcuttur. CO<sub>2</sub>'nin sudaki çözünürlüğü CH<sub>4</sub> gazından daha yüksek olması, sudaki çözünürlük farkından yararlanarak birbirlerinden ayrılmasını sağlar (Bauer vd., 2013). 25°C' de CO<sub>2</sub>'nin sudaki çözünürlüğü CH<sub>4</sub>'ün suda çözünürlüğünden 26 kat daha fazladır. Bu şekilde ayırma işlemi sonucunda %95-99 (v/v) CH<sub>4</sub> içeren biyometan elde edilebilir (Şenol, 2020). Biyogaz temizliğinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri su ile temizlemedir (Angelidaki vd., 2018). Şekil 1, devridaim yapan bir su yıkayıcısının proses akış diyagramının şemasını göstermektedir. Adsorpsiyon kolonuna alttan (6-10 bar) basınç uygulanarak biyogaz gönderilir ve aynı anda kolonun tepesinden su verilir. Kullanılan adsorpsiyon kolonu, daha etkin çalışabilmesi için rastgele ambalaj malzemesi ile doldurulur (Şenol, 2020). Doymuş su, metan kaybını en aza indirmek için basıncın yaklaşık üç bara düşürüldüğü flaş tankına aktarılır. Su, flaş tankını terk eder ve desorpsiyon kolonuna gider. Kısmi basıncını azaltarak CO<sub>2</sub> desorpsiyonunun itici gücünü arttırdığı için desorpsiyon tankına hava alınır. 1.000 Nm<sup>3</sup>/saatlik bir ham biyogaz su yıkayıcı yükseltme sisteminin, 20 °C' de sekiz bar basınçta 200 m<sup>3</sup>/saat suyu sirküle etmesi gerekir (Bauer vd., 2013). Su yıkayıcının yararı, H<sub>2</sub>S' nin sudaki çözünürlüğü CO<sub>2</sub>'den daha yüksek olduğu için CO<sub>2</sub>'nin uzaklaştırılmasıyla H<sub>2</sub>S' nin ortadan

kaldırılabilirliği (Atelge vd., 2021).  $H_2S$  aynı anda  $CO_2$  ile giderilirse su kalitesi hızla düşebilir, bu nedenle tatlı su kullanılması tavsiye edilir. Kullanılan yükseltme sisteminin ekonomik olması, veriminin yüksek olması, ek kimyasal gerektirmemesi ve %97 'nin üzerinde yüksek metan geri kazanımı elde etmesi gibi avantajları vardır (Khan vd., 2017).



**Şekil 1.** Devirdaim yapan bir su yıkayıcının şematik akış şeması

**Figure 1.** Schematic flow chart of a circulating water washer

Biyogazdan  $CO_2$  ve  $CH_4$  ün ayrılmasında sudan daha etkili bir yıkama sıvısı seçerek adsorpsiyonun daha da iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu bağlamda en çok kullanılan kimyasallar dietanolamin, metildietanolamin, monoetanolamin ve diglikolamin gibi aminlerin sulu çözeltileridir (Şenol, 2020). Bu tür biyogaz artırma yöntemlerine amin temizleme adı da verilir. Amin yıkama yönteminde ham biyogaz, emme tankına alttan girerken aminde çözücü tankın üstünden girer. Karşı akım akışı sırasında  $CO_2$ , amin çözücü ile reaksiyona girer. Reaksiyon sırasında, ekzotermik reaksiyon nedeniyle sıcaklık  $20-40^\circ C$ ' den  $45-65^\circ C$ ' ye yükselir (Privalova vd., 2013). Genel olarak, sıcaklıktaki bu artış malzemelerin çözünürlüğünü azaltır, ancak sıcaklık arttıkça  $CO_2$ ' nin amin çözücü içindeki çözünürlüğü artar (Khan vd., 2017). Reaksiyondan sonra sıvı, sıcaklığını arttırmak için ısı eşanjörüne gider ve  $120-150^\circ C$ ' de kaynatılır. Bu, amin çözücünün rejenerasyon aşamasıdır, çünkü amin çözeltilerinden  $CO_2$  salınır.  $CO_2$  ile reaksiyonun duyarlılığı nedeniyle  $CH_4$  geri kazanımı %99' dan fazladır, ancak amin içinde çözünme nedeniyle metan kaybı %4' e kadar çıkabilir (Lasocki vd., 2015). Sistem yüksek hassasiyete ve düşük işletme maliyetlerine sahipken, yüksek ilk yatırım ve aminin rejenerasyonu için önemli enerji talebi dezavantajlarından bazılarıdır (Khan vd., 2017). Bu kimyasalların sıvı fazda çözücü olarak

kullanılması ile son derece düşük bir  $CH_4$  adsorpsiyonu sağlanmakta ve yaklaşık %99,95 oranında  $CH_4$  geri kazanımı sağlanmaktadır (Miltner vd., 2017). Ayrıca diğer tüm biyogaz iyileştirme teknolojilerine kıyasla bu kimyasallarla adsorpsiyon işlemlerinde daha düşük bir çalışma basıncına ihtiyaç duyulması bu teknolojileri avantajlı kılmaktadır. Birçok amin yıkama tesisinde kompresör yerine sadece bir üfleme kullanılır ve bu da elektrik enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde azaltır. Bununla birlikte, amin temizlemenin bir dezavantajı, amin çözeltilerinin olası oksidatif veya termal bozunmasıdır. Bu, tehlikeli bozunma ürünlerinin kimyasal tüketimini, korozyon potansiyelini ve emisyon potansiyelini artırır (Voice vd., 2013).

Bahsedilen  $H_2S$  ve  $CO_2$  temizleme yöntemleri olarak su ile yıkama ve kimyasal amin yıkama teknolojileri mevcut literatürde oldukça kullanılmıştır (Alonso-Vicario vd., 2010; Angelidaki vd., 2018; Awe vd., 2017; Voice vd., 2013). Ancak, su ile yıkama teknolojilerinde yüksek başlangıç yatırımı ve su rejenerasyonu sırasında yüksek enerji talebi, sistemin başlıca dezavantajlarıdır. Amin temizleme ise amin çözeltilerinin olası oksidatif veya termal bozunmasının olabirliği ve böylece tehlikeli bozunma ürünlerinin kimyasal tüketimini, korozyon ve emisyon potansiyelini artırması bir dezavantajdır (Voice vd., 2013). Bu nedenle bu çalışma yüksek su maliyetini gidermek ve kimyasal kullanımını sonlandırmak amacıyla kendi kendini temizleyebilen bir reaktör sisteminin tasarımını amaçlamıştır. Reaktör tasarımı ile ilgili ayrıntılı bilgi 'materyal ve metot kısmında verilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Material and method

Anaerobik biyoreaktör tasarımına ve üretim denemelerine ait yöntemler aşağıda verilmiştir.

#### 2.1. Substratın hazırlanması

##### 2.1.1. Preparation of the substrate

Çalışmada kullanılan organik madde taze sığır gübresi olarak belirlenmiştir. Taze sığır gübresi Giresun ilinin Boztekke köyünden toplanmıştır. Sığır gübresi bütün anaerobik sindirim deneyleri için taze olarak toplanmıştır.

#### 2.2. Ham maddelere yapılan analizler

##### 2.2.1. Analysis of raw materials

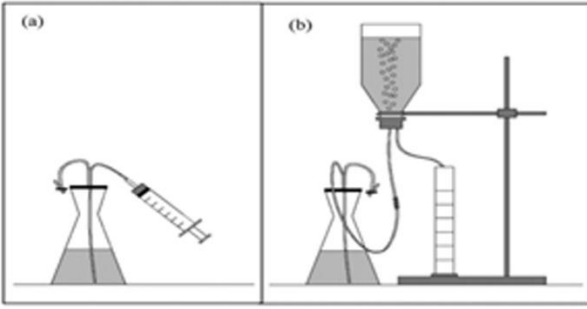
Organik atıklar toplandıktan sonra her bir numuneye nem, kuru madde, organik madde, % C,

% N, kül, selüloz, hemiselüloz ve lignin analizleri yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) kapalı geri akış titrimetrik yöntemle göre analiz edilmiştir (Şenol, 2021).

### 2.3. Kuru madde optimizasyonu ve anaerobik sindirim işlemi

#### 2.3. Dry matter optimization and anaerobic digestion process

Bu aşamada her bir numuneye ayrı ayrı kuru madde optimizasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılacak olan deneyler 500 ml' lik erlenlerde gerçekleştirilmiştir. Dış ortam ısıtma sıcaklığı 40 °C alınmıştır. Sığır gübresi için; toplamda her biri 2 tekerrürlü olmak üzere toplam kuru madde oranı kütleli olarak %1 - %3 - %5 - %7 - %9 - %11 - %13 olacak şekilde 500 ml' lik 8 adet erlenlerde biyogaz oluşumu için kurulum yapılmıştır. Isıtma işlemi çalkalamalı su banyoları kullanılmıştır. AS deneyleri görsel olarak aşağıdaki Şekil 2' de gösterilmiştir (Şenol, 2019).



**Şekil 2.** Anaerobik sindirim için ön deneme sistemi (a: AS deneyleri için ilk kurulum aşaması b: AS sürecindeki biyogaz ölçüm aşaması)

**Figure 2.** Pre-trial system for anaerobic digestion (a: Initial setup phase for AS experiments b: biogas measurement phase in the AS process)

Erlenlerin çıkış borusuna göre silikon hortum ve bu hortumun ucuna da 0.5 litrelik gaz toplama şişesi eklenerek ve ardından nuçe erlenleri alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Nuçe erlenleri bütün deneylerde %80' i (yani 400 ml) substrat ve su karışımıyla doldurulmuş ve %20' si boş bırakılmıştır (Şenol vd., 2020). Sistemde olası bir gaz kaçağının olmaması için hortumlarının giriş ve çıkışı bantlanmıştır. AS düzeneği bu şekilde kurulduktan sonra kuru madde optimizasyon denemeleri yapılmıştır. Şekil 2' nin (b) kısmında gösterilen gaz toplama şişesi gaz hacmini belirtmesi açısından ölçeklendirilmiştir. AS işlemi için her bir reaktörün pH ölçümü yapılacak ve ardından eğer pH biyogaz oluşumunda metan bakterilerinin üremesi için gerekli şartlar olan 6.6 – 7.6 değerinde değilse pH bu değerine göre hazırlanan 5 M NaOH ve 5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri ile

ayarlanmıştır. Biyogaz üretimi için optimum karıştırma oranları 4 saatte birdir (Şenol vd., 2020). Bu deneylerde su banyosu 4 saatte bir olmak üzere gaz oluşumu durana kadar sürdürülmüştür. AS süresi ise yine gaz toplama şişesinde biriken gaz oluşumu durana kadar devam etmiştir. Anaerobik sistem kurulumu yapılırken gaz kaçağının oluşmasına karşı önlem alınmış ve bağlantı noktaları sıklıkla kontrol edilmiştir. Benzer şekilde gaz toplama şişesinin içerisinde bulunan su miktarının tamamen bitmesi ve gaz oluşmaya devam etmesi durumunda (a) konumuna getirilerek gaz toplama şişesi su ile doldurulup sistem tekrardan (b) konumuna getirilmiştir. Sonuç olarak her bir kuru maddenin gaz oluşum hızı ml biyogaz/g uçucu katı olarak belirlenmiş ve zaman-biyogaz üretimi grafiği oluşturulmuştur. Gaz ölçümleri yapılmadan önce biyogaz içerisinde bulunan gazların suda çözünürlüğü dikkate alınmıştır. Metanojen bakteriler ışığa duyarlıdır (Miltner vd., 2017). Bu sebeple biyogaz üretim aşamasında reaktörlerin her biri alüminyum folyo ile sarılarak reaktörlerin ışık geçirgenliği yok edilmiştir. Deneylerin bu aşamasından sağlanan en uygun kuru madde oranı belirlenmiştir. En fazla verim veren kuru madde oranı büyük hacimli deneylere bu belirlenen kuru madde oranıyla devam edilmiştir. Kuru madde optimizasyonunun küçük hacimlerde denenip büyük hacimlerde uygulanmasının nedeni: fazla su miktarından kaçınmak ya da fazla organik madde miktarından kaçınmaktır. Literatürde genellikle kuru madde oranları %10 alınmaktadır (Şenol vd., 2020; Şenol vd., 2021). Fakat her organik atığın kuru madde optimizasyonunun yapılması bazı su sıkıntısı bulunan bölgeler açısından önemli olmaktadır.

### 2.4. Elementel analiz

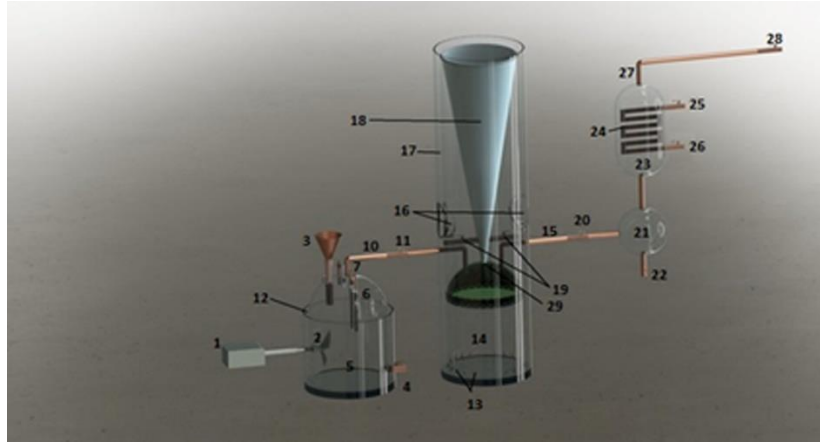
#### 2.4. Elemental analysis

Organik numuneye C ve N değerlerini kütlece % bileşenlerini belirlemek amacıyla elementel analiz yapılmıştır. Elementel analiz Giresun Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Costech ECS 4010 Elementel Analiz Cihazı ile yapılmıştır.

### 2.5. Biyoreaktör ve kendi kendini arıtılabilir yeteneğine sahip gazometre tasarımı

#### 2.5. Gasometer design with bioreactor and self-purification capability

Şekil 3'te biyogaz reaktörün bütün malzemeleri cam malzemeden tasarlanmıştır. Bu reaktör kesikli olarak çalıştırılmıştır.



**Şekil 3.** Biyogaz sisteminin her bir parçasının numaralandırılma görünümü  
**Figure 3.** View of the numbering of each part of the biogas system

1- Motor	9- Higrometre	17- Gazometre suyunu yukarı taşıma yeri	25- Soğuk su girişi
2- Karıştırıcı çarkı (2 kanatlı/pervaneli)	10- Biyoreaktörden biyogaz çıkış borusu	18- Koni şeklindeki atmosfere açık tank	26- Soğuk su çıkışı
3- Besleme tankı	11- Biyoreaktör boru vanası	19- Koni tankının boşaltma vanaları	27- Nemden arıtılmış biyogaz çıkışı
4- Biyoreaktör boşaltma tankı	12- Yağ banyolu ısıtıcı ceketi	20- Arıtılmış biyogaz vanası	28- Arıtılmış biyoreaktör çıkışı
5- Biyoreaktör	13- Gazometre suyunun çıkış delikleri	21- Yoğuşan su tankı	29- Nozul
6- PH metre	14- Gazometre	22- Yoğuşan suyu çıkarmak için kullanılan vana	
7- Barometre	15- Gazometreden çıkan arıtılmış biyogaz	23- Isı değiştirici tankı	
8- Termometre	16- Vanaya uzanmak için açılmış delikler	24- Soğuk su ceketi	

Bu reaktörün tasarımı diğer geleneksel reaktörlerden farklı ve yenilikçi bir reaktör sistemidir. Tasarımındaki amaç oluşan biyogazın içerisindeki  $CO_2$ ' yi ve  $H_2S$ ' yi olabildiğince uzaklaştırmaktır. Bu reaktör mezofilik ve termofilik şartlarda çalışmaya uygundur.

## 2.6. Biyoreaktör sisteminin çalışma yöntemi

### 2.6. Working method of bioreactor system

Biyoreaktörden çıkan gaz 14 numaralı tanka gelmektedir. Bu biyogazı taşıyan 10 numaralı borunun ucu 14 numaralı tanka aktarmaktadır. Bu nedenle oluşan biyogaz doğrudan içi su dolu olan 14 numaralı gazometreye geçmektedir ve tankın üst kısmında sıkışmaktadır. Suyun içindeki karbondioksit çözünürlüğü  $85.1 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2/1000 \text{ cm}^3$  sudur. Aynı şekilde  $H_2S$ ' nin suda çözünürlüğü;  $H_2S \text{ } 25.0 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{S}/1000 \text{ cm}^3$  sudur (Niesner vd., 2013). Bu şekilde 14 numaralı tankın içinde  $CO_2$ ' ce doymuş su bulunmaktadır. Karbondioksit su ile

zayıf asit bağları kurar ve çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçmektedir (Yamamoto vd., 2004). Biyogaz oluşumu devam ettikçe 14 numaralı tankın üst kısmında sıkışan biyogaz miktarı artmıştır. Bu nedenle gazın hacmi arttıkça 14 numaralı tanktaki su 13 numaralı deliklerden çıkış yapıp 17 numaralı boşluklardan geçerek, 18 numaralı koni şeklindeki tankta birikmektedir. Aynı şekilde biyogaz oluştuğunda koni şeklindeki tankın en yukarisından aşağıya doğru yavaş yavaş gazometrede su akışı sağlanmaktadır. Bu nedenle yukarıdan aşağıya akan suyun yüzey alanı hava ile temas edecektir. Hava ile temas eden su yüzeyi artırıldıkça suyun içindeki karbondioksitin havaya geçişi de artmıştır. Bu prensiple çalışan gazometrenin koni hacmi biyoreaktör hacmi ile eşit olup 10 litredir. Koninin yüzey alanı atmosfere açıktır. Bu şekilde suyun içerisinde karbondioksit havanın içerisindeki karbondioksitten fazla olduğu için suyun içerisindeki karbondioksit sürekli olarak havaya geçmiştir. Aynı şekilde koni şeklindeki tanka dolan

suyun yüzey alanı koninin şeklinden dolayı su doldukça su yüzey alanı genişler. Bu genişleme sayesinde de biyogaz oluştuğunda atmosfere daha fazla karbondioksitin geçişi sağlanmaktadır. 16 numaralı delikler tankın 19 numaralı vanalarına ulaşmak için yapılmıştır. Bundan sonra koni şeklindeki tank dolduğu zaman ise 16 numaralı deliklerden uzanarak 19 numaralı vanalar açılarak ve su tekrar 14 numaralı tankın içine dökülmektedir. Fakat burada 29 numaralı kısma bir vana ve bu vananın ucuna da bir nozul yerleştirilmiştir. Bu nozul sayesinde biyogazın üzerine, tanktaki karbondioksitten arıtılmış olan su oluşturulan biyogaz basıncı ile püskürtülmektedir. Bu sayede biyogazın artırılması daha da artırılabilecektir. Biyogaz basıncı gaz depolama tankındaki su seviyesi arasındaki fark ile oluşan hidrolik basınca dayanmaktadır. Bu nedenle biyogaz depolanırken gaz ile suyun yer değiştirmesi prensibi temeline dayandırılmıştır. 18 numaralı tankın içindeki su boşalırken basınç farkından dolayı biyogaz gazometreden 15 numaralı boruya ve buradan da ısı değiştiriciye geçecektir. Suyun daha çok nozuldan akmasını sağlamak amacıyla 19 numaralı vanalar kısık şekilde çalıştırılmıştır. Kısık şekilde açılmasının sebebi basınç dengeliği oluşturularak suyun nozula verilmesini sağlamak ve kısık vanalardan akan su sayesinde biyogazı alttan sıkıştırmaktır. Nozul sayesinde tanktaki su biyogazın üzerine püskürtülmüştür. Oluşan basınç farkı nedeniyle biyogaz 15 numaralı borudan geçiş yapmıştır. Yüzey alanı giderek artan bir koninin içerisindeki su tankının da yüzey alanı sürekli artmıştır ve bu sayede suyun içinde bulunan çözünmüş karbondioksitin havaya geçişi daha fazla olmuştur. Aynı şekilde gaz üretimi devam ettikçe su yukarıdan tankın en üst kısmından aşağıya doğru akmaktadır. Akışkan su en üst düzeyden en alt düzeye akarken hava ile teması daha fazla olacaktır. Bu şekilde havada daha az yoğun miktarda bulunan karbondioksit su ile fazlaca temas ederek suyun içindeki karbondioksiti havaya aktarmaktadır. Bu çalışma prensibi biyogazın üzerine su püskürterek karbondioksit adsorplama işlemi ile aynıdır. Bu şekilde çalışabilen bir gazometre sisteminin içinde bulunan su miktarı karbondioksitten arındırıldığı için tekrar tekrar kullanılabilir. Bu sistem özellikle kırsal kesimde su israfından kaçınmak için kullanılması çok uygundur. Aksi takdirde suyun tamamının boşaltılarak yeni su eklenmesi gerekmektedir. Bu da su israfına sebep olmaktadır. En son 27 numaralı borudan geçen biyogaz gaz toplama torbalarına alınmış olup biyogaz ölçüm cihazında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda % metan, % karbondioksit, % hidrojen sülfür, % azot, % karbon

monoksit ve % su buharı değerleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

## 2.7. Reaktörün boyutları

### 2.7. Dimensions of the reactor

Sistemdeki bütün boru çapları 5 cm iç çapında oluşturulmuştur. Dış çapı ise 6 cm olarak belirlenmiş olup mekanik etkilere dayanıklı cam malzemeden tasarlanmıştır. Biyoreaktör (5 numaralı tank) 11.6 cm yarıçapında ve 46.6 cm yüksekliğindedir. Biyoreaktörün yüksekliği yaklaşık olarak çapına eşittir. 5.14 ve 18 numaralı tankların yarıçapları eşittir. Aynı şekilde 14 ve 18 numaralı tankın hacimleri birbirine eşit olup yarıçapları yaklaşık olarak 11.6 cm dir. 23 numaralı ısıtıcı hacmi 5 litredir. 10 ve 15 numaralı boruların uzunluğu 30 cm dir. 21 numaralı kürenin iç hacmi ise 2 litredir. 23 numaralı tank ile 21 numaralı tank arasındaki mesafe 2 cm dir. Bu sayede yoğunlaşan buhar kolayca sıvı olarak alt kısma geçebilecektir.

## 2.8. Fermantasyonun sonlandırılması

### 2.8. Ending the fermentation

Biyogaz oluşum sürecinin sona ermesi, gaz ölçüm sistemindeki toplanan gazın miktarının üst üste üç gün boyunca aynı hacimde kaldığı noktada (ortalama 36 gün) AS işlemi sonlandırıldı ve ölçülen gaz hacmi kaydedildi. Bütün küçük ve büyük hacimli denemeler için bu işlemler biyogaz üretiminin ayrıntılı, spesifik ve karşılaştırılmalı olarak yorumlandı. Fermantasyonun sonlanmasında yine kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini yapıldı ve başlangıçtaki KOİ tayinine göre sonlandırılması gerekip gerekmediği yorumlandı (Bauer vd., 2013).

## 2.9. Gaz miktarının % hacimsel olarak belirlenmesi

### 2.9. Determination of gas amount by volume %

Yapılan bütün deneyler sonucunda oluşan gaz miktarının içeriği % hacimsel olarak belirlendi. Bu belirleme işlemi projenin yürütüleceği kurumda bulunan 'IRCD4 Multi-Gas Detecting Alarm Manual Instruction' (biyogaz ölçüm cihazı) ile belirlenmiştir. % Hacimsel olarak belirlenen gazlar; CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S (ppm biriminde) dir. Yapılan ölçümler kaydedildi ve metan miktarına göre gaz oluşum hızı hesaplanmıştır. Ayrıca oluşan gaz bileşenlerinin ve hangi organik atıktan hangi farklı bileşenlerden oluştuğu deneysel olarak incelenerek yorumlanmıştır.

## 2.10. SEM analizleri

### 2.10. SEM analizleri

Organik numuneye ön işlem teknolojileri uygulandıktan sonra hammaddenin kristalitesindeki yapıyı yorumlamak için SEM analizleri yapılmıştır. Bu analizler Hitachi marka, Su 1510 model bir taramalı elektron mikroskopu kullanarak yapılmıştır. Organik numunelerin SEM görüntüleri incelenmeden önce daha iyi iletkenlik sağlayabilmesi için altın nanopartiküller ile kaplanmıştır. Altın kaplama cihazı 30 mA ve 0.1

mbar değerinde olup 120 saniyede kaplama işlemi tamamlanmıştır.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

Tablo 1' de sığır gübresine AS' ye başlanmadan önce toplam katı (TK), uçucu katı (UK), kül, C, N, KOİ ve pH analizleri yapılmıştır. Atığın biyogaz verimi kuru madde ve organik madde oranları dikkate alınarak yapılmıştır ve sonuç olarak biyogaz verimi ml/g uçucu katı olarak verilmiştir.

**Tablo 1.** Sığır gübresinin fizikokimyasal özellikleri  
**Table 1.** Physicochemical properties of cattle manure

Parametre	Sığır gübresi
Organik madde (% KM)	74.98
Kuru madde (kütlece %)	15.89
Kül (kütlece %)	3.14
% C (kütlece %)	31.09
% N (kütlece %)	1.54
KOİ (mg O <sub>2</sub> /Lsulu karışım)	19.955
pH	6.25
C/N	20.18

C/N oranı anaerobik sindirim için en uygun 20-30 arasında olmalıdır (Koçar vd., 2010). Bu çalışmadaki organik maddenin C/N oranı bu aralıkta olup değeri 20.18 değerindedir. Bu aralık AS yöntemi ile biyogaz üretimi için uygun bir aralık olduğundan ikinci bileşen olarak herhangi bir dengeleyici kullanılmamıştır. Sığır gübresinin organik madde içeriği kuru maddenin %80.5 m/m değerinde analiz edilmiştir. Biyogaz ve metan verimi hesaplamaları bu organik madde üzerinden yapılmıştır. Sığır gübresinin %10 katı madde oranının KOİ değeri 19.998 mg O<sub>2</sub>/L sulu karışım olarak belirlenmiştir. KOİ değerinin 10.000 mg/L değerinden yüksek olması, anaerobik mikroorganizmalar için yeterli miktarda organik maddenin bulunduğu göstergesidir (Şenol vd., 2020; Şenol vd., 2021).

### 3.1. Kuru madde optimizasyon sonuçları

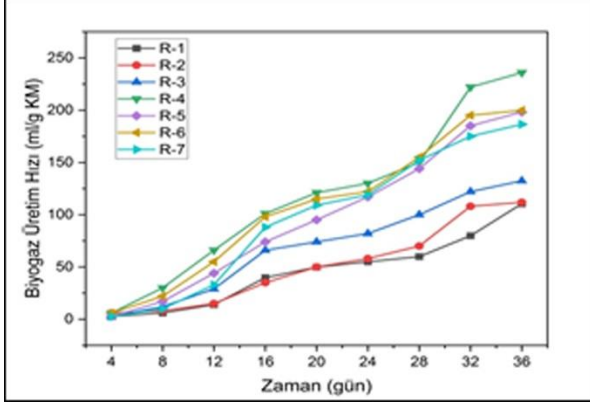
#### 3.1. Dry matter optimization results

Sığır gübresinin biyogaz potansiyelini belirlemek için bazı laboratuvar analizleri yapılmıştır. Anaerobik çalışmalara anaerobik proseslerde organik maddelerden mümkün olabilecek en yüksek verimi alabilmek için çeşitli kütlece karışım oranları hazırlanarak optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Tablo 2' de farklı kuru maddelere göre hazırlanan reaktör R1' den R8' e kadar isimlendirilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde biyogaz üretim hızı ve KOİ giderim verimi en yüksek R4' te meydana gelmiştir. Bu nedenle tasarlanan reaktördeki üretim denemeleri için kuru madde oranı R4 ile aynı olarak %7 seçilmiştir.

**Tablo 2.** Optimum karışım oranı çalışmaları sonucunda biyogaz üretim hızları  
**Table 2.** Biogas production rates as a result of optimum mixing ratio studies

Reaktör adı	Kuru Madde Oranı	Biyogaz üretim hızı (ml/g KM)	Toplam KOİ giderimi (%)
R1	%1	110.5	29.5
R2	%3	111.8	35.8
R3	%5	132.4	39.8
<b>R4</b>	<b>%7</b>	<b>235.9</b>	<b>67.5</b>
R5	%9	198.2	51.9
R6	%11	199.8	38.8
R7	%13	186.5	30.5

Şekil 4 optimizasyon çalışmalarında belirtilen 7 adet reaktörün her 4 günde bir ölçülen kümülatif biyogaz verimlerini göstermektedir. Bu bağlamda sığır gübresinin en yüksek verimi 235.9 ml/g KM değerinde olup büyük hacimli tasarlanan reaktörde %7 kuru madde oranı kullanılmıştır. Süreç 36 günde tamamlanmıştır. Grafik incelendiğinde bütün reaktörler anaerobik süreç boyunca artan şekilde biyogaz üretimi gerçekleştirmiştir.



**Şekil 4.** Optimizasyon çalışmaları için reaktörlerin kümülatif biyogaz verimleri

**Figure 4.** Cumulative biogas yields of reactors for optimization studies

Tablo 3' te mevcut literatürde biyogaz reaktörlerindeki sığır gübresinin biyogaz verimleri gösterilmektedir.

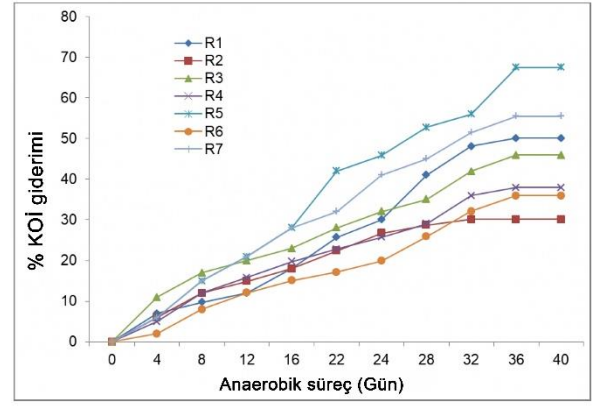
**Tablo 3.** Optimum üretim denemeleri sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

**Table 3.** Comparison of the results of optimum production trials with the literature

Biyogaz üretim hızı (ml/g KM)	Referans
223.97	(Şenol vd., 2021)
212.0	(Selvaggi vd., 2018)
200.0	(Scarlat vd., 2018)
235.9	Bu çalışma

Önceki çalışmalar incelendiğinde biyogaz üretim denemelerinde elde edilen bulguların literatür ile uyumlu olduğunu anlaşılmaktadır.

Şekil 5' de optimizasyon çalışmalarındaki 7 adet reaktörün KOİ giderim süreci verilmiştir. % KOİ giderimi genellikle artan şekilde devam etmiştir. En yüksek % KOİ giderimi R5' te %67.5, en düşük % KOİ giderimi R2' de %29.5 oranında meydana gelmiştir.



**Şekil 5.** Optimizasyon çalışmalarındaki 7 adet reaktörün KOİ giderim süreci

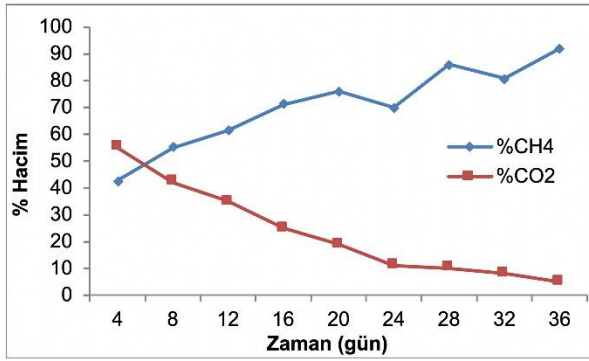
**Figure 5.** COD removal process of 7 reactors in optimization studies

### 3.2. Tam ölçekli reaktörde biyogaz üretim sonuçları

#### 3.2. Biogas production results in full-scale reactor

Gübrede biyogaz üretim verimlerini etkileyen en önemli parametrelerden biri kuru madde oranıdır (Şenol vd., 2020). Önceden yapılan küçük hacimli üretim denemeleri sonucunda en iyi kuru madde oranı %7 olarak belirlenmişti. Bu nedenle tam ölçekli gazometre sistemli reaktörün tüm üretim denemeleri %7 kuru madde oranı dikkate alınmıştır

Tam ölçekli reaktörde (gazometresiz sistem) %7 kuru madde oranına göre 36 gün sabit değer alınarak yapılan üç tekrarlı denemelerin sonucunda ortalama biyogaz üretim hızı 240.0 ml/g KM değerinde meydana gelmiştir. Bu değerler küçük hacimdeki elde edilen en yüksek biyogaz üretim verimine (235 ml/g KM) nispeten yakındır. Tam ölçekli reaktörde biyogaz verim analizine ek olarak % CH<sub>4</sub> ve %CO<sub>2</sub> analizleri her 4 günde bir yapılmış olup sonuçlar Şekil 6' de gösterilmiştir. Gazometresiz üretim sonucunda toplanan biyogazın içerisindeki CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> içerikleri sırasıyla %55.4 ve %42.9 değerinde analiz edilmiştir.



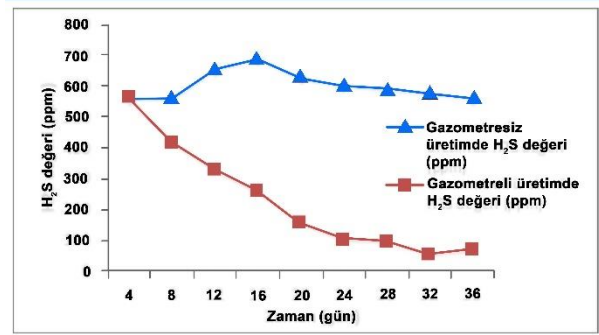
**Şekil 6.** Tam ölçekli reaktörün % CO<sub>2</sub> ve % CH<sub>4</sub> üretim verimleri

**Figure 6.** % CO<sub>2</sub> and % CH<sub>4</sub> production efficiencies of the full-scale reactor

Şekil 6' de görüldüğü gibi % CO<sub>2</sub> oranı 4. gün %88 değerinde başlamış olup 36. gün %12.5 değerine düşmüştür. Fakat % CH<sub>4</sub> oranı 4. gün %1.9 değerinde başlamış olup 36. gün %85.9 değerine çıkmıştır. Bu değer bize gazometrede bulunan suyun CO<sub>2</sub>' yi kolaylıkla adsorpladığını göstermektedir.

İnorganik sülfür ve sülfat, fermentasyon sırasında H<sub>2</sub>S'ye dönüşür. Sülfat indirgeyen bakteriler, asetik ve propiyonik asitten H<sub>2</sub>S üretirler (Makaruk vd., 2010). H<sub>2</sub>S'in kaynağı besleme materyalinde bulunan proteinler ve sülfürlü bileşenlerdir (Şenol vd., 2020). Çok miktarda nitrat ve sülfat içeren atık maddeler anaerobik fermentasyon sırasında, metan evresinden önce azot ve H<sub>2</sub>S üretirler (Persson vd., 2006). Besleme materyalinin içerdiği sülfat miktarına bağlı olarak biyogaz içerisinde 1500 – 5000 ppm yani %0.15 – 0.5 veya 2.1 – 7 g H<sub>2</sub>S/m<sup>3</sup> bulunabilmektedir. H<sub>2</sub>S fermente malzemede çözülmüş halde ve gaz halinde bulunur ve yüksek konsantrasyonlarda sistemin inhibe olmasına neden olur (Favre vd., 2009). Bu yüzden H<sub>2</sub>S miktarı fazla olduğunda ayrı bir kimyasal reaktörde H<sub>2</sub>S giderimi daha uygun olmaktadır (Baena-Moreno, Rodríguez-Galán, Vega, Vilches, & Navarrete, 2019; Chen, Vinh-Thang, Ramirez, Rodrigue, & Kaliaguine, 2015; Collet et al., 2017; Hosseinipour & Mehrpooya, 2019; Koçar, Eryaşar, Ersöz, Arıcı, & Durmuş, 2010; Malhautier, Gracian, Roux, Fanlo, & Le Cloirec, 2003; Sahota et al., 2018). Bu çalışmada anaerobik süreçte izlenen ve analiz edilen diğer bir parametre ise H<sub>2</sub>S

konsantrasyon değeridir. Her 4 günde bir ölçülen H<sub>2</sub>S konsantrasyonu Şekil 7' de gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Tam ölçekli reaktörün H<sub>2</sub>S üretim verimleri

**Figure 7.** H<sub>2</sub>S production efficiencies of full-scale reactor

Gazometreli üretim sisteminde reaktörde başlangıçta 558 ppm H<sub>2</sub>S olduğu analiz edilmiştir. Daha sonra bu değer gazometreli üretimde azaldığı gözlemlenirken, gazometre kullanılmadan yapılan üretimde arttığı gözlemlenmiştir. Gazometreli sistemde son değer 65 ppm olurken gazometre kullanılmayan sistemde bu değer 555 ppm olmuştur. Gazometresiz sistemde H<sub>2</sub>S değerinin neredeyse hiç azalmadığı görülmektedir. Fakat gazometre kullanıldığında H<sub>2</sub>S konsantrasyonunun değeri başlangıca göre yaklaşık %88'inin adsorplandığı görülmektedir.

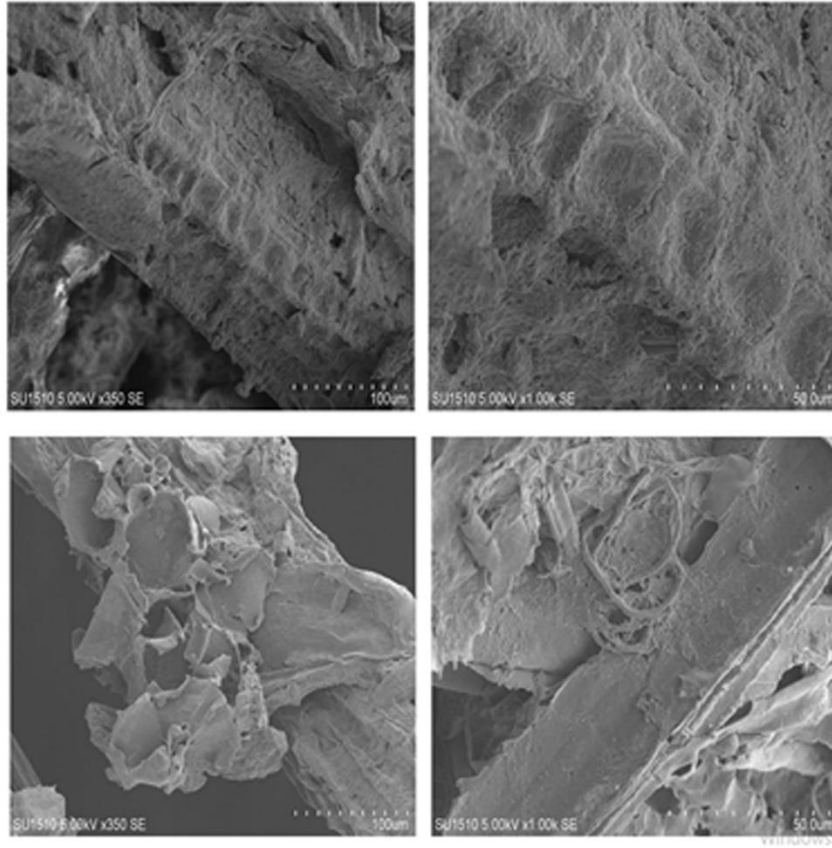
Gazometre kullanıldıktan sonra biyogazın H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> içerikleri sırasıyla 558 ± 55 ppm ve %55.4 ± 2.9 iken gazometresiz üretim sonucunda bu değerler sırasıyla 45 ppm ve %75.5 değerlerine ulaşmıştır. Sonuç olarak bu şekilde üretilen endüstriyel ölçekli bir gazometreli sistemin ekstra bir biyogaz saflaştırma ünitesi gerektirmeden biyogaz içerisindeki H<sub>2</sub>S' nin yaklaşık %88' ini ve CO<sub>2</sub>' nin %55' ini adsorpladığı tespit edilmiştir.

### 3.3. Anaerobik sindirim sonrası sonucunda sem görüntülerinin incelenmesi

3.3. Examination of sem images as a result of anaerobic digestion

Sığır gübresinin tam ölçekli reaktörden elde edilen gübrelerin SEM görüntüleri incelenmiştir.





**Şekil 8.** Gazometresiz üretimde organik maddelerin SEM görüntüleri  
**Figure 8.** SEM images of organic materials in production without gasometer

Şekil 8’ de organik numuneye ait yüzeyin 350 kat ve 1000 kat büyütülmüş halinin SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülere göre organik numunenin yüzey kristalitesinin olduğu, gözenekli bir yapı olmadığı ve yüzey görünümünün sert bir tabakadan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu görsellerde bulunan kristal yapıların sığır gübresinde bulunan diğer yabancı maddeler (sap, saman vb.) olduğu düşünülmektedir (Şenol vd., 2020).

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Anaerobik sindirim proseslerinden biyogaz üretimi, düşük enerji verimli bir proses olması ve yenilenebilir bir enerji formu olması gibi birçok olumlu faydaları nedeniyle son yirmi yılda büyük ilgi görmektedir. Biyogazın iyi optimize edilmiş bir sistemle üretilmesi tek zorluk değil, aynı zamanda fosil yakıtların yerine kullanılabilmesi ile belirli gereksinimleri karşılaması için biyogaz kalitesinin yükseltilmesi de gereklidir. Biyogaz temizleme teknolojileri şu anda yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Ancak, ekonomik ve çevresel bilgiler dahil olmak üzere ticari ölçekli uygulamalar için mevcut bilgi eksikliği

bulunmaktadır. Temizleme işlemleri, yüksek enerji kullanımı ve ek kimyasalların girişini gerektirir.

Bu çalışmada önerilen yeni bir biyogaz temizleme tekniği ile dışarıdan herhangi bir müdahale olmaksızın biyogazın üretim gücünü kullanarak gazometrenin geometrik şeklinden dolayı CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S’in giderimi başarılı bir şekilde sağlanmıştır.

Genel olarak, biyogaz kullanımı, insanlığın çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için umut verici bir yoldur ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilir. Politika yapıcılar, biyogaz üretiminin yeterince kullanılmayan önemli potansiyelini düşünmeli ve biyogaz kullanımına yönelik desteklerini artırmalıdır. Onların desteği ve araştırmacıların çabaları ile biyogaz, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına, yenilenebilir enerji üretimine ve atık bertarafının yönetimine yönelik önemli bir çözüm olabilir.

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Bu çalışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından FEN-BAP-A-150219-68 numaralı proje kapsamında mali olarak desteklenmiştir. Yazarlar Giresun Üniversitesi

BAP Birimi'ne ve Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editör ve hakemlere çalışmanın inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılarından dolayı teşekkür eder.

#### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Bu makalenin yazarları çalışmaya eşit derecede katkı sağlamışlardır.

#### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

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

#### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### **Kaynaklar**

*References*

Alonso-Vicario, A., Ochoa-Gómez, J. R., Gil-Río, S., Gómez-Jiménez-Aberasturi, O., Ramírez-López, C., Torrecilla-Soria, J., & Domínguez, A. (2010). Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 134(1-3), 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2010.05.014>

Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology advances*, 36(2), 452-466. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>

Atelge, M. R., Senol, H., Djaafri, M., Hansu, T. A., Krisa, D., Atabani, A., Eskicioglu, C., Muratcobanoglu, H., Unalan, S., Kolloum, S., Azbar, N., & Kıvrak, H. D. (2021). A Critical Overview of the state-of-the-art methods for biogas purification and utilization processes. *Sustainability*, 13(20), 11515. <https://doi.org/10.3390/su132011515>

Atelge, R. (2021a). Co-digestion of orange pulp and cattle manure with different C/N ratios and a new modeling of biogas production. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 557-569. <https://doi.org/10.31466/kfbd.937269>

Atelge, R. (2021b). Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretiminin Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 56-64. <https://doi.org/10.46460/ijiea.923792>

Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D. P., & Lyczko, N. (2017). A review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(2), 267-283. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9826-4>

Baena-Moreno, F. M., Rodríguez-Galán, M., Vega, F., Vilches, L. F., & Navarrete, B. (2019). Recent advances in biogas purifying technologies. *International Journal of Green Energy*, 16(5), 401-412. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1572610>

Bauer, F., Persson, T., Hultberg, C., & Tamm, D. (2013). Biogas upgrading—technology overview, comparison and perspectives for the future. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(5), 499-511. <https://doi.org/10.1002/bbb.1423>

Chen, X. Y., Vinh-Thang, H., Ramirez, A. A., Rodrigue, D., & Kaliaguine, S. (2015). Membrane gas separation technologies for biogas upgrading. *RSC Advances*, 5(31), 24399-24448. <https://doi.org/10.1039/C5RA00666J>

Collet, P., Flottes, E., Favre, A., Raynal, L., Pierre, H., Capela, S., & Peregrina, C. (2017). Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology. *Applied Energy*, 192, 282-295. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.181>

Favre, E., Bounaceur, R., & Roizard, D. (2009). Biogas, membranes and carbon dioxide capture. *Journal of Membrane Science*, 328(1-2), 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.12.017>

Hosseinipour, S. A., & Mehrpooya, M. (2019). Comparison of the biogas upgrading methods as a transportation fuel. *Renewable Energy*, 130, 641-655. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.089>

Khan, I. U., Othman, M. H. D., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A., Rezaei-DashtArzhandi, M., & Azelee, I. W. (2017). Biogas as a renewable energy fuel—A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150, 277-294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>

Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş., & Durmuş, A. (2010). *Biyogaz teknolojileri*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1-281.

- Lasocki, J., Kołodziejczyk, K., & Matuszewska, A. (2015). Laboratory-scale investigation of biogas treatment by removal of hydrogen sulfide and carbon dioxide. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(3), 1427-1434. <https://doi.org/10.15244/pjoes/35283>
- Makaruk, A., Miltner, M., & Harasek, M. (2010). Membrane biogas upgrading processes for the production of natural gas substitute. *Separation and Purification Technology*, 74(1), 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.05.010>
- Malhautier, L., Gracian, C., Roux, J.-C., Fanlo, J.-L., & Le Cloirec, P. (2003). Biological treatment process of air loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture. *Chemosphere*, 50(1), 145-153. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00395-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00395-8)
- Miltner, M., Makaruk, A., & Harasek, M. (2017). Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1329-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.045>
- Niesner, J., Jecha, D., & Stehlík, P. (2013). Biogas upgrading technologies: state of art review in European region. *Chemical Engineering Transactions*, 35(86), 517-522. <https://doi.org/10.3303/CET1335086>
- Özarslan, S., Abut, S., Atelge, M., Kaya, M., & Unalan, S. (2021). Modeling and simulation of co-digestion performance with artificial neural network for prediction of methane production from tea factory waste with co-substrate of spent tea waste. *Fuel*, 306, 121715.
- Persson, M., Jönsson, O., & Wellinger, A. (2006). Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. *Paper presented at the IEA Bioenergy task*.
- Privalova, E., Rasi, S., Mäki-Arvela, P., Eränen, K., Rintala, J., Murzin, D. Y., & Mikkola, J.-P. (2013). CO<sub>2</sub> capture from biogas: Absorbent selection. *RSC Advances*, 3(9), 2979-2994. <https://doi.org/10.1039/C2RA23013E>
- Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., . . . Thakur, I. S. (2018). Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 1, 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.002>
- Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J. F., Monforti, F., & Motola, V. (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 915-930. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>
- Selvaggi, R., Pappalardo, G., Chinnici, G., & Fabbri, C. I. (2018). Assessing land efficiency of biomethane industry: A case study of Sicily. *Energy Policy*, 119, 689-695. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.039>
- Şenol, H. (2019). Eysel organik atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 132-142. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.444079>
- Şenol, H. (2020). Enhancement in methane yield from anaerobic co-digestion of walnut shells and cattle manure. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(6), e13524. <https://doi.org/10.1002/ep.13524>
- Şenol, H. (2021). Effects of NaOH, thermal, and combined NaOH-thermal pretreatments on the biomethane yields from the anaerobic digestion of walnut shells. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21661-21673. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11984-6>
- Şenol, H., Açıklık, Ü., Demir, S., & Oda, V. (2020). Anaerobic digestion of cattle manure, corn silage and sugar beet pulp mixtures after thermal pretreatment and kinetic modeling study. *Fuel*, 263, 116651. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116651>
- Şenol, H., Açıklık, Ü., & Oda, V. (2021). Anaerobic digestion of sugar beet pulp after acid thermal and alkali thermal pretreatments. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(3), 895-905. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00539-6>
- Şenol, H., Dereli, M. A., & Özbilgin, F. (2021). Investigation of the distribution of bovine manure-based biomethane potential using an artificial neural network in Turkey to 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111338. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111338>
- Şenol, H., Erşan, M., & Görgün, E. (2020). Optimization of temperature and pretreatments for methane yield of hazelnut shells using the response surface methodology. *Fuel*, 271, 117585. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117585>
- Voice, A. K., Closmann, F., & Rochelle, G. T. (2013). Oxidative degradation of amines with high-temperature cycling. *Energy Procedia*, 37, 2118-2132. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.091>
- Yamamoto, T., Endo, A., Ohmori, T., & Nakaiwa, M. (2004). Porous properties of carbon gel microspheres as adsorbents for gas separation. *Carbon*, 42(8-9), 1671-1676. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2004.02.021>

## Kestane kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden boyar madde gideriminin izoterm, kinetik ve termodinamik analizi

*Isotherm, kinetics and thermodynamic analysis of dye removal from aqueous solutions using chestnut shell*

**Betül Tuba GEMİCİ<sup>\*1,a</sup>, Aybüke ÖZDEN<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın

<sup>2</sup>Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Lisans Öğrencisi (Mezun), 74100, Bartın

• Geliş tarihi / Received: 15.08.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 29.09.2022

### Öz

Bu çalışmada, kestane kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden kristal viyole boyar maddesinin giderimi incelenmiştir. Bu amaçla, başlangıç boyar madde derişimi, adsorbent dozajı, temas süresi, pH ve sıcaklık gibi parametrelerin adsorpsiyon performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, artan sıcaklık ve adsorbent dozajı ile giderim verimi artmıştır. Başlangıç boyar madde derişimi arttığında ise giderim veriminin azaldığı görülmüştür. Denge adsorpsiyon verileri kullanılarak yapılan izoterm çalışmalarında en iyi sonuç Langmuir izotermine elde edilmiş ve optimize edilmiş koşullarda maksimum boyar madde adsorpsiyon kapasitesi 48.78 mg/g olarak hesaplanmıştır. Yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modeller kullanılarak kinetik çalışmalar yapılmış ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelin en uygun model olduğu tespit edilmiştir ( $R^2 > 0.99$ ). Termodinamik parametreler ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$ ) adsorpsiyon işleminin uygulanabilir, kendiliğinden gerçekleşen ve endotermik olduğunu göstermiştir. Ayrıca adsorpsiyon öncesi ve sonrası için FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar, sulu çözeltilerden kristal viyolenin uzaklaştırılması için alternatif ve düşük maliyetli bir malzeme olarak kestane kabuğunun kullanılabilirliğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, İzoterm, Kestane kabuğu, Kinetik, Kristal viyole, Termodinamik

### Abstract

In this study, the removal of crystal violet dyes from aqueous solutions using chestnut shell was investigated. For this purpose, the effects of parameters such as initial dye concentration, adsorbent dosage, contact time, pH and temperature on adsorption performance were investigated. According to the results obtained, the removal efficiency increased with increasing temperature and adsorbent dosage. It was observed that the removal efficiency decreased when the initial dye concentration increased. In the isotherm studies using equilibrium adsorption data, the best results were obtained in the Langmuir isotherm and the maximum dye adsorption capacity under optimized conditions was calculated as 48.78 mg/g. Kinetic studies were carried out using pseudo-first and pseudo-second-order kinetic models and it was determined that the pseudo-second-order kinetic model was the most appropriate ( $R^2 > 0.99$ ). Thermodynamic parameters ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$ ) showed that the adsorption process was feasible, spontaneous and endothermic. In addition, FTIR analyzes were performed before and after adsorption. These results showed that chestnut shell can be used as an alternative and low-cost material for the removal of crystal violet from aqueous solutions.

**Keywords:** Adsorption, Isotherm, Chestnut Shell, Kinetics, Crystal Violet, Thermodynamics

\*a Betül Tuba GEMİCİ; btakcay@bartin.edu.tr, Tel: (0378) 501 10 00, orcid.org/0000-0003-1731-536X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1035-4342

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Endüstriyel faaliyetler önemli çevresel sorunlara yol açmakta ve bu sorunların başında su kirliliği gelmektedir. Özellikle tekstil, deri, kağıt, gıda teknolojisi gibi endüstri alanlarında kullanılan boyar maddeler önemli problemlere sebep olmaktadır (Yagub vd., 2014). Bu endüstrilerden oluşan atık sular deniz, göl, akarsu gibi yüzey sularını kirleten en önemli kaynaklar arasındadır. Boyar maddelerin arıtım işlemine tabi tutulmadan alıcı ortama verilmesi, güneş ışınlarının suya nüfuz etmesine engel olarak fotosentez olayını engellemekte ve besin zinciri transferi sonucunda çevre sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir (Ozudogru & Merdivan, 2017). Ayrıca sucul ortamların boyar maddeler ile kirlenmesi insanlar üzerinde toksik ve kanserojenik etkiler oluşturmaktadır (Akinola & Umar, 2015).

Çeşitli boyar madde türlerinden biri olan arasında kristal viyole (KV) endüstride yaygın olarak kullanılan toksik bir maddedir. En çok pamuk, yün, ipek gibi malzemelerin boyanmasında, tıbbi uygulamalarda ve baskı işlemlerinde kullanılmaktadır. KV boyar maddesinin göz ve cilt tahrişine, böbrek ve solunum yetmezliğine neden olduğu bildirilmiştir (Bertolini vd., 2013). Bu nedenle bu tür boyar maddelerin alıcı ortama deşarj edilmeden önce uygun bir arıtma yöntemi ile arıtılması gerekmektedir.

Atık sulardan boyar maddelerin giderilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden en etkin olanları ozon (Kausar vb., 2018), membran filtrasyon (Alventosa-deLara vd., 2012), ileri oksidasyon (Asghar vd., 2015), koagülasyon/flokülasyon (Sadri Moghaddam vd., 2010), iyon değişimi (Kausar vb., 2018) ve adsorpsiyondur (Deniz ve Kepekci, 2017; Larini vd., 2017; Gemici vd., 2019). Ancak boyar maddelerin uzaklaştırılması için kullanılan yöntemlerin birçoğu maliyetlidir ve her boyar madde için etkin özellik göstermemektedirler. Bu yöntemler arasında en ekonomik, çevre dostu, kolay uygulanabilir ve verimli olan yöntem adsorpsiyon prosesidir (Fabryanty vd., 2017).

Adsorpsiyon uygulamalarında adsorbent olarak kullanılacak materyallerin ucuz ve kolaylıkla elde edilebilmesi oldukça önemlidir. Son zamanlarda çok sayıda araştırmacı adsorbent olarak, doğal malzemeler, orman, tarım ve sanayi atık malzemeleri gibi daha ekonomik, yüksek verim sağlayan, kolay bulunabilir malzemelerin kullanımının önemini vurgulamıştır (Alshabanat

vd., 2013). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, KV boyar maddesinin giderimi için farklı orman atıklarının ve tarımsal ürünlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar arasında, çam kozalağı (Sen vd., 2011), kavak yaprağı (Han vd., 2012), meşe yaprakları (Sulyman vd., 2014), okaliptüs yaprakları (Ghosh et al., 2021), sedir kozalağı (Zamouche vd., 2020), ananas yaprağı (Chakraborty vd., 2012), patates kabuğu (Larini vd., 2017), pirinç kabuğu (Chakraborty vd., 2011), zencefil atığı (Kumar & Ahmad, 2011), kakao kabuğu (Chinniagounder vd., 2011), karaçam (Gemici vd., 2019) ve ceviz kabuğu (Pang vd., 2019) gibi malzemeler yer almaktadır.

Bu çalışmada kestane kabuğu kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile sulu çözeltide bulunan KV boyar maddesinin giderimi incelenmiştir. Çalışmada başlangıç boyar madde derişimi, pH, adsorbent derişimi, temas süresi ve sıcaklık parametrelerinin adsorpsiyon verimine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygunluğu araştırılmıştır. Yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modeller kullanılarak kinetik veri analizleri yapılmıştır. Ayrıca aktivasyon enerjisi ve  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$  gibi termodinamik parametreler hesaplanarak, adsorpsiyon işleminin mekanizması tespit edilmiştir. Son olarak kestane kabuğunun adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Material and method

#### 2.1. Adsorbent hazırlanması

##### 2.1.1. Preparation of the adsorbent

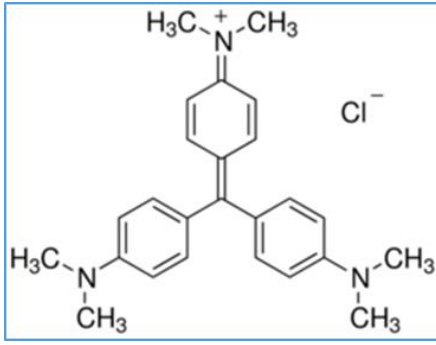
Adsorbent olarak kullanılacak kestane kabukları Bartın İlinden toplanmıştır. Kestane kabukları distile su ile birkaç kez yıkandıktan sonra 80 °C etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Ardından 0.5-1 mm partikül boyutunda öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

#### 2.2. Kimyasallar

##### 2.2. Chemicals

Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Deneysel çalışma öncesinde 1000 mg/L'lik KV stok çözeltisi hazırlanmış ve çeşitli derişimlerdeki KV çözeltileri, hazırlanan stok çözeltiliden destile su ile gerekli seyreltmeler yapılarak elde edilmiştir. KV boyar maddesinin kimyasal yapısı Şekil 1' de gösterilmektedir.

Çözeltilerin pH değeri ise 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH kullanılarak istenilen değere ayarlanmıştır.



**Şekil 1.** KV boyar maddesinin kimyasal yapısı  
**Figure 1.** Chemical structure of KV dye

### 2.3. Deneysel çalışmalar

#### 2.3. Experimental studies

Kestane kabukları kullanılarak KV boyar maddesinin giderilmesi çalışmaları kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda pH (3.1-10), başlangıç KV derişimi (60-220 mg/L), adsorbent dozajı (1-10 g/L), sıcaklık (15-45 °C) ve temas süresi gibi adsorpsiyon prosesi üzerinde etkili parametrelerin adsorpsiyon verimine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda boyar madde çözeltileri 100 mL hacminde hazırlanmış ve her bir deney için 250 mL'lik erlenmayerler kullanılmıştır. 100 mg/L çalışma çözeltilerine (pH=6.8) 5 g/L adsorbent eklendikten sonra istenilen sıcaklığa ayarlanabilen orbital çalkalayıcı (Jeio Tech IST-4075R) kullanılarak çözeltiler denge süresi boyunca (240 dakika) sabit karıştırma hızında (150 rpm) 25 °C sıcaklık değerinde karıştırılmıştır. Sürenin sonunda santrifüj cihazı (Nüve NF200) ile santrifüj edilen belirli miktardaki örneklerde, boyar madde derişimleri 586 nm dalgaboyunda UV-VIS spektrofotometresi (Hach Lange DR6000) kullanılarak tayin edilmiştir. Son olarak izoterm, kinetik ve termodinamik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kestane kabukları üzerinde KV'nin tutunma mekanizmalarını aydınlatmak üzere adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR analizleri (Shimadzu IRAffinity-1) yapılmıştır.

### 2.4. Eşitlikler

#### 2.4. Equals

Elde edilen veriler sonrasında giderim verimi (%) ve adsorbent adsorpsiyon kapasitesi ( $q_e$ , mg/g) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir.

Giderim verimi (GV, %):

$$GV(\%) = \left(1 - \frac{C_e}{C_o}\right) \times 100 \quad (1)$$

$C_o$ : Adsorplanan maddenin başlangıç derişimi (mg/L)

$C_e$ : Adsorplanan maddenin adsorplanmadan kalan derişimi (mg/L)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m} \quad (2)$$

$q_e$ : Adsorbent adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

$V$ : Çözelti hacmi (L)

$m$ : Adsorbent ağırlığı (g).

Adsorpsiyon izotermi adsorbat ile adsorbent arasındaki denge ilişkisini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada Langmuir ve Freundlich izotermi deneysel verilere uygulanarak denklemler belirlenmiştir. Langmuir ve Freundlich izotermi lineer formleri sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

$q_m$  = adsorbent maksimum adsorplama kapasitesi (sabit)

$K_L$  = Langmuir adsorpsiyon sabiti

$K_f$  = Freundlich sabiti

$n$  = sabit

Adsorpsiyon hızını belirlemek için kullanılan yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik model eşitlikleri sırasıyla Eşitlik (5) ve Eşitlik (6)'da belirtilmiştir.

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right) t \quad (5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

$k_1$ : Yalancı birinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (1/dakika)

$k_2$ : Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dakika)

$q_e$ : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

$q_t$ : Herhangi bir zamandaki adsorbe edilmiş olan madde miktarı (mg/g)

Eşitlik (5) denkleminde  $t$ 'ye karşı  $\log(q_e - q_t)$  grafiğe geçirilirse, doğrunun eğiminden  $k_1$  ve kesim noktasından  $q_e$  belirlenir. Eşitlik (6)

denkleminde ise  $t'$ 'ye karşı  $t/q_t$  grafiğe geçirildiğinde eğimden  $q_e$  ve kesim noktasından  $k_2$  belirlenir. Başlangıç sorpsiyon hızı ( $h$ , mg/g.dakika) ise Eşitlik 7'de belirtilmiştir.

$$h = k_2(q_e)^2 \quad (7)$$

Arrhenius eşitliğine göre belirlenen aktivasyon enerjisi Eşitlik 8'de belirtilmektedir.

$$\ln k = \left( \frac{-E_a}{RT} \right) + \ln A \quad (8)$$

$E_a$ : Aktivasyon enerjisi

T: Sıcaklık (Kelvin)

R: Gaz sabiti (8.314 J/mol.K)

A: Sabit (Frekans faktörü)

Denklemden  $1/T$ 'ye karşı  $\ln k$  grafiği çizildiğinde eğim değeri  $E_a$  değerini vermektedir.

Termodinamik parametrelerden Standart Gibbs serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ), standart entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) and standart entropi ( $\Delta S^\circ$ ) değerlerinin hesaplanması Eşitlik 9-11'de belirtilmektedir.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad (9)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (10)$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (11)$$

$K_d$ : Dağılım katsayısı

T: Sıcaklık (Kelvin)

R: Gaz sabiti (8.314 J/mol. K)

Yukarıda denklemden  $1/T$ 'ye karşı  $\ln K_d$  grafiğinin eğiminden  $\Delta H^\circ$  ve kesim noktasından  $\Delta S^\circ$  değerleri hesaplanmaktadır.

### 3. Bulgular ve tartışma

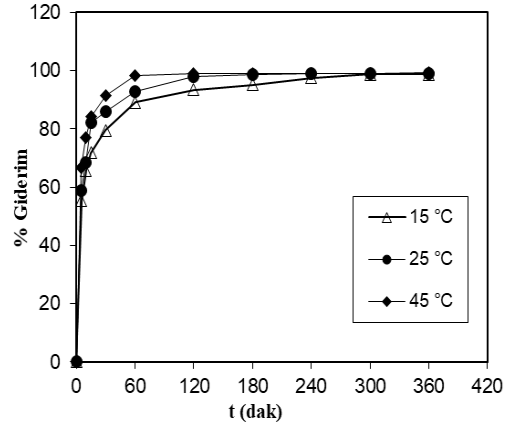
#### 3. Results and discussion

##### 3.1. Sıcaklık ve temas süresinin etkisi

###### 3.1. Effect of temperature and contact time

Bu çalışmada, kestane kabuğu kullanılarak KV boyar maddesinin gideriminde sıcaklığın etkisi (15-45 °C) incelenmiş ve sonuçlar Şekil 2 'de sunulmuştur. Elde edilen verilere göre, sıcaklık 15 °C' den 45 °C 'ye arttığında giderim veriminin de arttığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda genellikle artan yüzey aktivitesi ve çözünenin kinetik enerjisi nedeniyle adsorpsiyon performansı artmaktadır (Farooq vd., 2011). Yüzey aktivitesindeki artış, boyar madde iyonları ile adsorbent arasındaki adsorpsiyonun endotermik

olduğunu göstermektedir. Kestane kabuğu ile yapılan çalışmalarda dengeye gelme süresi 240 dakika olarak belirlenmiştir.



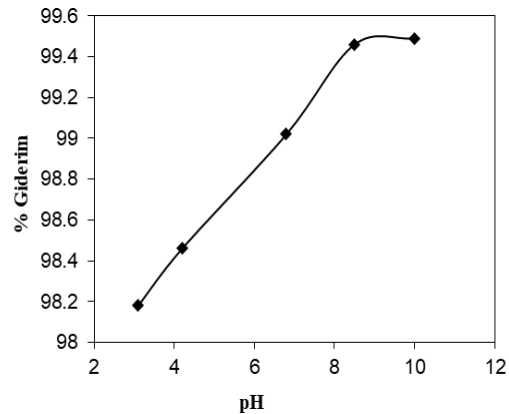
Şekil 2. Kestane kabuğu ile KV gideriminde sıcaklık ve temas süresinin etkisi

Figure 2. Effect of temperature and contact time on KV removal with chestnut shell

##### 3.2. Başlangıç pH değişiminin etkisi

###### 3.2. Effect of initial pH change

Kestane kabukları kullanılarak KV boyar maddesinin adsorpsiyonunda başlangıç pH değeri 3.1 ve 10 arasında değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te gösterilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda pH değişiminin KV giderim verimini çok etkilemediği gözlemlenmiştir. pH 3.1 değerinde giderim verimi %98.12 bulunurken pH 10 değerinde ise giderim verimi %99.49 olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre KV çözeltisinin kendi pH değeri olan 6.8 ile sonraki çalışmalara devam edilmiştir.



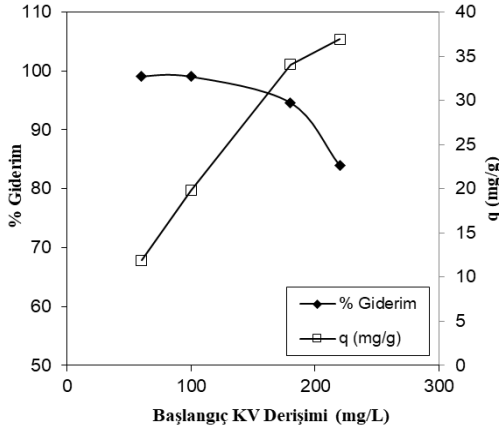
Şekil 3. Kestane kabuğu ile KV gideriminde başlangıç pH değişiminin etkisi

Figure 3. Effect of initial pH change on KV removal with chestnut shell

### 3.3. Başlangıç KV derişiminin etkisi

#### 3.3. Effect of initial KV concentration

Kestane kabukları kullanılarak başlangıç boyar madde derişimlerinin (60-220 mg/L) adsorpsiyon verimine etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4' de gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda başlangıç KV derişimi arttıkça giderim veriminin azaldığı ancak adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmüştür. Boyar madde derişimi arttığında itici güç arttığından adsorpsiyon kapasitesi değerleri artmıştır. Düşük boyar madde derişimlerinde ise adsorbent yüzeyinde yeterli aktif bölgelerin bulunması nedeniyle giderim verimi artmıştır. Daha yüksek derişimlerde, boyar madde, adsorbentlerin aktif bağlanma bölgeleri için rekabet halinde olduğundan ve boyar madde moleküllerinin adsorbent yüzeyine bağlanacağı yeterli serbest alanın bulunmamasından dolayı giderim veriminin düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4. Kestane kabuğu ile KV gideriminde başlangıç KV derişiminin etkisi

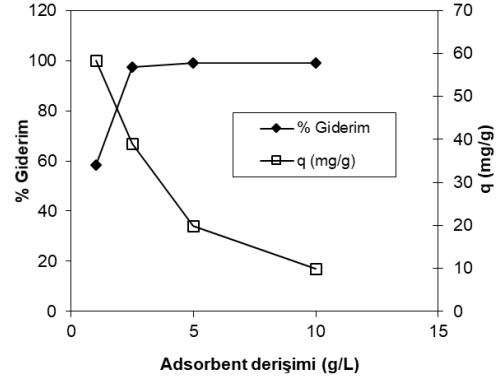
Figure 4. Effect of initial KV concentration on KV removal with chestnut shell

### 3.4. Adsorbent derişiminin etkisi

#### 3.4. Effect of adsorbent concentration

KV boyar maddesinin giderilmesinde adsorbent derişimi 1 ve 10 g/L arasında değiştirilerek, bu derişimin adsorpsiyon performansına etkisi incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde adsorbent derişimi arttıkça, boyar madde giderim veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum boyar maddenin adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu için uygun aktif bölgelerin artmasından kaynaklanmaktadır. Ancak deneysel çalışmalardan görüldüğü üzere adsorbent çok fazla artması verimi daha da artırmamıştır. Şekil 5' te adsorpsiyon kapasitesi değerleri incelendiğinde ise kestane kabuğu dozajı arttığında bağlanma yüzeylerinin doyunluğa ulaşmamasından dolayı

adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Adsorbent dozajının artması ile çözeltide bulunan iyon derişimi daha fazla azalmakta ve adsorpsiyon işlemi daha düşük q değerinde dengeye gelmektedir. Bu durum adsorpsiyon bölgelerinin doyunluğa ulaşmadığını göstermektedir (Amarasinghe ve Williams, 2007; Aslan vd., 2021). Elde edilen sonuçlara göre 5 g/L adsorbent derişiminden sonra adsorpsiyon veriminin değişmediği belirlenmiş ve çalışmalara bu değer ile devam edilmiştir.



Şekil 5. Kestane kabuğu ile KV gideriminde adsorbent derişiminin etkisi

Figure 5. Effect of adsorbent concentration on KV removal with chestnut shell

### 3.5. Adsorpsiyon izotermeleri

#### 3.5. Adsorption isotherms

Bu çalışmada, sulu çözeltilerden KV gideriminde farklı sıcaklık değerlerinden elde edilen deneysel veriler Langmuir ve Freundlich izotermeleri kullanılarak değerlendirilmiş ve adsorpsiyon izotermeleri Tablo 1' de ve Şekil 6' da gösterilmiştir. Langmuir Modeli, adsorpsiyonun adsorbent yüzeyinde lokal spesifik bağlanma bölgelerinde meydana geldiği ve adsorbent dış yüzeyi üzerinde adsorbent tek tabaka ile kaplandığında maksimum adsorpsiyonun oluştuğu kabulüne dayanmaktadır (Aslan vd., 2021). Kısaca Langmuir izotermi, homojen yüzey üzerinde tek tabakalı bir adsorpsiyon anlamına gelmektedir. Freundlich denklemi ise adsorpsiyonun heterojen bir yüzeyde gerçekleştiğini ve aktif bölgelerin farklı enerjilere sahip olduğunu belirten ampirik bir modeldir (Pavan vd., 2014). Langmuir ve Freundlich izotermeleri için  $R^2$  değerleri karşılaştırıldığında, her sıcaklık değeri için en iyi verilerin Langmuir izotermine elde edildiği belirlenmiştir. Langmuir izoterm modelinde 45 °C' deki maksimum adsorpsiyon kapasitesi ( $q_{max}$ ) 48.78 mg/g olarak bulunmuştur. Tablo 1 incelendiğinde Freundlich izoterm modelinde 15 °C ve 45 °C' de  $R^2$  değerlerinin de kayda değer biçimde yüksek

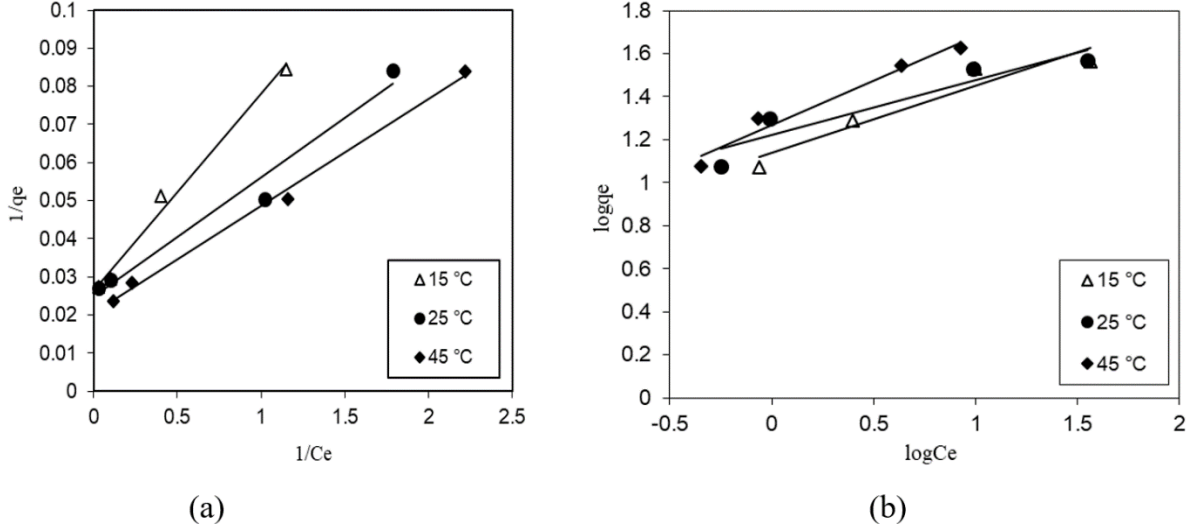


olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu sıcaklık değerleri için adsorpsiyon işleminin aynı zamanda Freundlich izoterm modeline de uyduğu

söylenbilir. Literatürde KV giderimi için kullanılan bazı adsorbentlerin adsorpsiyon kapasiteleri Tablo 2'de listelenmiştir.

**Tablo 1.** Kestane kabuğu ile KV gideriminde Langmuir and Freundlich izoterm parametreleri  
*Table 1. Langmuir and Freundlich isotherm parameters on KV removal with chestnut shell*

	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi		
	$K_f$	$n$	$R^2$	$q_{max}, mg/g$	$K_L, L/mg$	$R^2$
15°C	13.77	3.21	0.92	37.74	0.51	0.99
25 °C	16.71	3.93	0.88	40.32	0.79	0.97
45 °C	18.51	2.42	0.97	48.78	0.73	0.99



**Şekil 6.** Adsorpsiyon izotermi (a) Langmuir izotermi ve (b) Freundlich izotermi  
*Figure 6. Adsorption isotherms (a) Langmuir isotherm and (b) Freundlich isotherm*

**Tablo 2.** KV için bazı adsorbentlerin adsorpsiyon kapasiteleri  
*Table 2. Adsorption capacities of some adsorbents for KV*

Adsorbent türleri	$q_{max} (mg/g)$	Referans
Pirinç Kabuğu	44.87	Chakraborty vd., 2011
Buğday Kepeği	80.37	Wang vd., 2008
Sedir Kozalağı	13.65	Zamouche vd., 2020
İğne Yapraklı Çam Kabuğu	32.78	Ahmad, 2009
Meşe Yaprakları	41.15	Sulyman vd., 2014
Ham Okaliptüs Yaprakları	88.81	Ghosh et al., 2021
Karaçam	12.36	Gemici vd., 2019
Kestane Kabuğu	48.78	Bu çalışma

### 3.6. Adsorpsiyon kinetikleri

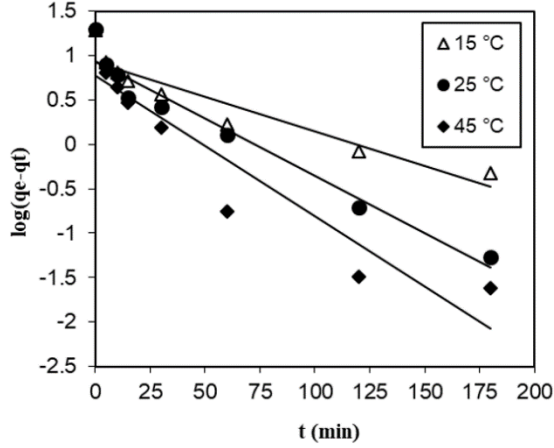
#### 3.6. Adsorption kinetics

Kinetik çalışmalar yalancı birinci dereceden denklem ve yalancı ikinci dereceden denklem kullanılarak incelenmiştir. Çalışma 15 °C, 25 °C, 45 °C değerlerinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, Tablo 3 ve Şekil 7' de gösterilmiştir. Yalancı ikinci

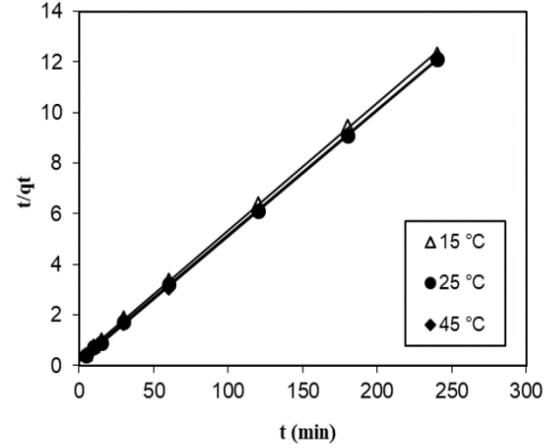
dereceden kinetik modelde,  $R^2$  değerinin yalancı birinci dereceden kinetik modelden daha yüksek olduğu bulunmuştur ( $R^2 > 0.99$ ). Ayrıca  $q_{cal}$  ve  $q_{exp}$  değerleri, yalancı ikinci dereceden kinetik modelde birbirine daha yakındır. Sonuç olarak yalancı ikinci dereceden kinetik modelin adsorpsiyon çalışmalarında daha uygun olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Kestane kabuğu ile KV gideriminde kinetik parametreler**Table 3.** Kinetic parameters on KV removal with chestnut shell

T (°C)	Yalancı birinci dereceden				Yalancı ikinci dereceden			
	$q_e \text{ exp}$	$k_1(1/\text{min})$	$q_e, \text{cal. (mg/g)}$	$R^2$	$q_e, \text{cal. (mg/g)}$	$k_2(\text{g/mgmin})$	$h$	$R^2$
15	19.50	0.02	8.34	0.88	19.80	0.01	3.34	0.99
25	19.80	0.03	8.64	0.96	20.20	0.01	4.67	0.99
45	19.82	0.04	5.96	0.88	20.08	0.02	8.03	0.99



(a)



(b)

**Şekil 7.** Kinetik çalışmalar (a) Birinci dereceden kinetik model (b) İkinci dereceden kinetik model**Figure 7.** Kinetic studies (a) First-order kinetic model (b) Second-order kinetic model

### 3.7. Termodinamik çalışmalar ve aktivasyon enerjisi

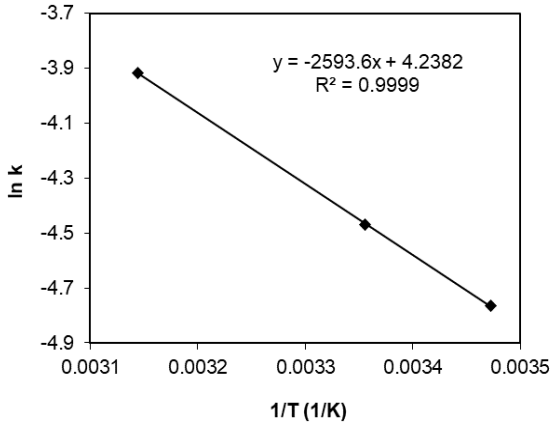
#### 3.7. Thermodynamic studies and activation energy

Termodinamik parametrelerden Standart Gibbs serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ), standart entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) ve standart entropi ( $\Delta S^\circ$ ) değerleri Tablo 4' te gösterilmiştir. Bu çalışmada, incelenen tüm sıcaklıklar için  $\Delta G^\circ$ ' nin negatif değeri, adsorpsiyon sürecinin uygun ve kendiliğinden gerçekleştiğini göstermiştir. Pozitif  $\Delta H^\circ$  değeri adsorpsiyon işleminin endotermik olduğunu belirtmektedir. Ayrıca  $\Delta S^\circ$  pozitif değeri ise kestane kabuğu ile çözelti ara yüzündeki rastlantısallığı göstermiştir.

**Tablo 4.** Kestane kabuğu ile KV gideriminde termodinamik parametreler**Table 4.** Thermodynamic parameters on KV removal with chestnut shell

$\Delta H^\circ$ (kJ/Kmol)	$\Delta S^\circ$ (J/molK)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)		
		15	25	45
24.91	163.53	-22.02	-24.10	-26.93

Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü, adsorpsiyon olayının fiziksel ya da kimyasal durumu ile ilgili bilgi vermektedir. Fiziksel adsorpsiyonda, dengeye çabuk ulaşılır ve olay tersinirdir. Çünkü adsorplayıcı-adsorplanan arasındaki kuvvetler zayıftır. Bu nedenle adsorplanabilme enerjisine karşılık gelen aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) düşüktür (Genellikle 4.2 kJ/mol' den daha küçüktür). Kimyasal adsorpsiyon ise spesifik bir olaydır ve adsorplayıcı-adsorplanan arasındaki etkileşimler kuvvetlidir. Bundan dolayı kimyasal adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi yüksektir ve genellikle kimyasal tepkime ısısı mertebesindedir (8.4 kJ/mol'den daha büyüktür). Ayrıca aktivasyon enerjisinin büyüklüğü sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Aksakal & Uçun, 2010). Yapılan çalışmalar sonucunda adsorpsiyon aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) sırasıyla 21.56 kJ/mol ve 0.99 olarak bulunmuştur (Şekil. 8). Bulunan aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) 8.4 kJ/mol'den daha büyüktür. Bu sonuçlar çalışmanın kimyasal bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir.

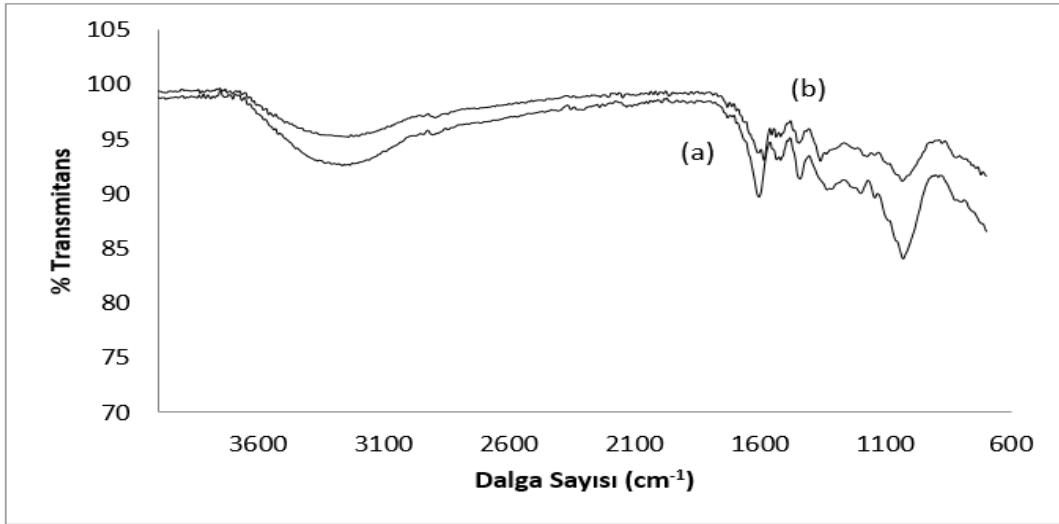


**Şekil 8.** KV adsorpsiyonu aktivasyon enerjisi  
**Figure 8.** KV adsorption activation energy

### 3.8. Adsorpsiyon karakterizasyonu

#### 3.8. Adsorption characterization

Adsorbent üzerinde bulunan fonksiyonel grupları belirlemek için 700–4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında FTIR çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kestane kabuğunun adsorpsiyon öncesi ve sonrası durumları için gerçekleştirilen FTIR analizleri Şekil 9’da gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde 1604  $\text{cm}^{-1}$ ’de bulunan pikin aromatik C=C halka gerilmesi, 1022  $\text{cm}^{-1}$ ’de alifatik eter C-O ve alkol C-O gerilmesi, 3240  $\text{cm}^{-1}$ ’de ise –OH gerilmesi gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon işleminden sonra elde edilen sonuçlara göre, FTIR spektrumundaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve benzer eğilimi takip ettiği belirlenmiştir. Bu sonuç adsorpsiyonun kestane kabuğunun yapısını değiştirmediğini göstermektedir (Döşemen, 2009).



**Şekil 9.** Kestane kabuğunun FTIR analizi a) Adsorpsiyon öncesi b) Adsorpsiyon sonrası  
**Figure 9.** FTIR analysis of chestnut shell a) Before adsorption b) After adsorption

## 4. Sonuçlar

### 4. Conclusions

Bu çalışmada, kesikli sistemde sulu çözeltilerden KV boyar maddesini uzaklaştırmak için organik ürün olan kestane kabuğunun adsorpsiyon potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla çözelti pH’ı, başlangıç KV derişimi, adsorbent dozajı, temas süresi ve sıcaklık parametrelerinin adsorpsiyon verimine etkileri araştırılmıştır. Adsorpsiyon etkinliğinin adsorbent dozajı ve sıcaklığın artmasıyla arttığı, başlangıç KV derişimi arttıkça adsorpsiyon etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri denge verilerine uygulanarak değerlendirilmiş ve Langmuir izoterminin denge verileriyle daha iyi eşleştiği bulunmuştur. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 48.78 mg/g olarak hesaplanmıştır.

Adsorpsiyon kinetik çalışmalarında yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modellerden elde edilen denge adsorpsiyon verilerinin yalancı ikinci dereceden kinetik modele daha iyi uyduğu belirlenmiştir ( $R^2 > 0.99$ ). Termodinamik parametreler ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$ ) sorpsiyon işleminin uygulanabilir, kendiliğinden ve endotermik olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, kestane kabuğu kullanılarak yapılan çalışmalarda KV boyar maddesinin sulu çözeltilerden verimli bir şekilde uzaklaştırılabileceğini göstermiştir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu çalışma, numarası 1919B011904047 olan 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı ile maddi olarak

desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Gerçekleştirilen çalışmada Betül Tuba Gemici çalışmanın planlanması, literatür taraması, deneysel çalışmaların yapılması, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve makalenin kontrolü bölümlerinde; Aybüke Özden deneysel çalışmaların yapılması ve deneylerde kullanılan malzemelerin temin edilmesi bölümlerinde katkı sunmuştur.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Ahmad, R. (2009). Studies on adsorption of crystal violet dye from aqueous solution onto coniferous pinus bark powder (CPBP). *Journal of Hazardous Materials*, 171(1), 767–773. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.060>
- Akınola, L. K., & Umar, A. M. (2015). Adsorption of crystal violet onto adsorbents derived from agricultural wastes: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 19(2), 279–288. <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v19i2.15>
- Aksakal, O., & Uzun, H. (2010). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive Red 195) onto *Pinus sylvestris* L. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3), 666–672. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.064>
- Alshabanat, M., Alsenani, G., & Almufarij, R. (2013). Removal of crystal violet dye from aqueous solutions onto date palm fiber by adsorption technique. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.1155/2013/210239>

- Alventosa-deLara, E., Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M. I., & Iborra-Clar, M. I. (2012). Ultrafiltration technology with a ceramic membrane for reactive dye removal: Optimization of membrane performance. *Journal of Hazardous Materials*, 209–210, 492–500. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.065>
- Asghar, A., Abdul Raman, A. A., & Wan Daud, W. M. A. (2015). Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: A review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 826–838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.010>
- Aslan, Ş., Sayıter, Y., & Öztürk, M. (2020). Sentetik atıksulardan atık çay sorbentine Cu+2 biyosorpsiyonu: Kinetikler, eşitlikler ve termodinamik. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 359–367. <http://dx.doi.org/10.5505/pajes.2020.27374>
- Bertolini, C. R., Izidoro, J. C., & Fungaro, C. P. (2013). Adsorption of crystal violet dye from aqueous solution onto zeolites from coal fly and bottom ashes. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 5(3), 179–191.
- Chakraborty, S., Chowdhury, S., & Saha, P. D. (2011). Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1533–1541. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.058>
- Chinniagounder, T., Shanker, M., & Nageswaran, S. (2011). Adsorptive removal of crystal violet dye using agricultural waste cocoa (theobroma cacao) shell. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(7), 38–45.
- Deniz, F., & Kepekci, R. A., (2017). Bioremoval of malachite green from water sample by forestry waste mixture as potential biosorbent. *Microchemical Journal*, 132, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.01.015>
- Döşemen, Y. (2009). Kestane Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çakmak, R. (2018). Akıllı şebekelerde fotovoltaik güç üretim sistemine sahip konutlar için akıllı talep yönetim sistemi [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Fabryanty, R., Valencia, C., Soetaredjo, F. E., Putro, J. N., Santoso, S. P., Kurniawan, A., Ju, Y. H., & Ismadji, S. (2017). Removal of crystal violet dye by adsorption using bentonite – alginate composite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5677–5687. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.10.057>

- Farooq, U., Khan, M. A., Athar, M., & Kozinski, J. A. (2011). Effect of modification of environmentally friendly biosorbent wheat (*triticum aestivum*) on the biosorptive removal of cadmium(II) ions from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 171, 400–410.
- Gemici, B. T., Uzun Ozel, H., & Ozel, H. B. (2019). Adsorption behaviors of crystal violet from aqueous solution using Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold.): Kinetic and equilibrium studies. *Separation Science and Technology*, 55(3), 406-414. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1577268>
- Ghosh, K., Bar, N., Biawas, A. B., & Das, S. K. (2021). Elimination of crystal violet from synthetic medium by adsorption using unmodified and acid-modified eucalyptus leaves with MPR and GA application. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 19, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100370>
- Han, R., Han, P., Cai, Z., Zhenhui, Z. & Mingsheng, T. (2008). Kinetics and isotherms of neutral red adsorption on peanut husk. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1035–1041. doi:10.1016/S1001-0742(08)62146-4
- Han, X., Niu, X., & Ma, X., (2012). Adsorption characteristics of methylene blue on poplar leaf in batchmode: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 29, 494–502.
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z.i.H., Bhatti, H.N., & Nouren, S. (2018). Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>
- Kumar, R., & Ahmad, R. (2011). Biosorption of hazardous crystal violet dye from aqueous solution onto treated ginger waste (TGW). *Desalination*, 265, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.040>
- Larini, S., El Mahtal, K., Miyah, Y., Tanji, K., Guissi, S., Boumchita, S., & Zerrouq, F. (2017). The adsorption of crystal violet from aqueous solution by using potato peels (*solanum tuberosum*): Equilibrium and kinetic studies, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(9), 3252- 3261.
- Ozudogru, Y., & Merdivan, M. (2017). Metilen mavisinin modifiye edilmiş cystoseira barbata (stackhouse) c. agardh kullanılarak biyosorpsiyonu. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 18(2).
- Pang, X., Sellaoui, L., Franco, D., Dotto, G.L., Georgin, J., Bajahzar, A., Belmabrouk, H., Ben Lamine, A., Bonilla-Petriciolet, A., & Li, Z. (2019). Adsorption of crystal violet on biomasses from pecan nutshell, para chestnut husk, araucaria bark and palm cactus: Experimental study and theoretical modeling via monolayer and double layer statistical physics models. *Chemical Engineering Journal*, 378(122101). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122101>
- Pavan, F.A., Camacho, E.S., Lima, E.C., Dotto, G.L., Branco, V.T., & Dias, S.L. (2014). Formosa papaya seed powder (FPSP): Preparation, characterization and application as an alternative adsorbent for the removal of crystal violet from aqueous phase. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.12.017>
- Sadri Moghaddam, S., Alavi Moghaddam, M. R., & Arami, M. (2010). Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 651–657. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.058>
- Sen, T. K., Afroze S., & Ang, H. (2011). Equilibrium, kinetics and mechanism of removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pine cone biomass of *Pinus radiata*. *Water Air and Soil Pollution*, 218, 499–515. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0663-y>
- Sulyman, M., Namiesnik, J., & Gierak, A. (2014). Utilization of new activated carbon derived from oak leaves for removal of crystal violet from aqueous solution, *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(6), 2223-2232. <https://doi.org/10.15244/pjoes/26764>
- Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172– 184. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>
- Wang, X. S., Liu, X., Wen, L., Zhou, Y., Jiang, Y., & Li, Z. (2008). Comparison of basic dye crystal violet removal from aqueous solution by low-cost biosorbents. *Separation Science and Technology*, 43(14), 3712–3731.
- Zamouche, M., Habib, A., Saaidia, K., & Lehocine, M. B. (2020). Batch mode for adsorption of crystal violet by cedar cone forest waste. *SN Applied Sciences*, 2(198). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1976-0>

## On the pole indicatrix curve of the spacelike Salkowski curve with timelike principal normal in Lorentzian 3-space

*3-boyutlu Lorentz uzayında timelike asli normalli spacelike Salkowski eğrisinin pol gösterge eğrisi üzerine*

**Birkan AKSAN<sup>1,a</sup>, Sümeyye GÜR MAZLUM<sup>\*2,b</sup>**

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 16.09.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 05.10.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 06.10.2022

### Abstract

In this study, we compute the Frenet frame, the curvatures, the Frenet derivative formulas, the Darboux vector, the arc length, the geodesic curvatures according to  $\mathbb{E}_1^3$  and  $\mathbb{S}_1^2$  (Lorentzian sphere) of the pole indicatrix curve of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in Lorentzian 3-space  $\mathbb{E}_1^3$  and show the graph of the indicatrix curve on the Lorentzian sphere  $\mathbb{S}_1^2$ .

**Keywords:** Geodesic curvatures, Pole indicatrix curve, Salkowski curve

### Öz

*Bu çalışmada 3-boyutlu Lorentz uzayında timelike asli normalli spacelike Salkowski eğrisinin pol gösterge eğrisinin Frenet çatisı, eğrilikleri, Frenet türev formülleri, Darboux vektörü, yay uzunluğu,  $\mathbb{E}_1^3$  e ve  $\mathbb{S}_1^2$  (Lorentzian küre) ye göre geodezik eğrilikleri hesaplanmıştır ve bu pol gösterge eğrisi Lorentzian küre  $\mathbb{S}_1^2$  üzerinde gösterilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Geodezik eğrilikler, Pol gösterge eğrisi, Salkowski eğrisi

\*b Sümeyye GÜR MAZLUM; sumeyyegur@gumushane.edu.tr, Tel: 0(456) 233 1039, orcid.org/ 0000-0003-2471-1627

a orcid.org/0000-0002-1533-6557

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Lorentz-Minkowski space is a field of study that is developing day by day, which is of interest to geometers as well as physicists. Einstein worked on this space in his theory of relativity. The fact that the theory is interesting since the first day increases the popularity of this space day by day. Although physicists work on quantum geometry in this space, geometers mostly work on differential geometry. Due to the definition of the inner product function in this space, many studies in Euclidean space can be updated in this space. Especially the theory of curves and surfaces is one of them. The basic information about Lorentz-Minkowski space can be found in sources (Akutagava & Nishikawa, 1990; Alluhaibi & Abdel-Baky, 2022; Beem et al., 2017; Birman & Nomizu, 1984; Li et al., accepted; O’Neill, 1983; Önder & Uğurlu, 2013; Ratcliffe, 1994; Uğurlu & Çalışkan, 2012; Uğurlu & Kocayigit, 1996; Walrave, 1995; Woestijne, 1990). While working the geometry of a curve, any frame can be created at any point on the curve. One of these frames is the Frenet frame, (Hacısalıhoğlu, 1983; Özdemir, 2020; Şenatalar, 1978; Struik, 1961). The Frenet frame is thought to rotate around a fixed axis at every moment  $s$ . This axis is called the Darboux axis and the unit vector in the direction of this axis is called the pole vector. The Frenet frame is an orthonormal frame derived from the derivatives of the curve. The curvature and torsion functions obtained from the elements of this frame play a role in determining the character of the curve. For example, the curvature and torsion ratio of a general helix is constant. Slant helices, which are a more special case of helices, make a fixed angle with a fixed direction, The studies on helices and some other special curves are available in related sources, (Ali, 2012; Ali & Lopez, 2011; Bulut & Bektaş, 2020; Bükcü & Karacan, 2007; Gür & Şenyurt, 2013; Izumiya & Tkeuchi, 2004; Kılıçoğlu & Hacısalıhoğlu, 2008; Külahcı et al., 2009; Li et al., 2020; Li et al., 2018; Li & Pei, 2016; Lopez, 2014; Şenyurt & Gür, 2012; Uğurlu, 1997; Uğurlu & Topal, 1996, Yüksel et al., 2014, Yüksel et al., 2015). One of the best examples of these helices is the Salkowski curve, (Salkowski, 1909). Since those years, the various studies have been carried out on these curves both in Euclidean and Lorentzian 3-space. Monterde (2009) gave Frenet vectors and the parametric equation of the Salkowski curve. Gür and Şenyurt (2010) studied the on the Salkowski curve in Euclidean 3-space  $\mathbb{E}^3$ . Ali (2011) examined spacelike Salkowski and spacelike anti-Salkowski curves in his study. In addition, Şenyurt et al. (2015) studied on the

timelike Salkowski curve. Other studies on the Salkowski curve are (Gür Mazlum et al., in pressed; Şenyurt & Gür, 2017; Şenyurt & Uzun, 2020; Şenyurt & Kemal, 2020; Şenyurt & Öztürk, 2018). The unit pole vector along a regular curve  $\bar{\alpha}(t)$  in Lorentzian 3-space  $\mathbb{E}_1^3$  generate a spherical curve on the unit Lorentzian sphere (or hyperbolic sphere). The spherical curve  $(\bar{C})$  is called on the pole indicatrix curve of the curve  $(\bar{\alpha})$ . Let  $t_c$  be the parameter for the curve  $(\bar{C})$ . The parametric equation for this curve is  $(\bar{C}) = \bar{\alpha}_c(t_c) = \bar{C}(t)$ , (Şenatalar, 1978; Uğurlu & Çalışkan, 2012). In this study, we work on the Frenet frame, the curvatures, the Frenet derivative formulas, the Darboux vector, the arc length, the geodesic curvatures of the pole indicatrix curve of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in Lorentzian 3-space  $\mathbb{E}_1^3$  and show the graph of this indicatrix curve.

## 2. Preliminaries

### 2. Ön Bilgiler

Let  $\vec{M} = (m_1, m_2, m_3)$  and  $\vec{R} = (r_1, r_2, r_3) \in \mathbb{E}^3$  be two vectors. For these vectors, let it be defined as the inner product function

$$\langle \cdot, \cdot \rangle : \mathbb{E}_1^3 \times \mathbb{E}_1^3 \rightarrow \mathbb{E}_1^3, \quad (1)$$

$$\langle \vec{M}, \vec{R} \rangle = m_1 r_1 + m_2 r_2 - m_3 r_3$$

and the vectorial product function

$$\wedge : \mathbb{E}_1^3 \times \mathbb{E}_1^3 \rightarrow \mathbb{E}_1^3, \quad (2)$$

$$\vec{M} \wedge \vec{R} = (m_3 r_2 - m_2 r_3, m_1 r_3 - m_3 r_1, m_1 r_2 - m_2 r_1).$$

Here, the function  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  is called as Lorentzian metric. The space  $\mathbb{E}^3$  with the Lorentzian metric is called the Lorentzian 3-space and is showed by  $\mathbb{E}_1^3$ . For  $\vec{M} \in \mathbb{E}_1^3$ , if  $\langle \vec{M}, \vec{M} \rangle > 0$  or  $\vec{M} = 0$ ,  $\vec{M}$  is called spacelike (sl) vector, if  $\langle \vec{M}, \vec{M} \rangle < 0$ ,  $\vec{M}$  is called timelike (tl) vector, if  $\langle \vec{M}, \vec{M} \rangle = 0$  and  $\vec{M} \neq 0$ ,  $\vec{M}$  is called lightlike or null vector. If  $\langle \vec{M}, \vec{E} \rangle < 0$ ,  $\vec{M}$  is called future pointing timelike vector (fptl), if  $\langle \vec{M}, \vec{E} \rangle > 0$ ,  $\vec{M}$  is called past pointing timelike vector (pptl), where  $\vec{E} = (0, 0, 1)$

The unit sphere  $S_1^2 = \{ \bar{M} \in \mathbb{E}_1^3 \mid \langle \bar{M}, \bar{M} \rangle = 1 \}$  is called unit Lorentzian sphere. For the vectors  $\bar{M}$  and  $\bar{R}$  in  $\mathbb{E}_1^3$ , if  $\langle \bar{M}, \bar{R} \rangle = 0$ ,  $\bar{M}$  and  $\bar{R}$  are Lorentz orthogonal vectors. Let  $\bar{M}$  and  $\bar{R}$  be nonzero Lorentz orthogonal vectors in  $\mathbb{E}_1^3$ , if  $\bar{M}$  is timelike, then  $\bar{R}$  is spacelike, (Ratcliffe, 1994). Now, let's talk about the angle in between of any two vectors in  $\mathbb{E}_1^3$ :

i) If  $\bar{M}$  and  $\bar{R}$  be future (past) pointing timelike vectors in  $\mathbb{E}_1^3$ , the hyperbolic angle between of these vectors is as follows:

$$\langle \bar{M}, \bar{R} \rangle = -\|\bar{M}\| \|\bar{R}\| \cosh \varphi. \tag{3}$$

ii) If  $\bar{M}$  be a spacelike vector and  $\bar{R}$  be a positive timelike vector in  $\mathbb{E}_1^3$ , the hyperbolic angle between of these vectors is as follows:

$$\langle \bar{M}, \bar{R} \rangle = \|\bar{M}\| \|\bar{R}\| \sinh \varphi, \tag{4}$$

iii) If  $\bar{M}$  and  $\bar{R}$  be spacelike vectors in  $\mathbb{E}_1^3$  that span a spacelike vector subspace, the reel angle between of these vectors is as follows:

$$\langle \bar{M}, \bar{R} \rangle = \|\bar{M}\| \|\bar{R}\| \cos \varphi, \tag{5}$$

(Ratcliffe, 1994). An curve  $(\bar{\alpha})$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is called the spacelike, timelike or null (lightlike) curve, if all of the velocity vector of the curve are the spacelike, timelike or null (lightlike), respectively. The norm of the vector  $\bar{M} \in \mathbb{E}_1^3$  is  $\|\bar{M}\| = \sqrt{|\langle \bar{M}, \bar{M} \rangle|}$  and if  $\|\bar{M}\| = 1$ ,  $\bar{M}$  is called a unit vector. Let  $\{\bar{T}, \bar{N}, \bar{B}\}$ ,  $\kappa, \tau, \bar{F}$  and  $\bar{C}$  be the Frenet trihedron, the curvature, the torsion, the Darboux vector and the unit vector of direction  $\bar{F}$  of the differentiable curve  $(\bar{\alpha})$  in  $\mathbb{E}_1^3$ , respectively. Also, Let  $\|\bar{\alpha}'\| = v$  for the curve  $(\bar{\alpha})$ . For any spacelike curve  $(\bar{\alpha})$ , there are the following equations between these elements:

i. Let the vectors  $\bar{T}$  and  $\bar{N}$  be spacelike vectors and  $\bar{B}$  be timelike vector. There are the following relationships between these vectors:

$$\bar{T} \wedge \bar{N} = \bar{B}, \quad \bar{N} \wedge \bar{B} = -\bar{T}, \quad \bar{B} \wedge \bar{T} = -\bar{N}. \tag{6}$$

The Frenet derivative formulas and the Darboux vector for this curve is as follows, respectively:

$$\bar{T}' = v\kappa\bar{N}, \quad \bar{N}' = v(-\kappa\bar{T} + \tau\bar{B}), \quad \bar{B}' = v\tau\bar{N}, \tag{7}$$

$$\bar{F} = v(\tau\bar{T} + \kappa\bar{B}). \tag{8}$$

Let the hyperbolic angle between the timelike unit vector  $\bar{B}$  and the vector  $\bar{F}$  be  $\varphi$ .

➤ If  $|\kappa| < |\tau|$ ,  $\bar{F}$  is a spacelike. So, the unit pol vector in the direction of  $\bar{F}$  are as follows:

$$\bar{C} = \cosh \varphi \bar{T} - \sinh \varphi \bar{B}. \tag{9}$$

➤ If  $|\kappa| > |\tau|$ , then  $\bar{F}$  is a timelike vector. In this case, the unit pol vector in the direction of the timelike vector  $\bar{F}$  is as follows:

$$\bar{C} = \sinh \varphi \bar{T} - \cosh \varphi \bar{B}. \tag{10}$$

ii. Let the vectors  $\bar{T}$  and  $\bar{B}$  are spacelike vectors,  $\bar{N}$  is timelike vector. There are the following relationships between these vectors:

$$\bar{T} \wedge \bar{N} = -\bar{B}, \quad \bar{N} \wedge \bar{B} = -\bar{T}, \quad \bar{B} \wedge \bar{T} = \bar{N}. \tag{11}$$

The Frenet derivative formulas and the Darboux vector for this curve are as follows, respectively:

$$\bar{T}' = \kappa\bar{N}, \quad \bar{N}' = \kappa\bar{T} + \tau\bar{B}, \quad \bar{B}' = \tau\bar{N}, \tag{12}$$

$$\bar{F} = v(-\tau\bar{T} + \kappa\bar{B}). \tag{13}$$

Let the reel angle between the timelike unit vector  $\bar{B}$  and the vector  $\bar{F}$  be  $\varphi$ . Here, since  $\langle \bar{F}, \bar{F} \rangle = \kappa^2 + \tau^2 > 0$ , the unit pol vector in the direction of  $\bar{F}$  is as follows:

$$\bar{C} = -\sin \varphi \bar{T} + \cos \varphi \bar{B}. \tag{14}$$

Supposing  $a \leq t \leq b$ , the real number

$$\int_a^b \left\| \frac{d\bar{\alpha}}{dt} \right\| dt = \int_a^b v dt \tag{15}$$



is called the arc length between the points  $\vec{\alpha}(a)$  and  $\vec{\alpha}(b)$  of the curve  $(\vec{\alpha})$  in  $\mathbb{E}_1^3$ . Let  $\vec{C}(t)$  be the pole vector of curve  $(\vec{\alpha})$  at the point of  $\vec{\alpha}(t)$ . Then, the geodesic curvature with respect to  $\mathbb{E}_1^3$  is

$$k_g = \|\overline{D_c C}\|. \tag{16}$$

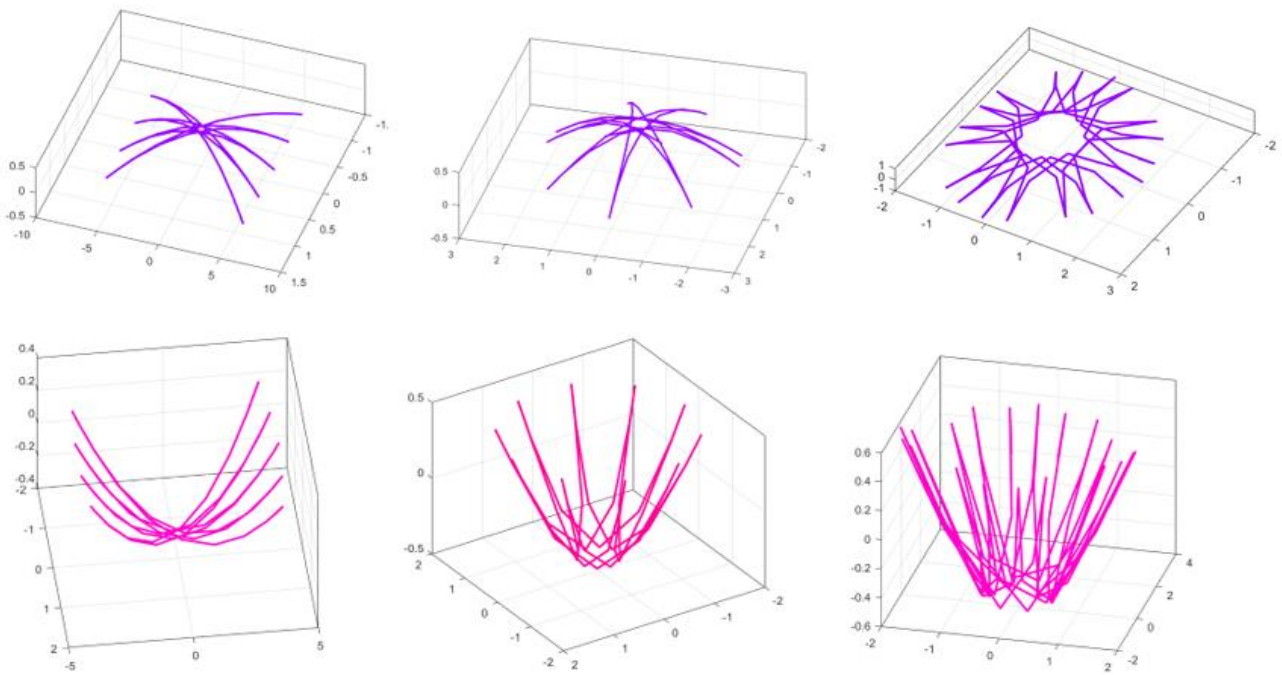
Let the normal vector of the surface be  $\vec{C}(t)$ . If  $\vec{C}(t)$  is the spacelike vector, the geodesic curvature  $\gamma_g$  with respect to  $\mathbb{S}_1^2$  of the curve  $(\vec{\alpha})$  is

$$\vec{\gamma}_m(t) = \left( 2 \sin t - \frac{1+n}{1-2n} \sin[(1-2n)t] - \frac{1-n}{1+2n} \sin[(1+2n)t], \right. \\ \left. 2 \cos t - \frac{1+n}{1-2n} \cos[(1-2n)t] - \frac{1-n}{1+2n} \cos[(1+2n)t], \frac{1}{m} \cos(2nt) \right).$$

$$\gamma_g = \|\overline{D_c C}\|, \overline{D_c C} = \overline{D_c C} + \langle S(\vec{C}), \vec{C} \rangle \vec{C}. \tag{17}$$

$\overline{D}$  is the connection and  $\overline{S}$  is the shape operator of  $\mathbb{S}_1^2$ , (Uğurlu & Çalışkan, 2012).

**Definition 2.1.** For  $m \in \mathbb{R}$ ,  $m > 1$  or  $m < -1$  and  $n = \frac{m}{\sqrt{m^2 - 1}}$ , the curve whose parametric expression is given below is called the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in  $\mathbb{E}_1^3$ , Figure 1:



**Figure 1.** The curve  $\vec{\gamma}_m(t)$  for  $m = -6, -2, -\frac{10}{9}, 4, \frac{5}{4}, \frac{10}{9}$  respectively.

**Şekil 1.** Sırasıyla  $m = -6, -2, -\frac{10}{9}, 4, \frac{5}{4}, \frac{10}{9}$  değerleri için  $\vec{\gamma}_m(t)$  eğrisi

Here  $\|\gamma'_m\| = v = \frac{\sin(nt)}{\sqrt{m^2 - 1}}$ . From the expressions (11) and (12), the Frenet vectors are this curve are

$$\begin{cases} \vec{T}(t) = \left( \cos t \sin(nt) - n \sin t \cos(nt), -\sin t \sin(nt) - n \cos t \cos(nt), -\frac{n}{m} \cos(nt) \right) \text{ sl,} \\ \vec{N}(t) = \frac{n}{m} (\sin t, \cos t, m) \text{ tl,} \\ \vec{B}(t) = \left( -\cos t \cos(nt) - n \sin t \sin(nt), \sin t \cos(nt) - n \cos t \sin(nt), -\frac{n}{m} \sin(nt) \right) \text{ sl.} \end{cases} \quad (18)$$

Also the curvature is  $\kappa(t)=1$ , the torsion is  $\tau(t)=-\cot(nt)$ , the arc length is  $s=-\frac{\cos(nt)}{m}$  and the interval is  $\left[-\frac{\pi}{2n}, t\right]$  of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$ , (Ali, 2011).

**3. On The Pole Spherical Indicatrix Curves of the Spacelike Salkowski Curve with Timelike Principal Normal in Lorentzian 3-Space**

3. 3-boyutlu Lorentz uzayında timelike asli normalli spacelike Salkowski eğrisinin pol gösterge eğrisi üzerine

First of all, let's get the Darboux vector and unit pole vector in direction of the Darboux vector of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$  and make sense of the angle  $nt$ .

**Theorem 3.1.** The Darboux vector  $\vec{F}(t)$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$\vec{F}(t) = \left( -\frac{n^2}{m} \sin t, -\frac{n^2}{m} \cos t, -\frac{n^2}{m^2} \right). \quad (19)$$

**Proof.** If we take the derivative of the vector  $\vec{N}(t)$  in the expression (18) according to  $t$ , we get

$$\vec{N}'(t) = \left( \frac{n}{m} \cos t, -\frac{n}{m} \sin t, 0 \right). \quad (20)$$

From the expressions (2), (18) and (20), if we consider the equations  $\vec{F}(t) = \vec{N}(t) \wedge \vec{N}'(t)$ , we obtain the expression (19). On the other hand, let's compute the Darboux vector of  $\vec{\gamma}_m(t)$  with the expression (13). Here, if we use the vectors  $\vec{T}(t)$  and  $\vec{B}(t)$  from the expression (18), the functions  $\kappa(t)=1$ ,  $\tau(t)=-\cot(nt)$  and

$v = \frac{\sin(nt)}{\sqrt{m^2-1}}$ , we again get the expression (19).

**Corollary 3.2.** The unit pole vector  $\vec{C}(t)$  in the direction of the vector  $\vec{F}(t)$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$\vec{C}(t) = \left( -n \sin t, -n \cos t, -\frac{n}{m} \right). \quad (21)$$

**Proof.** If we use the equality  $\vec{C}(t) = \frac{\vec{F}(t)}{\|\vec{F}(t)\|}$ , from

the expression (19), we get the expression (21). Or let's show that expression (14) works. Let's find the real angle  $\varphi$  between of the spacelike vectors  $\vec{F}(t)$  and  $\vec{B}(t)$  of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$ , Figure 2. From the expressions (5), (18) and (19), we get

$$\langle \vec{F}(t), \vec{B}(t) \rangle = \|\vec{F}(t)\| \|\vec{B}(t)\| \cos \varphi = \frac{n}{m} \cos \varphi. \quad (22)$$

On the other hand, the Lorentzian inner product of  $\vec{F}(t)$  and  $\vec{B}(t)$  from the expression (1) is obtained as

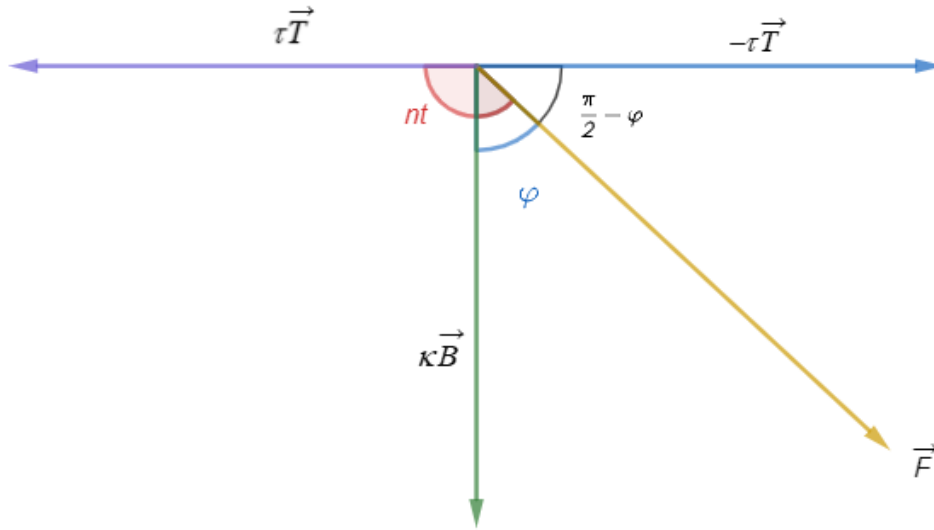
$$\langle \vec{F}(t), \vec{B}(t) \rangle = \frac{n}{m} \sin(nt). \quad (23)$$

Thus, from the equality of the expressions (22) and (23), we obtain

$$\sin(nt) = \cos \varphi. \quad (24)$$

Now, the real angle between of the spacelike vectors  $\vec{F}(t)$  and  $\vec{T}(t)$  in the expressions (5), (18) and (19) is as follows:

$$\begin{aligned} \langle \vec{F}(t), \vec{T}(t) \rangle &= \|\vec{F}(t)\| \|\vec{T}(t)\| \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right), \\ \langle \vec{F}(t), \vec{T}(t) \rangle &= \frac{n}{m} (-\sin \varphi). \end{aligned} \quad (25)$$



**Figure 2.** The Darboux vector of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$

**Şekil 2.**  $\vec{\gamma}_m(t)$  eğrisinin Darboux vektörü

On the other hand, from the inner product of  $\vec{F}(t)$  and  $\vec{T}(t)$ , we get

$$\langle \vec{F}(t), \vec{T}(t) \rangle = \frac{n}{m} \cos(nt). \tag{26}$$

Thus, from the equality of the expressions (25) and (26), we obtain

$$\cos(nt) = -\sin \varphi. \tag{27}$$

So, if we substitute the expressions (18), (24), and (27) in the expression (14), we get the expression (21) again.

**Corollary 3.3.** Let  $\varphi$  be the real angle between of the spacelike vectors  $\vec{F}(t)$  and  $\vec{B}(t)$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$ . There is following relationship between of the angles  $nt$  and  $\varphi$ ,

$$nt = \varphi + \frac{\pi}{2}. \tag{28}$$

**Proof.** If we square the expressions (24) and (27),

$$\begin{aligned} \cos(nt) + \sin \varphi &= 0 \\ \Rightarrow \cos^2(nt) + 2\cos(nt)\sin \varphi + \sin^2 \varphi &= 0, \\ \sin(nt) - \cos \varphi &= 0 \\ \Rightarrow \sin^2(nt) - 2\sin(nt)\cos \varphi + \cos^2 \varphi &= 0, \end{aligned}$$

then add them side by side we do the necessary operations, we get

$$\sin(nt - \varphi) = 1. \tag{29}$$

From the expression (29), we obtain the expression (28).

**Theorem 3.4.** The Frenet frame  $\{\vec{T}_C(t), \vec{N}_C(t), \vec{B}_C(t)\}$  of the spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows, respectively:

$$\begin{cases} \vec{T}_C(t) = (-\cos t, \sin t, 0) & \text{sl,} \\ \vec{N}_C(t) = (\sin t, \cos t, 0) & \text{sl,} \\ \vec{B}_C(t) = (0, 0, -1) & \text{tl.} \end{cases} \tag{30}$$

**Proof.** Let the parameter of the curve  $(\vec{C})$  be  $t_C$ . If we take the derivative of the vector  $\vec{C}(t)$  in the expression (21) according to the parameter  $t$ , we get

$$\vec{C}'(t) = (-n \cos t, n \sin t, 0). \tag{31}$$

Also, if we use the equation

$$\vec{T}_C(t) = \frac{d\vec{C}(t)}{dt_C} = \frac{d\vec{C}(t)}{dt} \frac{dt}{dt_C} = \vec{C}'(t) \frac{dt}{dt_C}. \tag{32}$$

From the expression (31) and since  $\|\vec{T}_C(t)\|=1$ , from the expression (21), we get

$$v_c = \frac{dt_c}{dt} = \|\vec{C}'(t)\| = n. \tag{33}$$

From the expressions (32) and (33), write  $\vec{T}_C(t) = \frac{\vec{C}'(t)}{\|\vec{C}'(t)\|}$ . Here, if we consider the expressions (31) and (33), we get the spacelike vector  $\vec{T}_C(t)$  in the expression (30). Also, if we take the first and second derivatives of the vector  $\vec{C}(t)$  in the expression (21) according to  $t$  and use the expression (2), we have

$$\begin{aligned} \vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t) &= (0, 0, -n^2), \\ \|\vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t)\| &= n^2. \end{aligned} \tag{34}$$

If we consider the equation  $\vec{B}_C(t) = \frac{\vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t)}{\|\vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t)\|}$ , we get the timelike vector  $\vec{B}_C(t)$  in the expression (30). Last, from the expression (6), if we use the equation  $\vec{N}_C(t) = -\vec{B}_C(t) \wedge \vec{T}_C(t)$ , we get the spacelike vector  $\vec{N}_C(t)$  in the expression (30). Thus, the proof is completed.

**Theorem 3.5.** The curvature and torsion of the spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  are as follows:

$$\kappa_c(t) = \frac{1}{n} \quad \text{and} \quad \tau_c(t) = 0. \tag{35}$$

$$\begin{aligned} \overline{D_{T_c} T_c}(t) &= \frac{\vec{T}_C'(t)}{v_c} = \left( \frac{\sin t}{n}, \frac{\cos t}{n}, 0 \right) \text{ sl}, \\ \overline{D_{T_c} N_c}(t) &= \frac{\vec{N}_C'(t)}{v_v} = \left( \frac{\cos t}{n}, -\frac{\sin t}{n}, 0 \right) \text{ sl}, \\ \overline{D_{T_c} B_c}(t) &= \frac{\vec{B}_C'(t)}{v_c} = (0, 0, 0) \text{ sl}. \end{aligned} \tag{36}$$

**Proof.** From the expression (7), we write

**Proof.** If we consider the equation  $\kappa_c(t) = \frac{\|\vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t)\|}{\|\vec{C}'(t)\|^3}$ , use the expressions (33)

and (34), we get the curvature  $\kappa_c(t)$  as the expression (35). And If we consider the equation

$$\tau_c(t) = \frac{\langle \vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t), \vec{C}'''(t) \rangle}{\|\vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t)\|^2}$$

and use the expression (34), we get the torsion  $\tau_c(t)$  in the expression (35), where

$$\vec{C}'''(t) = (n \cos t, -n \sin t, 0)$$

and

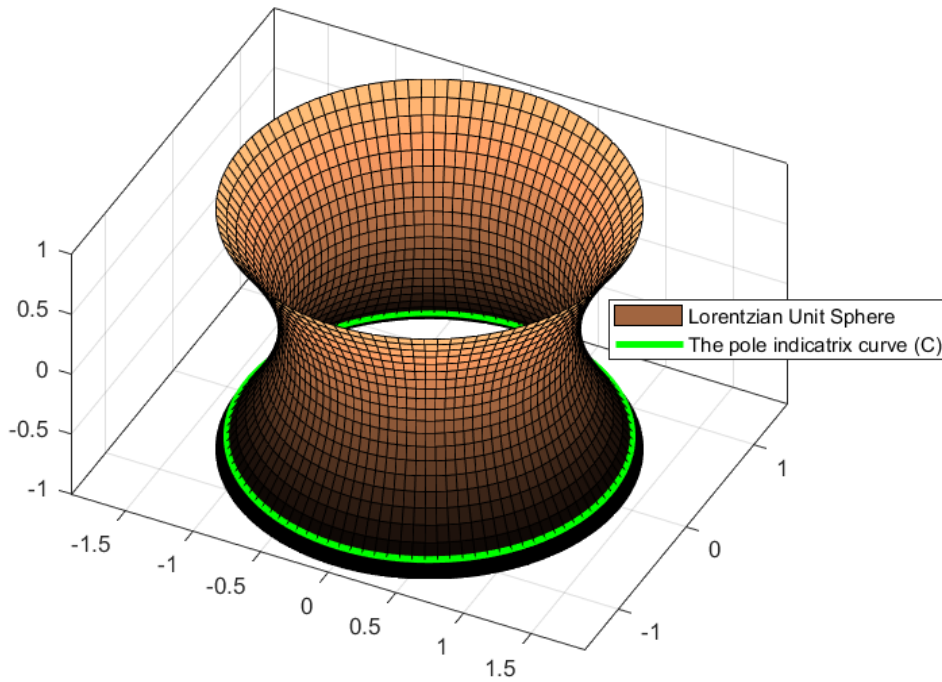
$$\langle \vec{C}'(t) \wedge \vec{C}''(t), \vec{C}'''(t) \rangle = 0.$$

So, the proof is completed.

**Corollary 3.6.** The spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is a planar circle of radius  $n$  on  $\mathbb{S}_1^2$ , Figure 3.

**Proof.** Since the torsion is  $\tau_c(t) = 0$ ,  $(\vec{C})$  is a planar circle on  $\mathbb{S}_1^2$  (on spacelike plane). Also the radius of this circle is  $R_c = \frac{1}{\kappa_c(t)} = n$ .

**Theorem 3.7.** The Frenet derivative formulas of the spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  are as follows:



**Figure 3.** The pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$  on  $\mathbb{S}_1^2$   
**Şekil 3.**  $\vec{\gamma}_m(t)$  eğrisinin  $\mathbb{S}_1^2$  üzerinde  $(\vec{C})$  pol gösterge eğrisi

$$\begin{bmatrix} \overline{D_{t_c} T_C}(t) \\ \overline{D_{t_c} N_C}(t) \\ \overline{D_{t_c} B_C}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa_C(t) & 0 \\ -\kappa_C(t) & 0 & \tau_C(t) \\ 0 & \tau_C(t) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{T_C}(t) \\ \overline{N_C}(t) \\ \overline{B_C}(t) \end{bmatrix}. \tag{37}$$

If we use the equation (37), from the expressions (30) and (35), we get the expression (36). On the other hand, we write

$$\overline{D_{t_c} T_C}(t) = \frac{d\overline{T_C}(t)}{dt_c} = \frac{d\overline{T_C}(t)}{dt} \frac{dt}{dt_c} = \frac{\overline{T_C}'(t)}{v_C}. \tag{38}$$

So, if we take the derivative of the vector  $\overline{T_C}(t)$  in the expression (30) according to the parameter  $t_c$  and consider the expression (33), we get the vector  $\overline{D_{t_c} T_C}(t)$  in the expression (36). Similar to the

$$\begin{bmatrix} \overline{D_{t_c} T_C}(t) & \overline{D_{t_c}^2 T_C}(t) & \overline{D_{t_c}^3 T_C}(t) \\ \overline{D_{t_c} N_C}(t) & \overline{D_{t_c}^2 N_C}(t) & \overline{D_{t_c}^3 N_C}(t) \\ \overline{D_{t_c} B_C}(t) & \overline{D_{t_c}^2 B_C}(t) & \overline{D_{t_c}^3 B_C}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_C \\ \mu_C \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{39}$$

where

$$\lambda_C(t) = \frac{1}{n^2} \quad \text{and} \quad \mu_C(t) = 0.$$

expression (38), we obtain the vectors  $\overline{D_{t_c} N_C}(t)$  and  $\overline{D_{t_c} B_C}(t)$ . Thus, the proof is completed.

**Theorem 3.8.** There are the following differential equations for the Frenet vectors of the spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$ .

**Proof.** If we take the first, second and third derivatives of the vector  $\overline{T_C}(t)$  in the expression (30) according to the parameter  $t_c$ :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{D_{\tau_c} T_c}(t) &= \left( \frac{\sin t}{n}, \frac{\cos t}{n}, 0 \right), \\ \overrightarrow{D_{\tau_c}^2 T_c}(t) &= \left( \frac{\cos t}{n^2}, -\frac{\sin t}{n^2}, 0 \right), \\ \overrightarrow{D_{\tau_c}^3 T_c}(t) &= \left( -\frac{\sin t}{n^3}, -\frac{\cos t}{n^3}, 0 \right). \end{aligned}$$

If we substitute these vectors in the expression (39) and solve this differential equation, we get the values of  $\lambda_c(t)$  and  $\mu_c(t)$ . Similar operations are also obtained the vector  $\overrightarrow{D_{\tau_c} N_c}(t)$  and  $\overrightarrow{D_{\tau_c} B_c}(t)$ . So the proof is completed.

**Theorem 3.9.** The Darboux vector  $\overrightarrow{F_c}(t)$  belong to the Frenet frame of the spacelike pole indicatrix curve  $(\overline{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\overrightarrow{\gamma_m}(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$\overrightarrow{F_c}(t) = (0, 0, 1) \quad tl. \tag{40}$$

**Proof.** From the expressions (2), (30) and (36), we get

$$\overrightarrow{F_c}(t) = -\overrightarrow{N_c}(t) \wedge \overrightarrow{N_c}'(t) = (0, 0, 1).$$

Or from the expressions (8), (30), (33) and (35), we get again

$$\overrightarrow{F_c}(t) = \nu_c(t) (\tau_c(t) \overrightarrow{T_c}(t) - \kappa_c(t) \overrightarrow{B_c}(t)) = (0, 0, 1)$$

**Theorem 3.10.** The hyperbolic angle  $\varphi_c$  between of the unit spacelike vectors  $\overrightarrow{T_c}(t)$  and timelike vectors  $\overrightarrow{F_c}(t)$  of the spacelike pole indicatrix curve  $(\overline{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$\varphi_c = 0. \tag{41}$$

**Proof.** Since  $\overrightarrow{T_c}(t)$  is spacelike vector and  $\overrightarrow{F_c}(t)$  is timelike vector, from the expressions (4), (30) and (40), we have

$$\left| \langle \overrightarrow{F_c}(t), \overrightarrow{T_c}(t) \rangle \right| = \left\| \overrightarrow{F_c}(t) \right\| \left\| \overrightarrow{T_c}(t) \right\| \sinh \varphi_c = \sinh \varphi_c \tag{42}$$

On the other hand, from the Lorentzian inner product of  $\overrightarrow{T_c}(t)$  and  $\overrightarrow{F_c}(t)$  in the expressions (30) and (40), we get

$$\langle \overrightarrow{F_c}(t), \overrightarrow{T_c}(t) \rangle = 0. \tag{43}$$

From the equality of the expressions (42) and (43), we get

$$\sinh \varphi_c = 0. \tag{44}$$

Similarly, since the timelike vector  $\overrightarrow{B_c}(t)$  is past pointing and the timelike vector  $\overrightarrow{F_c}(t)$  is future pointing, Figure 4, from the inner product formula and the expressions (3), (30) and (40), we get

$$\langle \overrightarrow{F_c}(t), \overrightarrow{B_c}(t) \rangle = \cosh \varphi_c = 1. \tag{45}$$

From the expressions (44) and (45), we obtain the expression (41).

**Corollary 3.11.** The unit pole vector  $\overrightarrow{C_c}(t)$  in the direction of  $\overrightarrow{F_c}(t)$  of the spacelike pole indicatrix curve  $(\overline{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\overrightarrow{\gamma_m}(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$\overrightarrow{C_c}(t) = (0, 0, 1). \tag{46}$$

**Proof.** We can easily see the expression (46) by using the expression (40) in the equation

$$\overrightarrow{C_c}(t) = \frac{\overrightarrow{F_c}(t)}{\left\| \overrightarrow{F_c}(t) \right\|},$$

but we want to show that the

expression (10) works. For the curve  $(\overline{C})$ ,

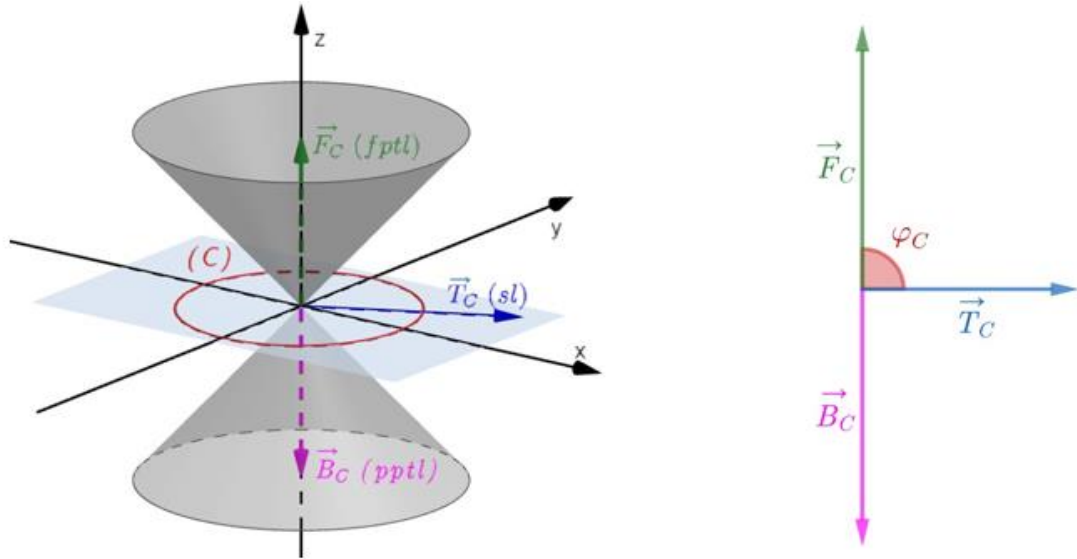
according to expression (10), we write

$$\overrightarrow{C_c}(t) = \sinh \varphi_c \overrightarrow{T_c}(t) - \cosh \varphi_c \overrightarrow{B_c}(t). \tag{47}$$

So, indeed, if we use the expressions (30), (44) and (45) into the expression (47), we get the expression (46).

**Theorem 3.12.** The arc length  $s_c$  of the spacelike pole indicatrix curve  $(\overline{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\overrightarrow{\gamma_m}(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  is as follows:

$$s_c = nt + \frac{\pi n}{2}. \tag{48}$$



**Figure 4.** The Darboux vector  $\vec{F}_C(t)$  of the pole indicatrix curve  $(C)$  of the curve  $\vec{\gamma}_m(t)$  on  $\mathbb{S}_1^2$   
**Şekil 4.**  $\vec{\gamma}_m(t)$  eğrisinin  $\mathbb{S}_1^2$  üzerinde  $(\vec{C})$  pol gösterge eğrisinin  $\vec{F}_C(t)$  Darboux vektörü

**Proof.** Since  $\vec{\gamma}_m(t)$  is in the interval  $\left[-\frac{\pi}{2n}, t\right]$ , from the expression (15), (32) and (33), the arc length of  $(\vec{C})$  is given as follows:

$$s_C = \int_{-\frac{\pi}{2n}}^t \left\| \frac{d\vec{C}(t)}{dt} \right\| dt = \int_{-\frac{\pi}{2n}}^t \|\vec{C}'(t)\| dt,$$

$$s_C = n \int_{-\frac{\pi}{2n}}^t dt = nt + \frac{\pi n}{2}.$$

From the expression (48), we get  $t = \frac{s_C}{n} - \frac{\pi}{2}$ .  
 Indeed, if this value is substituted into curve  $(\vec{C})$

in the expression (21),  $\left\| \frac{d\vec{C}}{ds_C} \right\| = 1$  is obtained.

**Theorem 3.13.** The geodesic curvatures  $k_C$  and  $\gamma_C$  with respect to  $\mathbb{E}_1^3$  and  $\mathbb{S}_1^2$  of the spacelike pole indicatrix curve  $(\vec{C})$  of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal  $\vec{\gamma}_m(t)$  in  $\mathbb{E}_1^3$  are as follows:

$$k_C(t) = \frac{1}{|n|} \quad \text{and} \quad \gamma_C = \frac{1}{|m|}. \quad (49)$$

**Proof.** From the expressions (16) and (36), the geodesic curvature  $k_C$  with respect to  $\mathbb{E}_1^3$  of the curve  $(\vec{C})$  is given as follows:

$$k_C(t) = \sqrt{\left| \left\langle \overline{D_{T_C} T_C}(t), \overline{D_{T_C} T_C}(t) \right\rangle \right|} = \frac{1}{|n|}.$$

Also, from the expression (17) and (36), we get  $\overline{D_{T_C} T_C}(t) = \overline{D_{T_C} T_C}(t) + \vec{C}(t)$ ,

$$\overline{D_{T_C} T_C}(t) = \left( \frac{(1-n^2)}{n} \sin t, \frac{(1-n^2)}{n} \cos t, -\frac{n}{m} \right). \quad (50)$$

So, from the expression (50), the geodesic curvature  $\gamma_C$  with respect to  $\mathbb{S}_1^2$  of  $(\vec{C})$  is obtained as follows:

$$\gamma_C = \sqrt{\left| \left\langle \overline{D_{T_C} T_C}(t), \overline{D_{T_C} T_C}(t) \right\rangle \right|} = \frac{1}{|m|}.$$

#### 4. Discussion and Conclusions

##### Tartışma ve Sonuçlar

In this study, we calculate some properties on the pole indicatrix curve of the spacelike Salkowski curve with the timelike principal normal in Lorentzian 3-space  $\mathbb{E}_1^3$ . Similar work can be done for the other indicatrix curves of the same curve or for other types of Salkowski curves. All the equations and graphs used and clearly expressed in this study will be useful for new studies on curves and surfaces in Lorentzian 3-space.

**Acknowledgement***Teşekkür*

We would like to express our sincere thanks and respect to the referees and the journal editors for their careful reading and valuable contributions.

**Author contribution***Yazar katkısı*

All authors contributed equally to this work. They all read and approved the last version of the manuscript.

**Etik beyanı***Declaration of ethical code*

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

**Conflicts of interest***Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that they have no conflict of interest.

**References***Kaynaklar*

- Akutagava, K., & Nishikawa, S. (1990). The Gauss map and space-like surfaces with prescribed mean curvature in Minkowski 3-space. *Tohoku Mathematical Journal, Second Series* 42(1), 67–82.
- Ali, A. T. (2011). Spacelike Salkowski and anti-Salkowski curves with timelike principal normal in Minkowski 3-space. *Mathematica Aeterna*, 1(4), 201–210.
- Ali, A. T. (2012). Position vectors of slant helices in Euclidean 3-space, *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 20(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.joems.2011.12.005>
- Alluhaibi, N., & Abdel-Baky, R. A. (2022). Kinematic geometry of timelike ruled surfaces in Minkowski 3-space  $E_1^3$ , *Symmetry*, 14(4), 749. <https://doi.org/10.3390/sym14040749>
- Beem, J. K., Paul, E. E., & Kevin, L. E. (2017). *Global Lorentzian geometry*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203753125>
- Birman, G. S., & Nomizu, K. (1984). Trigonometry in Lorentzian geometry. *The American Mathematical Monthly*, 91(9), 534–549. <https://doi.org/10.1080/00029890.1984.11971490>
- Bulut, F., & Bektaş, M. (2020). Special helices on equiform differential geometry of spacelike curves in Minkowski space-time. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 69(2), 1045–1056. <https://doi.org/10.31801/cfsuasmas.686311>
- Bükcü, B., & Karacan, M. K. (2007). On the involute and evolute curves of the spacelike curve with a spacelike binormal in Minkowski 3-space. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 2(5), 221–232.
- Gür, S., & Şenyurt, S. (2010). Frenet vectors and geodesic curvatures of spheric indicators of Salkowski curve in  $E_1^3$ , *Hadronic Journal*, 33(5), 485–512.
- Gür, S., & Şenyurt, S. (2013). Spacelike–timelike involute–evolute curve couple on dual Lorentzian space. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 3(4), 1054–1075.
- Gür Mazlum, S., Şenyurt, S. & Bektaş, M. (2022). Salkowski curves and their modified orthogonal frames in  $E^3$ , *Journal of New Theory*, 40, 12–26.
- Hacısalıhoğlu, H. H. (1983). *Differential geometry*. İnönü University, Publication of Faculty of Sciences and Arts: Malatya, Türkiye.
- Izumiya, S., & Tkeuchi, N. (2004). New special curves and developable surfaces, *Turkish Journal of Mathematics*, 28(2), 153–163.
- Kılıçoğlu, Ş, Hacısalıhoğlu, H. (2008). On the b-scrolls with time-like generating vector in 3-dimensional Minkowski space  $E_1^3$ . *Beykent University Journal of Science and Technology*, 3(2), 55–67.
- Külahcı, M., Bektaş, M., & Ergüt, M. (2009). On harmonic curvatures of a Frenet curve in Lorentzian space. *Chaos, Solitons and Fractals*, 41(4), 1668–1675. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2008.07.013>
- Li, Y., Wang, Z., & Zhao, T. (2020). Slant helix of order n and sequence of Darboux developables of principal-directional curves. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 43(17), 9888–9903. <https://doi.org/10.1002/mma.6663>
- Li, Y., Pei, D., Takahashi, M., & Yu, H. (2018). Envelopes of Legendre curves in the unit spherical bundle over the unit sphere. *The Quarterly Journal of Mathematics*, 69(2), 631–653. <https://doi.org/10.1093/qmath/hax056>



- Li, Y., & Pei, D. (2016). Evolutes of dual spherical curves for ruled surfaces. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 39(11), 3005-3015. <https://doi.org/10.1002/mma.3748>
- Li, Y., Gür Mazlum, S., & Şenyurt, S. (2022). The Darboux trihedrons of timelike surfaces in the Lorentzian 3-space. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, <https://doi.org/10.1142/S0219887823500305>
- Lopez, R. (2014). Differential geometry of curves and surfaces in Lorentz-Minkowski space. *International Electronic Journal of Geometry*, 7(1), 44–107.
- Monterde, J. (2009). Salkowski curves revisited: A family of curves with constant curvature and non-constant torsion. *Computer Aided Geometric Design*, 26(3), 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2008.10.002>
- O'Neill, B. (1983). *Semi-Riemannian geometry with applications to relativity*. Academic Press: London, England.
- Önder, M., & Uğurlu, H. H. (2013). Frenet frames and invariants of timelike ruled surfaces. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(3), 507-513. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2012.10.003>
- Özdemir, M. (2020). *Diferansiyel geometri*, Altın Nokta Printing and Distribution, İzmir, Türkiye.
- Ratcliffe, J. G. (1994). *Foundations of hyperbolic manifolds*. Springer-Verlag: Tokyo, Japanese.
- Salkowski, E. (1909) Zur transformation von raumkurven. *Mathematische Annalen*, 66(4), 517–557.
- Şenatalar, M. (1978). *Differential geometry (curves and surfaces theory)*, Istanbul State Engineering and Architecture Academy Publications: Istanbul, Türkiye.
- Şenyurt, S., & Gür, S. (2017). Spacelike surface geometry. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 14(09), 689–700. <https://doi.org/10.1142/S0219887817501183>
- Şenyurt, S., & Gür, S. (2012). Timelike–spacelike involute–evolute curve couple on dual Lorentzian space, *Journal of Mathematical and Computational Science*, 2(6), 1808–1823.
- Şenyurt, S., Gür, S., & Özyılmaz, E. (2015). The Frenet vectors and the geodesic curvatures of spherical indicatrix of the timelike Salkowski curve in Minkowski 3-space. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 7(4), 20–42.
- Şenyurt, S., & Uzun, M. (2020). Salkowski eğrisinin birim Darboux vektörünün Sabban çatısından elde edilen Smarandache eğrileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1966–1974. <https://doi.org/10.21597/jist.703495>
- Şenyurt, S., & Kemal, E. (2020). Smarandache curves of spacelike anti-Salkowski curve with a spacelike principal normal according to Frenet frame. *Gümüşhane University, Journal of Science and Technology*, 10, 251–260. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.621363>
- Şenyurt, S., & Öztürk, B. (2018). Smarandache curves of Salkowski curve according to Frenet frame. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 10, 190–201.
- Struik, D. J. (1961). *Lectures on classical differential geometry*. Courier Corporation.
- Uğurlu, H. H. (1997). On the geometry of time-like surfaces, *Communications, Faculty of Sciences, University of Ankara, A1 Series*, 46, 211–223.
- Uğurlu, H. H., & Çalışkan, A. (2012). *Darboux ani dönme vektörleri ile spacelike ve timelike yüzeyler geometrisi*. Celal Bayar University Press: Manisa, Türkiye.
- Uğurlu, H. H., & Topal, A. (1996). Relation between Darboux instantaneous rotation vectors of curves on time-like surface. *Mathematical and Computational Applications*, 1(2), 149–157. <https://doi.org/10.3390/mca1020149>
- Uğurlu, H. H., & Kocayığıt, H. (1996). The Frenet and Darboux instantaneous rotation vectors of curves on time-like surface. *Mathematical and Computational Applications*, 1(2), 133–141.
- Walrave, J. (1995). *Curves and surfaces in Minkowski space*, [Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium.]
- Woestijne, I. V. (1990). *Minimal surfaces of the 3-dimensional Minkowski space*, *Geometry and Topology of Submanifolds: II*, Word Scientific, Singapore, 344–369. <https://doi.org/10.1142/9789814540339>
- Yüksel, N., Saltık, B., & Damar, E. (2014). Parallel curves in Minkowski 3-space. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 12(2), 480-486. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.855265>
- Yüksel, N., Vanlı, A. T., & Damar, E. (2015). A new approach for geometric properties of DNA structure in  $E^3$ , *Life Science Journal*, 12(2), 71-79.

## Antimicrobial effect of commercial play dough, safety or not?

*Ticari oyun hamurlarının antimikrobiyal etkisi, güvenli mi değil mi?*

Gözde KOŞARSOY AĞÇELİ\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Biology, 06800 Beytepe Campus, Ankara, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 16.08.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.10.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 07.10.2022

### Abstract

Toys have been used increasingly as an aid in the treatment of hospitalized children since the 1950s due to their positive effect on child psychology. Play dough plays a role in children's reflection of their imagination and development of hand skills. In addition to the educational properties of play dough, its chemical and biological safety is also critical. This work investigated the antimicrobial effects of 40 different commercially available play doughs on various pathogenic microorganisms. According to the obtained results 52.5% of play dough samples showed antimicrobial activity against *Bacillus licheniformis*, 20% of play dough samples showed antimicrobial activity against *Escherichia coli*, 20% of play dough samples showed antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa*, 12.5% of play dough samples showed antimicrobial activity against *Candida albicans* and 7.5% play dough samples showed antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* (MRSA). In the era of the spread of COVID-19, when antimicrobial toys for reducing microbial load were evaluated, the antimicrobial activity of play dough was reported for the first time in this study.

**Keywords:** Antibacterial, Antifungal, Child, Play dough, Toy

### Öz

Oyuncaklar, çocuk psikolojisi üzerindeki olumlu etkileri sayesinde 1950'li yıllardan itibaren hastanede yatan çocukların tedavisinde yardımcı olarak gün be gün artan bir şekilde kullanılmaktadır. Oyun hamuru çocukların hayal güçlerini yansıtma ve el becerilerinin gelişmesinde rol oynar. Oyun hamurunun eğitici özelliklerinin yanı sıra kimyasal ve biyolojik güvenliği de oldukça önemlidir. Bu çalışma oyun hamurundaki tehlikeye dikkat çekmek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, piyasada bulunan 40 farklı oyun hamurunun çeşitli patojenik mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre oyun hamuru örneklerinin %52,5'i *Bacillus licheniformis*'e karşı, %20'si *Escherichia coli*'ye karşı, %20'si *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı antimikrobiyal aktivite gösterirken, oyun hamuru örneklerinin %12,5'i *Candida albicans*'a karşı %7,5'i *Staphylococcus aureus*'a (MRSA) karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. COVID-19'un yayıldığı bu çağda mikrobiyal yükü azaltmaya yönelik antimikrobiyal oyuncakların değerlendirildiği bu çalışma ile oyun hamurunun antimikrobiyal aktivitesi ilk kez rapor edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Antibakteriyel, Antifungal, Çocuk, Oyun hamuru, Oyuncak

\*a Gözde KOŞARSOY AĞÇELİ; gozdekosarsoy@hacettepe.edu.tr, Tel: (0312) 297 80 24, orcid.org/0000-0001-8318-8990

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Comments that teddy bears, which have become children's favorite, could be a source of microorganisms, started in the 1970s. With the increasing number of hospital infections, it is reported that toys in the hands of children can also be a source of infection in studies aimed at detecting infection sources and minimizing infection rates (Davies et al., 2000; Hughes et al., 1986; Prüss-Üstün & Corvalán, 2006; Randle & Fleming, 2006). Play dough is both a game and an educational tool for children. It is an old toy preferred because it is cheap, flexible and simple to use (Girolametto et al., 2000). Play dough not only improves small muscle development, but also improves children's creativity, and also supports children's cognitive and emotional development. In this way, children can relax and express themselves more easily when they play with play dough (Susanti & Trianingsih, 2017).

The safety of toys in terms of health is very important. Children play together on non-sterile floors and cause different pathogens to be transmitted to their hands and mouths via their hands (Ibfelet et al., 2015; Martínez-Bastidas et al., 2014; Rogers et al., 2000; Torondel et al., 2015). Sharing toys among hospitalized children increases the risk of cross-contamination of microorganisms. Toy contamination by germs from normal and possibly pathogenic microbiota has been established by several authors (Aleksejeva et al., 2021; Lee et al., 2007). When surfaces are not adequately cleaned and sterilized, some germs may survive for hours, even weeks, and toys can act as a disease reservoir (Mahl & Sadler, 1975). In a study, it was reported that pediatric hospital toys were contaminated with *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Enterococcus spp.* and *Bacillus spp.*, and these contaminated toys caused nosocomial infections in children (Ledwaba et al., 2019). In the study of Bandyopadhyay et al. (2019) microorganisms were isolated from children's clothes and toys. According to this report, isolated microorganisms were defined as *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* and *Escherichia coli* (Bandyopadhyay et al., 2019). Play dough must be both nontoxic and microbially safe. Erbas et al. (2017) reported that varied concentrations of heavy metal content of play doughs. In another study by Dülger et al. (2017) the bacteriological safety of commercially sold play dough was evaluated. According to the results of this study, two (20%) out of ten companies were found to have no

growth, while growth was found in all cultures of the two companies included in the study (Dülger et al., 2017).

In studies conducted in Turkey and around the world, the microbial load in toys in playgrounds (swimming pools, playgrounds, etc.) and toys used in other different areas have been included in the studies (Ayan et al., 2018; Chedid et al., 2020; Dülger et al., 2017). However, the antimicrobial effect of toys on microorganisms was not mentioned. Also, according to our literature knowledge, this is the first research to study the antimicrobial potential in play dough samples that children use.

## 2. Material and Method

### 2. Gereç ve Yöntem

#### 2.1. Material

##### 2.1. Gereç

A total of 40 play dough belonging to 6 different brands available in the market and sold commercially were provided for antimicrobial experiments. Brands are symbolized by the letters B, A, R, I, S, G. There are play doughs in different colors in the study. The letters symbolized next to the brands show the color of the play dough. The abbreviations of the colors are as follows: Y=Yellow, O=Orange, W=White, R=Red, B=Blue, G=Green, P=Pink, PU=Purple, GRY=Grey, BLC=Black, BR=Brown, LG=Light Green.

Bacterial and fungal cultures were obtained from Hacettepe University, Biotechnology Department (Ankara, Turkey). All of the chemicals used in the study were obtained from Sigma-Aldrich (Merck).

#### 2.2. Method

##### 2.2. Yöntem

Mueller–Hinton agar and Sabouraud Dextrose Agar (Merck) media were used to determine the antimicrobial effect in the study. Play dough was cut into antibiotic disc size (6 mm) under sterile conditions. As bacteria, *Bacillus licheniformis*, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 35218, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and as yeast *Candida albicans* ATCC 10231 strains were used to determine the antimicrobial effect. After the microorganisms spread on the agar, the play dough cut with a diameter of 6 mm was placed separately on media such as antibiotic discs, and bacterial cultures were allowed to grow at 37°C and yeast

cultures at 30°C. Zone diameters were measured in mm. All experiments were performed in 3 repetitions. The averages of these repetitions were used in the calculation. Results were tabulated as mean  $\pm$  standard deviation (SD).

Control groups were measured as Gentamicin (10  $\mu$ g) (13.2 mm  $\pm$ 0.07) for *P. aeruginosa* ATCC 27853, Bacitracin (10 units) (10.6 mm  $\pm$ 0.07) for *E. coli* ATCC 35218, Amphotericin B (21.09 mm  $\pm$ 0.07) for *C. albicans* ATCC 1023 (Koşarsoy Ağçeli, 2022), Ceftriaxone (30  $\mu$ g) (8.6  $\pm$ 0.08) for MRSA (*S. aureus* ATCC 43300), Ampicillin (AMP, 10  $\mu$ g/disc) (19  $\pm$ 0.07) for *B. licheniformis*.

### 3. Results and discussion

#### 3. Bulgular ve tartışma

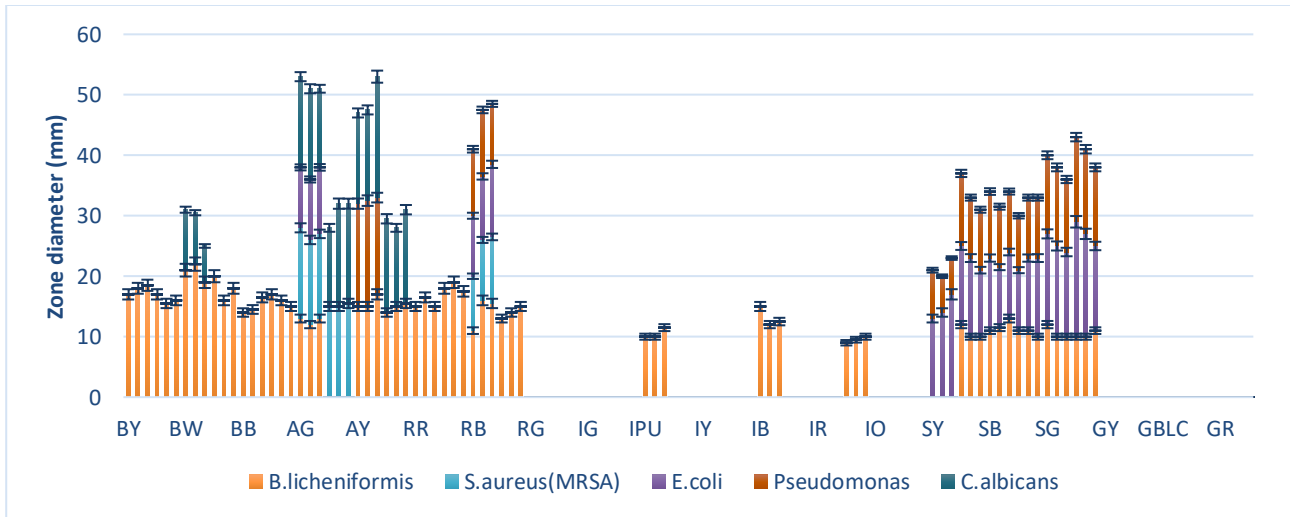
The antimicrobial effect of 40 play doughs of different colors belonging to different companies was measured on various pathogenic microorganisms (Table 1 and Figure 1). In commercial play dough, it was determined that some brands showed antimicrobial effects against many microorganisms used in the study, while in others, no antimicrobial effect was determined against any pathogen used in the study (Figure 2).

**Table 1.** Inhibition zone diameters of play dough on different pathogenic microorganisms (mm).  
**Tablo 1.** Oyun hamurlarının farklı patojen mikroorganizmalar üzerindeki zon çapları (mm).

	<i>B.licheniformis</i>	<i>S. aureus</i> ATCC 43300 (MRSA)	<i>E.coli</i> ATCC 35218	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>C.albicans</i> ATCC 10231
BY	17.80 $\pm$ 0.76	0	0	0	0
BO	16.10 $\pm$ 0.76	0	0	0	0
BW	20.67 $\pm$ 1.52	0	0	0	8.17 $\pm$ 2.02
BR	18 $\pm$ 2.00	0	0	0	0
BB	15 $\pm$ 1.32	0	0	0	0
BG	16 $\pm$ 1.00	0	0	0	0
AG	12.70 $\pm$ 0.58	14.30 $\pm$ 0.58	10.30 $\pm$ 0.58	0	14.30 $\pm$ 1.15
AB	0	15.20 $\pm$ 0.30	0	0	15.5 $\pm$ 2.18
AY	15.70 $\pm$ 1.15	0	0	16.83 $\pm$ 0.77	16.67 $\pm$ 2.90
AR	14.83 $\pm$ 0.80	0	0	0	14.67 $\pm$ 1.40
RR	15.50 $\pm$ 0.90	0	0	0	0
RO	18.17 $\pm$ 0.80	0	0	0	0
RB	14.17 $\pm$ 2.70	10.00 $\pm$ 1.00	10.83 $\pm$ 1.00	10.67 $\pm$ 0.60	0
RP	14.00 $\pm$ 1.00	0	0	0	0
RG	0	0	0	0	0
RY	0	0	0	0	0
IG	0	0	0	0	0
IGRY	0	0	0	0	0
IPU	10.50 $\pm$ 0.87	0	0	0	0
IBLC	0	0	0	0	0
IY	0	0	0	0	0
IBR	0	0	0	0	0
IB	13.20 $\pm$ 1.61	0	0	0	0
ILG	0	0	0	0	0
IR	0	0	0	0	0
IW	9.50 $\pm$ 0.50	0	0	0	0
IO	0	0	0	0	0
IP	0	0	0	0	0

**Table 1.** Continuing  
**Tablo 1.** Devamı

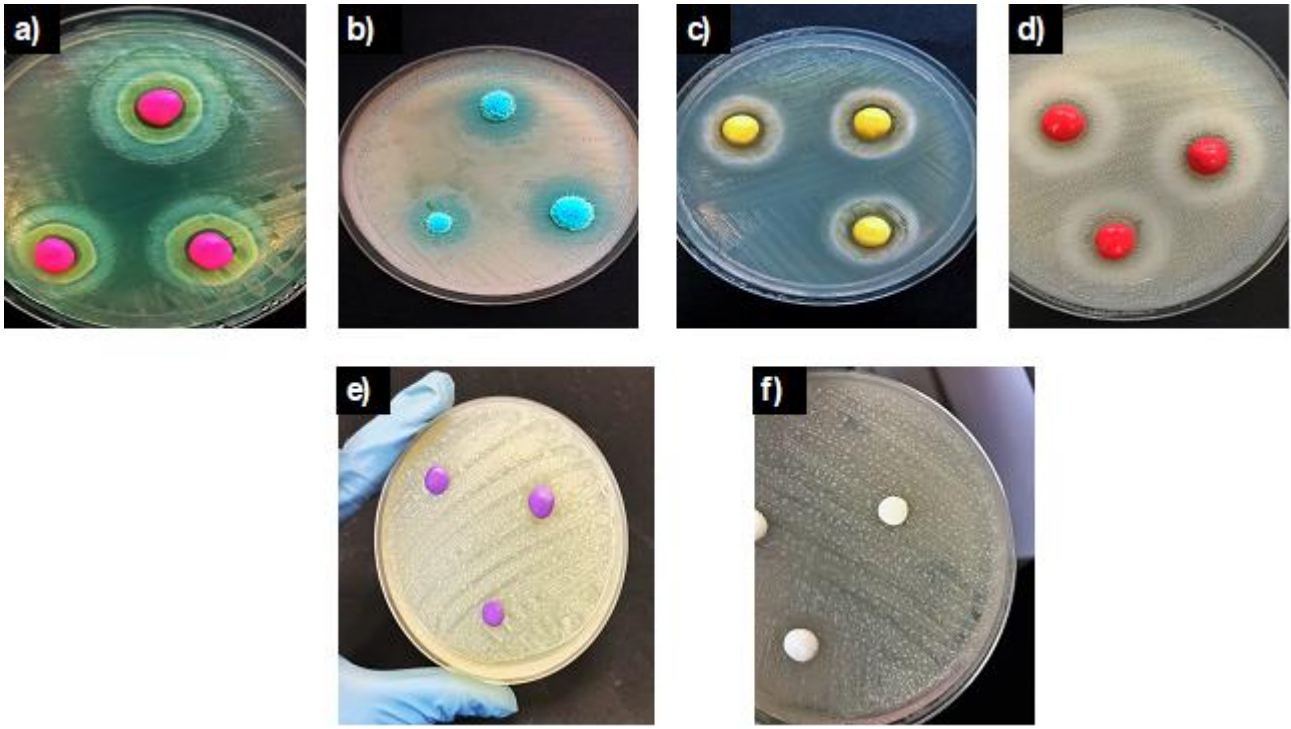
<b>SY</b>	0	0	14.67±2.10	6.70±1.10	0
<b>SR</b>	10.67±1.10	0	12.30±1.10	10.67±1.10	0
<b>SB</b>	11.80±1.00	0	11±1.00	10.30±0.60	0
<b>SPUR</b>	10.67±0.60	0	11.67±1.50	9.67±0.60	0
<b>SG</b>	10.67±1.10	0	14.67±0.60	12.67±0.60	0
<b>SP</b>	10.30±0.60	0	16.67±2.5	13.67±0.60	0
<b>GY</b>	0	0	0	0	0
<b>GW</b>	0	0	0	0	0
<b>GBLC</b>	0	0	0	0	0
<b>GG</b>	0	0	0	0	0
<b>GR</b>	0	0	0	0	0
<b>GB</b>	0	0	0	0	0

**Figure 1.** Graphical representation of antimicrobial zone diameters in play doughs.  
**Şekil 1.** Oyun hamurlarının antimikrobiyal çaplarının grafiksel gösterimi.

*B. licheniformis* is an endospore-forming Gram positive microorganism and it can be easily isolated from plant and soil samples. Although it is considered a nonpathogenic species due to its lack of invasive properties, toxin production, foodborne diarrhea, bovine abotus and infant mortality have been reported in different studies (Banerjee et al., 2007; Nieminen et al., 2007; Salkinoja-Salonen et al., 1999; Sayem et al., 2011; Vinoj et al., 2014). Dülger et al. (2017) reported that 51 (33%) *B. licheniformis* and 104 (67%) *B. cereus* of all *Bacillus* genus grown in play dough prepared in the pre-play period. Similarly, In the present study, 21

of 40 (52.5%) different play dough samples showed antimicrobial activity against *B. licheniformis*.

*S. aureus* is a leading cause of both community-associated and health care-associated invasive infections in children (Custovic et al., 2021). MRSA has long been a important problem in hospitals, dialysis centers and nursing homes where it infects the wounds of patients weakened by disease or injury (Wong et al., 2016). In this study, only 3 of 40 (7.5%) play dough samples showed antimicrobial activity against MRSA.



**Figure 2.** a) Antimicrobial effect of SP play dough sample on *P. aeruginosa*. b) Antimicrobial effect of AB play dough sample on MRSA. c) Antimicrobial effect of BY play dough sample on *B. licheniformis*. d) Antimicrobial effect of AR play dough sample on *C. albicans*. e) Play dough sample coded SPUR without antimicrobial effect on MRSA. f) Play dough sample coded IW without antimicrobial effect on *E. coli*.

**Şekil 2.** a) SP kodlu oyun hamuru örneğinin *P. aeruginosa* üzerindeki antimikrobiyal etkisi. b) AB kodlu oyun hamuru örneğinin MRSA üzerindeki antimikrobiyal etkisi. c) BY kodlu oyun hamuru örneğinin *B. licheniformis* üzerindeki antimikrobiyal etkisi. d) AR kodlu oyun hamuru örneğinin *C. albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkisi. e) MRSA üzerinde antimikrobiyal etkisi olmayan SPUR kodlu oyun hamuru örneği. f) *E. coli* üzerinde antimikrobiyal etkisi olmayan IW kodlu oyun hamuru örneği.

*E. coli* is a gram negative microorganism that is a member of the normal flora commonly found in the human intestine (Moreno et al., 2009). Some strains of *E. coli* are disease-causing due to contaminated food, contaminated water, contact with infected animals or lack of hygiene. *E. coli* infections can cause bloody diarrhea, leading to severe health problems (Ochoa & Contreras, 2011). In this study, 8 of 40 (20%) play dough samples showed antimicrobial activity against *E. coli*.

*P. aeruginosa* is a gram negative and non-fermenting microorganism. It is often resistant to antibiotics and causes severe nosocomial infections, especially in immunocompromised patients (Pilmis et al., 2020). Bath toys were identified as a likely source of multi-drug resistant *P. aeruginosa* cultures which are commonly linked with nosocomial infection in pediatric oncology departments (Buttery et al., 1998). In this study, 8 of 40 (20%) play dough samples showed antimicrobial activity against *P. aeruginosa*. It was observed that only one company was effective against *P. aeruginosa* in all play doughs.

*C. albicans* can be found in the normal flora of 50% of the population, especially in the gastrointestinal, oropharyngeal cavity and vagina (Talapko et al., 2021). However different factors (environmental, nutritional, etc.) cause disruptions in the normal homeostasis of *Candida*, causing a transition from normal flora to pathogenic and opportunistic infections (Mukaremera et al., 2017). *C. albicans* is responsible for about 70% of fungal infections worldwide and the most common causative agent of mucosal infections and systemic infection (Basmacıyan et al., 2019; Chen et al., 2020; Morad et al., 2018). In this study, 5 of 40 (12.5%) play dough samples showed antimicrobial activity against *C. albicans*.

Results of the study it is observed that when compared with the control group antibiotics, AY and SP coded play doughs showed higher inhibition than Gentamicin (10 µg) antibiotic on *P. aeruginosa*. BW coded play dough showed higher antimicrobial effect than Ampicillin (AMP, 10 µg/disc) on *B. licheniformis*. The antimicrobial effect of play dough on MRSA is limited to only 3

in 40 samples. However, inhibition zones on MRSA of all AG, AB, RB coded play doughs with this antimicrobial effect are higher than Ceftriaxone (30 µg) antibiotic. All of the SY, SR, SB, SPUR, SG and SP coded play dough samples belonging to the S company and the other RB coded play dough sample had a higher zone inhibition diameter on *E. coli* than the zone inhibition diameter given by the Bacitracin (10 units) antibiotic. The antimicrobial effect of all play dough samples on *C. albicans* is lower than the control group Amphotericin B antibiotic.

Antimicrobial zone diameter was not detected in 17 of 40 play dough used in the study. In addition, the contents of commercially purchased play dough (salt, chemicals, dyes, etc.) may have affected the antimicrobial zones. When the colors of the play doughs were evaluated, the antimicrobial effect of play doughs of different brands with the same color varied. It is thought that this is due to different dyestuffs.

#### 4. Conclusions

##### 4. Sonuçlar

The place of toys in the world of children undoubtedly occupies a crucial place. Toys should not be seen as just an accessory. Toys not only educate children, but also psychologically heal them. Considering the positive effects that children who receive treatment in hospitals have gained with toys, it makes it inevitable for toys to be microbially safe. Studies show that the microbial load in toys cannot be ignored. Play dough is one of the most simple but effective toys that reflect the imagination of children. Today, play dough is an indispensable educational material especially for preschool children. The importance of hygiene is indisputable for these young children whose immune system is not fully established yet. Play dough is a play material that can be played alone as well as shared with groups of friends. Playing and sharing toys by healthy and sick children may cause microorganisms to be transmitted by hand and mouth. It is necessary to be more careful about using play dough, which allows the reproduction of microorganisms that can cause many different health problems. It is very risky for sick children to play with the same play dough as healthy children. The presence of the phrase "edible" in many play doughs can be effective in the transmission of diseases with non-antimicrobial play dough. These can be made safer by adding natural antimicrobial substances to play dough. Reducing the microbial load of toys naturally and keeping pathogenic microorganisms under control is very important for

children's immune systems. In the era of the spread of COVID-19, studies on the antimicrobial activity of different toys on microorganisms are expected to intensify. This study draws attention to the fact that more studies should be done on the antimicrobial activities of play dough, which is a "shareable" toy.

#### Author contribution

##### Yazar katkısı

Gözde Koşarsoy Ağçeli: Conceptualization, methodology, software, validation, investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation, review & editing.

#### Conflicts of interest

##### Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### References

##### Kaynaklar

- Aleksejeva, V., Dovbenko, A., Kroiča, J. & Skadiņš, I. (2021). Toys in the playrooms of children's hospitals: A potential source of nosocomial bacterial infections? *Children*. <https://doi.org/10.3390/children8100914>
- Ayan, S., Galhan, M., Kaygusuz, S. & Ergene, A. (2018). Microbial characterization of sport facilities and children's playgrounds in Kirikkale Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*.
- Bandyopadhyay, R., Ghosh, S., Chatterjee, S. & Shyamapada, M. (2019). Bacteriological profiling of toys and clothes of children from children's day care centre of Tarakeswar, Hooghly West Bengal, India. *Microbiological Communication*, 12(1): 99-
- Banerjee, S., Devaraja, T. N., Shariff, M. & Yusoff, F. M. (2007). Comparison of four antibiotics with indigenous marine *Bacillus spp.* in controlling pathogenic bacteria from shrimp and Artemia. *Journal of Fish Diseases*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2007.00819.x>
- Basmacıyan, L., Bon, F., Paradis, T., Lapaquette, P. & Dalle, F. (2019). "Candida albicans interactions with the host: crossing the intestinal epithelial barrier." In *Tissue Barriers*. <https://doi.org/10.1080/21688370.2019.1612661>
- Buttery, J. P., Alabaster, S. J., Heine, R. G., Scott, S. M., Crutchfield, R. A. & Garland, S. M. (1998).

- Multiresistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreak in a pediatric oncology ward related to bath toys. *Pediatric Infectious Disease Journal*. <https://doi.org/10.1097/00006454-199806000-00015>
- Chedid, K., Hayashi, M., DeJonge, P., Yancey, O., Siebert, E., Getz, A., Eisenberg, J., Hashikawa, A. & Martin, E. (2020). Antimicrobial bacteria and viruses detected through systematic sampling in the childcare environment. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.1134>
- Chen, H., Zhou, X., Ren, B. & Cheng, L. (2020). The regulation of hyphae growth in *Candida albicans*. In *Virulence*. <https://doi.org/10.1080/21505594.2020.1748930>
- Custovic, A., Smajlovic, J., Husaric, E., Jahic, R., Dzafic, F. & Ibrahimagic, O. (2021). Frequency and etiology of nosocomial infections in a pediatric intensive care unit. *International Medicine*. <https://doi.org/10.5455/im.49683>
- Davies, M. W., Mehr, S., Garland, S. T. & Morley, C. J. (2000). Bacterial colonization of toys in neonatal intensive care cots. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.106.2.e18>
- Dülger, G., Çaliskan, E., Kiliç, N. & Ankarali, H. (2017). Reability investigations of bacteriological aspects of play dough. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2016.34603>
- Erbas, Z., Karatepe, A. & Soylak, M. (2017). Heavy metal contents of play dough, face and finger paint samples sold in turkish markets. *Talanta*. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.04.025>
- Girolametto, L., Weitzman, E., Van Lieshout, R. & Duff, D. (2000). Directiveness in teachers' language input to toddlers and preschoolers in day care. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4305.1101>
- Hughes, W. T., Williams, B., Williams, B. & Pearson, T. (1986). The nosocomial colonization of T. Bear. *Infection Control*. <https://doi.org/10.1017/S0195941700065115>
- Ibfelt, T., Engelund, E. H., Schultz, A. C. & Andersen, L. P. (2015). Effect of cleaning and disinfection of toys on infectious diseases and micro-organisms in daycare nurseries. *Journal of Hospital Infection*. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.10.007>
- Koşarsoy Ağçeli, G. (2022). A new approach to nanocomposite carbohydrate polymer films: Levam and chia seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 218(June), 751–759. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.157>
- Ledwaba, S. E., Becker, P., Traore-Hoffman, A. & Potgieter, N. (2019). Bacterial contamination of children's toys in rural day care centres and households in South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162900>
- Lee, L., Tin, S. & Kelley, S. T. (2007). Culture-independent analysis of bacterial diversity in a child-care facility. *BMC Microbiology*. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-7-27>
- Mahl, M. C. & Sadler, C. (1975). Virus survival on inanimate surfaces. *Canadian Journal of Microbiology*. <https://doi.org/10.1139/m75-121>
- Martínez-Bastidas, T., Castro-del Campo, N., Mena, K. D., Castro-del Campo, N., León-Félix, J., Gerba, C. P. & Chaidez, C. (2014). Detection of pathogenic micro-organisms on children's hands and toys during play. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/jam.12473>
- Morad, H. O. J., Wild, A. M., Wiehr, S., Davies, G., Maurer, A., Pichler, B. J. & Thornton, C. R. (2018). pre-clinical imaging of invasive candidiasis using immunoPET/MR. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01996>
- Moreno, M. A., Furtner, F. & Rivara, F. P. (2009). *Escherichia coli* O157 and children. In *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2008.535>
- Mukaremera, L., Lee, K. K., Mora-Montes, H. M. & Gow, N. A. R. (2017). *Candida albicans* yeast, pseudohyphal, and hyphal morphogenesis differentially affects immune recognition. *Frontiers in Immunology*. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00629>
- Nieminen, T., Rintaluoma, N., Andersson, M., Taimisto, A. M., Ali-Vehmas, T., Seppälä, A., Priha, O. & Salkinoja-Salonen, M. (2007). Toxinogenic *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* from mastitic milk. *Veterinary Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.05.015>
- Ochoa, T. J. & Contreras, C. A. (2011). Enteropathogenic *Escherichia coli* infection in children. In *Current Opinion in Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e32834a8b8b>
- Pilmis, B., Alby-Laurent, F., Fasola, M. L., Seegers, V., Guery, R., Guet-Revillet, H., Postaire, M., Toubiana, J., Bille, E., Lortholary, O. & Zahar, J. R. (2020). *Pseudomonas aeruginosa*



- bloodstream infections in children: a 9-year retrospective study. *European Journal of Pediatrics*. <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03598-4>
- Prüss-Üstün, A. & Corvalán, C. (2006). Preventing disease through healthy environments. *World Health*.
- Randle, J. & Fleming, K. (2006). The risk of infection from toys in the intensive care setting. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain) : 1987)*. <https://doi.org/10.7748/ns2006.06.20.40.50.c4180>
- Rogers, M., Weinstock, D. M., Eagan, J., Kiehn, T., Armstrong, D. & Sepkowitz, K. A. (2000). Rotavirus outbreak on a pediatric ontology floor: Possible association with toys. *American Journal of Infection Control*. <https://doi.org/10.1067/mic.2000.109908>
- Salkinoja-Salonen, M. S., Vuorio, R., Andersson, M. A., Kämpfer, P., Andersson, M. C., Honkanen-Buzalski, T. & Scoging, A. C. (1999). Toxigenic strains of *Bacillus licheniformis* related to food poisoning. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.65.10.4637-4645.1999>
- Sayem, S. M. A., Manzo, E., Ciavatta, L., Tramice, A., Cordone, A., Zanfardino, A., De Felice, M. & Varcamonti, M. (2011). Anti-biofilm activity of an exopolysaccharide from a sponge-associated strain of *Bacillus licheniformis*. *Microbial Cell Factories*. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-74>
- Susanti, M. M. & Trianingsih, Y. (2017). Efektivitas terapi bermain play dough dan puzzle terhadap tingkat perkembangan motorik halus pada anak usia dini di paud dahlia godong. *The Shine Cahaya Dunia Ners Jurnal*.
- Talapko, J., Juzbašić, M., Matijević, T., Pustijanac, E., Bekić, S., Kotris, I. & Škrlec, I. (2021). *Candida albicans*-the virulence factors and clinical manifestations of infection. *Journal of Fungi*. <https://doi.org/10.3390/jof7020079>
- Torondel, B., Gyekye-Aboagye, Y., Routray, P., Boisson, S., Schimdt, W. & Clasen, T. (2015). Laboratory development and field testing of sentinel toys to assess environmental faecal exposure of young children in rural India. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trv023>
- Vinoj, G., Vaseeharan, B., Thomas, S., Spiers, A. J. & Shanthi, S. (2014). Quorum-Quenching activity of the AHL-Lactonase from *Bacillus licheniformis* DAHB1 inhibits vibrio biofilm formation in vitro and reduces shrimp intestinal colonisation and mortality. *Marine Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10126-014-9585-9>
- Wong, J. G., Chen, M. I., Win, M. K., Ng, P. Y. & Chow, A. (2016). Length of stay an important mediator of hospital-acquired methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Epidemiology and Infection*. <https://doi.org/10.1017/S0950268815002733>

# Çok katmanlı algılayıcı ağı, uzun-kısa süreli bellek ağı ve regresyon yöntemleri ile tarımsal kurutma tahmini

*Prediction of agricultural drying using multi-layer perceptron network, long short-term memory network and regression methods*

İlyas KACAR<sup>1,a</sup>, Cem KORKMAZ<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 01380, Adana

• Geliş tarihi / Received: 28.04.2022

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 17.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 09.10.2022

## Öz

Tarımın önemli bir parçası olan gübrenin üretiminde kullanılan işlemlerden biri de kurutma işlemidir. Uygun kurutma parametrelerinin belirlenebilmesi, hem ürün kalitesi hem de üretim verimliliği açısından önemlidir. Kurutma işlem parametrelerinin belirlenmesinde regresyon yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada regresyon yönteminin yanı sıra yapay sinir ağı, uzun-kısa süreli bellek gibi makine öğrenme teknikleri de incelenmiştir. Modeller için %5 azot, %10 fosfor karışımından oluşan ticari bir organomineral gübrenin 70°C, 75°C ve 80°C sıcaklıklarda kurutulması işleminden elde edilen veriler kullanılmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. Her bir modelin tahmin performansları sunulmuştur. Uygun kurutma parametrelerini yakalamak, ürünün kurutma verimi açısından önemlidir. İlave olarak, kurutma simülasyonlarında, başarılı sonuçlar elde edilmesinde, model seçimi önemli rol oynamaktadır. Netice olarak, yapay sinir ağı ile oluşturulan modelin tahmin performansının diğerlerine göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Regresyonlar, mevcut verinin modellenmesinde verimli iken, ileriye yönelik tahminlerde başarılı olamamaktadırlar. Ayrıca kurutma verisi içerisindeki tepe ve çukurları tahmin etmede de yetersiz kalmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Çok katmanlı algılayıcı ağı, Makine öğrenmesi, Organik gübre, Regresyon, Tarımsal kurutma, Uzun-kısa süreli bellek

## Abstract

One of the processes used in the production of fertilizers, which has become an important part of agriculture, is the drying process. Determination of proper drying parameters is important both in terms of product quality and production efficiency. Regression methods are used to determine the drying process parameters frequently. In this study, in addition to the regression method, machine learning techniques are also examined such as artificial neural network, long short-term memory method. The data obtained from the drying process of a commercial organomineral fertilizer consisting of a mixture of 5% nitrogen and 10% phosphorus at 70°C, 75°C, and 80°C were used for modelling. The simulation results obtained from the models of the methods and the data obtained from the experiments were compared. The predictions and performances of each model were presented. Determination the appropriate drying parameters is important for the drying efficiency of the product. In addition, model selection plays an important role in obtaining successful results in drying simulations. As a result, it has been observed that the prediction performance of the model created with the artificial neural network is more successful than the others. While regressions are efficient in modelling existing data, they are not successful in predicting. Moreover, it is not enough to predict the peak and pits in the drying data.

**Keywords:** Multi-layer perceptron network, Machine learning, Organic fertilizer, Regression, Agricultural drying, Long short-time memory

<sup>ab</sup> Cem Korkmaz; ckorkmaz@cu.edu.tr, Tel: (0530) 3289139, orcid.org/0000-0003-1062-4581

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-5887-8807

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Kurutma işlemi; ürünün içerisindeki nemin, zaman içerisinde uçurularak uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Sadece insan gıdası değil, aynı zamanda bitki besinlerinin kurutulmasında da aynı süreç takip edilmektedir. Gün geçtikçe yapay (kimyasal) gübrelerin toprağa verdiği zarar daha iyi anlaşılmış ve artık organomineral gübrelerin kullanımına başlanmıştır. Bu tür gübreler, toprakta bulunan elementlerin, bitki tarafından alınabilmesine engel olan kireci nötürleştirerek, besin emilimlerini artırmaktadırlar. Bununla birlikte, uygun kurutma parametrelerini elde etmek, ürünün verimliliği açısından çok önemlidir. İsbetli tahminler, bu alanda faaliyet gösteren firmalara hızlilik ve rekabet gücü katması açısından önemlidir. Bunun yanında simülasyonlarda başarılı sonuçlar elde etmek için uygun model seçimi önemlidir. Bir organomineral gübre üretim hattı; granülleme, kurutma, soğutma ve paketleme işlemlerinden oluşmaktadır. Aktif maddeler olarak azot, fosfor, potasyum ve leonardit organik maddelerinden oluşmaktadırlar. Kimyasal gübrelerle karşılaştırıldığında insan sağlığı için güvenlidir. Ancak birçok çeşidi olan organomineral gübrelerin, üretimi esnasında kullanılan kurutma işleminin, sahip olduğu karmaşık kuruma kinetiğinden dolayı, uygun kurutma parametrelerini yakalamak, deneme-yanılma metodu ile uzun zaman almakta, zaman-enerji ve para verimliliği açısından yetersiz kalmaktadır. Özellikle artan dünya nüfusunun beslenmesinin karşılanabilmesi için hem araştırmacılar hem de üreticiler kurutma konusunda çalışmalarına devam etmektedirler. Bu çalışmanın temel amacı ve önemi, gübre üretim endüstrisindeki kurutma işleminde, gübrenin kuruma davranışının isabetli tahmin edilebilmesinde aşılması gereken güçlüklerin belirlenmesidir.

Bu problemin çözümü için regresyon tekniği ile elde edilmiş olan hazır ampirik fonksiyonlar, uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Üstel, polinomsal ve logaritmik regresyon fonksiyonlarının, deneysel kurutma eğrilerini, iyi bir yaklaşımla temsil edebildiği görülmüştür (Polatoğlu & Beşe, 2017). Leblebi üretimi için karabiber tohumu yağının, nohut tanesi üzerine püskürtülerek kurutulması işleminde, logaritmik fonksiyonların, polinomlara göre daha isabetli regresyona yol açtığı belirtilmiştir (Mansuroğlu vd., 2020). Zeytin çekirdeklerinin kurutulmasında ise polinomsal fonksiyonlar kullanışlı olmuştur (Nakilcioğlu-Taş & Ötleş, 2021).

Hazır fonksiyonların kullanımı kolaylık sağlıyor olsa da, farklı ürün türlerinin kuruma davranışlarındaki farklılıkları, hatta aynı ürünün kurutulmasında bile, kurutma şartlarındaki olası değişimlerinden kaynaklanan farklılıkların kuruma davranışı tahminlerinde büyük sapmalar verdiği sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda da tek tek kurutma deneyi yapıp, deneysel veriye eğri uydurarak mevcut ilişkiyi tespit etmek, mantıklı bir başka seçenektir. Eğri uydurmak için regresyon tekniği kullanılmaktadır. Kurutmanın modellenmesinde de, regresyon yöntemi tercih edilmektedir. Ancak literatürde bütün kurutma işlemleri için optimum parametrelerin tespit edilmesinde kullanılan tek bir model henüz sunulmuş değildir. Ayrıca regresyonun, mevcut veri setini temsil etmede uygun olduğu görülmekle birlikte, aralık dışı, ileriye yönelik tahmin yeteneği konusunda, literatürde herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır.

Günümüzde hem mevcut veri modellenmesinde hem de ileriye yönelik tahminler konusunda, tıptan ziraata kadar pek çok alanda, makine öğrenme yöntemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Makine öğrenme yöntemlerinin de pek çok çeşidi vardır. Yapay sinir ağı (YSA) bu yöntemlerden biri olup, yüksek doğrulukta tahmin oluşturabilmektedir (Poonnoy vd., 2007). Besin kurutma konusunda da YSA kullanıldığı ve neticede pratik ve isabetli kurutma tahminleri elde edildiği rapor edilmiştir (Lertworasirikul & Tipsuwan, 2008). Yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütle olan çimin, kalorifik değerini tahmin etmede, literatürde yaygın olarak kullanılan on iki adet deneysel bağıntı ve YSA model sonuçları karşılaştırıldığında; YSA sonuçlarının, deneysel değerler ile daha iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir (Kılıç, 2021). YSA bir makine öğrenme türü olup sadece yazılımsal değil, aynı zamanda donanımsal olarak da pratik bir biçimde uygulanabilmektedir (Çavuşlu vd., 2012). Böylece YSA gibi metotların, mevcut endüstriyel süreçlere hızlıca uygulanabileceği anlaşılmaktadır. Ancak başarılı bir YSA elde edebilmek için öncelikle ağların yeterince eğitilebilmesi gerekmektedir. Fakat ağların eğitimi esnasında, 'aşırı öğrenme' olarak adlandırılan yanıltıcı bir başarı oluşabilmektedir. Aşırı öğrenme, modelin genelleştirme kabiliyetinin azalmasına yol açan bir ağ eğitim hatasıdır. Bu hataya yol açan etmenlerden biri, iterasyon sayısıdır. Gereğinden fazla iterasyon miktarı, aşırı öğrenmeye sebep olabilmektedir. Yeterli iterasyon sayısı, aşırı öğrenmeye engel olabilmektedir (Öğündür, 2019).

Uzun-kısa süreli bellek (LSTM) ise zaman serilerinin modellenmesinde kullanılan bir derin öğrenme yöntemidir. Kurutma süreci, ürünün bünyesindeki nemin zaman bağlı olarak uçurularak uzaklaştırılması işlemidir. LSTM ağları ile modellenebileceği mümkün görünmektedir. Biyolojik malzeme olan organik katı atığın (Perazzini vd., 2013), moringa olifera yapraklarının (Taraftar vd., 2021), soğan dilimlerinin (Kaveh vd., 2018), cocoyam dilimlerinin (Onu vd., 2022), fındık, fasulye ve nohut gibi zirai ürünlerin (Topuz, 2010), mercimek tohumlarının (Taheri vd., 2021) kurutulmasının modellenmesinde, destek vektör makineleri (SVM), YSA, yapay zekâ (AI), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), LSTM yöntemlerinin tahmin amaçlı olarak başarı ile kullanıldığı görülmüştür. Sıcaklık tahmininde YSA en iyi iken, nem tahmininde SVM model en iyi olmuştur (Taheri vd., 2021). ANFIS metodu ise YSA'ya göre daha yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir (Zadhossein vd., 2021). Nem oranı tahmininde YSA iyiyken, kuruma zamanının tahmininde ANFIS modeli daha iyi sonuçlar vermiştir (Amini vd., 2021a). Eğitim verisinin fazla olması ile eğitilen ağ başarısının artması, LSTM ağlarında daha belirgindir.

Mevcut çalışmalardan görüldüğü gibi; yaş gıdanın kurutulması konularında çok sayıda çalışma vardır. Bununla birlikte; kimyevi gübre kurtulması konusunda oldukça sınırlı sayıda çalışma mevcut iken, organomineral gübre kuruma kinetiğinin makine ve derin öğrenme yöntemleri ile belirlenmesine ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan literatür araştırması neticesinde; zirai ürünlerin ve yiyeceklerin kurutulmasında kurutma kinetiği, ürün kalitesi ve nem içeriği tahmininde, makine öğrenme yöntemlerinin başarılı olduğu görüldüğünden dolayı, bu yöntemlerin, gübre kurutulmasında da kullanım potansiyeline sahip olabileceği düşünülerek, incelenmesine karar verilmiştir. Bu çalışmada; çok katmanlı algılayıcı (MLP) türünde bir YSA, LSTM ağı, regresyon ve YSA esaslı regresyon yöntemlerinin, organomineral gübre kurutma tahminleri üzerindeki performansları araştırılmıştır. Yöntemlerin birbirlerine göre tahmin performansları karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

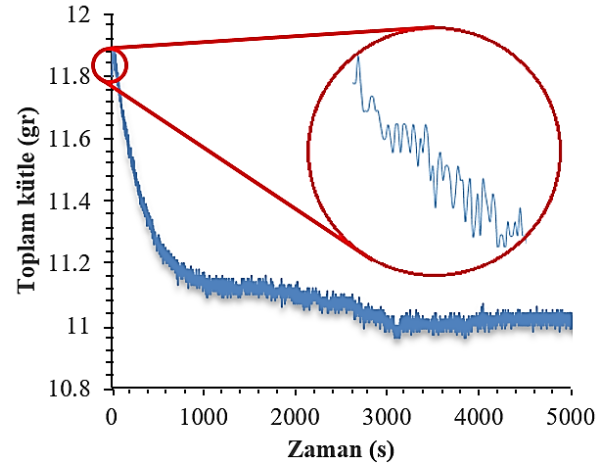
Çalışmada kullanılan MLP türündeki YSA, LSTM ağı, regresyon ve YSA ağı esaslı regresyon yöntemleri izah edilmeden önce, bu yöntemlerde

kullanılacak veri kümesini oluşturan kurutma işleminin esası da aşağıda izah edilmiştir.

## 2.1. Kuruma kinetiği

### 2.1. Drying kinetics

Kurutma işlemi, her ne kadar basitçe fırın içerisinde bekletmek olarak düşünülse de, arka planda esasen suyun buharlaşması, su buharının kuru hava içerisine difüzyonu, difüzyon katsayısının sıcaklığa ve hava hızına bağlılığı gibi pek çok etken mevcuttur. Bütün bu etkenler, kurutma kinetiği olarak adlandırılan yöntemler ile hesaplanmaktadır. İncelediğimiz organomineral gübrenin, 70°C'de kurutulması esnasındaki verilerden elde edilen ham kurutma eğrisi Şekil 1'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 1. Kurutma eğrisine bir örnek

Figure 1. An example of a drying curve

Bu çalışma kapsamında, sadece ürün kütlesinin zamanla azalmasından elde edilen ham veri eğrileri incelenmiştir. Eğri, genel olarak üstel bir şekle sahipmiş gibi görünse de, detaylı bakıldığında çok sık tepelik ve çukurluklar içermektedir. Kurutma olayının doğasında olan bu durumdan dolayı, genel eğri görünümüne ilaveten iniş-çıkışların da tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Deneylerdeki ham verilerden elde edilen bu iniş çıkışlı durumun, bu çalışmada kullanılacak makine öğrenme yöntemleri ile nasıl bir tahmin performansı sergileyebileceği de önemli bir konudur.

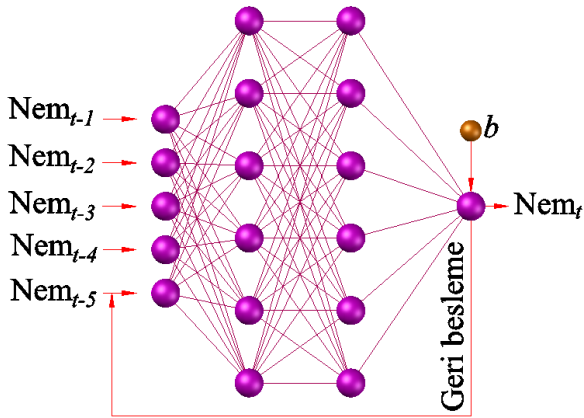
## 2.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı ile Modelleme

### 2.2. Modelling using Multilayer Perceptron Network

YSA modelleri, insan beynindeki sinir hücrelerine benzeyen yazılımsal modellerdir. Nöronları (düğümeleri) ve bunların birbirlerine bağlantıları ile biyolojik sinir ağlarına benzemektedirler. YSA'nın

esası; hücre(ler) → hücre(ler)den oluşan katman(lar) → katman(lar)dan oluşan bir ‘ağ’ kurarak, giriş → çıkış bağıntısı, yani model, oluşturmaktır. Bu ağ; bir sinyali, girişten çıkışa doğru, bir nörondan diğerine ağırlıklandırılmış bağlantılar üzerinden ileterek, çıkış oluşturmaktadır. Bu suretle de hesaplama yapabilmektedir. Sinyal, bağlantı ağırlığına (gücüne) bağlı olarak yükseltilebilmekte veya azaltılabilmektedir. Birden fazla katman içeren ağlarda, bir katmanın çıkışları, müteakip katmanın girişleri olmaktadır. Elde mevcut bulunan ve sadece giriş, çıkış değerlerini içeren veri setine, başarı ile uyabilecek bir model (ağ) üretmek amacıyla, ağdaki hücre sayısı, katman sayısı, bağlantı ağırlıkları vb. gibi ağ parametreleri değiştirilerek, en iyi çıkış tahminini sağlayan model kurulmaktadır.

YSA modelleri, denetimli ve denetimsiz ağlar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Denetimli ağlar, bağlantı ağırlıklarını ayarlamak için bir eğitim algoritması ve bir eğitim veri kümesi gerektirirken, denetimsiz ağlar ise herhangi bir eğitim algoritması kullanmadan gerekli sonuçları elde etmek üzere, ağırlıkları kendileri ayarlayabilmektedir. Denetimli ağlar çoğunlukla sınıflandırma, tahmin ve fonksiyon yaklaşımı için kullanılmaktadırlar.



**Şekil 2.** Nem tahmini için oluşturulan ileri beslemeli, iki katmanlı, lineer olmayan, kendini tekrarlayan, harici girişi olmayan ağ topolojisi  
**Figure 2.** A feed-forward, two-layer, nonlinear, without exogenous inputs, auto regressive network topology created for moisture prediction

Şekil 2’de nem tahmini için kurulan yapay ağın, topolojisi verilmiştir. Ağırlıklar; nöronlar arasında çizilen çizgiler ile sembolize edilmiştir. Ağ, ileri beslemeli bir yapıdadır. Mühendislik uygulamalarında en sık kullanılan ağ modeli, çok katmanlı algılayıcıdır. Hızlı ve güvenilir olması,

birçok öğrenme algoritmasının bu ağ eğitmek için kullanılabilir olması, bu modelin yaygın kullanılmasının sebebidir.

$Nem_{t-1}, Nem_{t-2}, Nem_{t-3}, Nem_{t-4}, Nem_{t-5}$  olarak adlandırılan nöronlar, giriş katmanını oluştururken,  $Nem_t$  ise çıkış katmanının nöronudur. Bu ikisinin ortası ise gizli katman(lar) olarak adlandırılmaktadır. Bu ağda, durum değişkenleri; nem ve zaman olup, harici girişler bulunmamaktadır. Bu ağ yapısına, lineer olmayan, kendini tekrarlayan (Nonlinear Auto-Regressive, NAR) ağ denmektedir (Lertworasirikul & Tipsuwan, 2008). Ağ mimarisi;  $f(Nem_{t-1}, Nem_{t-2}, Nem_{t-3}, Nem_{t-4}, Nem_{t-5})$  şeklinde, geriye dönük beş adet ardışık zaman değerine bağlı bir fonksiyon olarak seçilmiştir. Böylece  $Nem_t$ ’yi hesaplamak için, kendinden önceki 5 zaman adımı kullanılmaktadır.

Bir YSA’da herhangi bir katmandaki  $j$ ’nci hücrenin girişi; önceki katmandaki hücrelerin  $y_i$  çıkışlarının, bağlantılar üzerindeki  $w_{ij}$  ağırlıkları ile çarpılarak, elde edilen ağırlıklı  $n$  adet bağlantının toplamı ile oluşturulmaktadır. Denklemi yönlendirmek için bias  $b$  eklenebilmektedir. Bu işlemlerin matematiksel ifadesi denklem (1)’de verilmiştir.

$$net_j = b + \sum_i^N y_i w_{ij} \quad (1)$$

Herhangi bir katmandaki  $j$ ’nci hücrenin çıkışı ise; toplama fonksiyonu ile elde edilmiş, ağırlıklanan girişlerin, bir eşik değerden çıkartılıp, müteakiben bir aktivasyon fonksiyonundan (transfer fonksiyonu olarak da adlandırılır,  $f_{act}$ ) geçirilmesiyle hesaplanmaktadır. Bu halde çıkış, denklem (2)’deki gibi olacaktır.

$$Çikis = f_{act}(net_j) \quad (2)$$

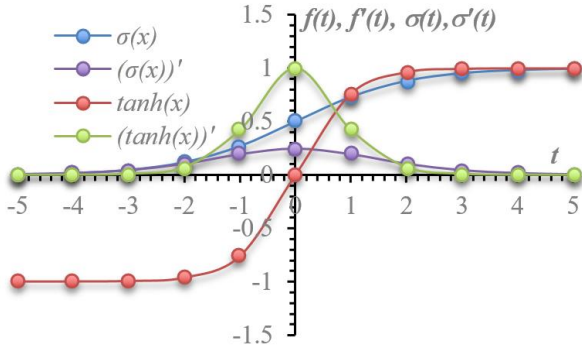
Aktivasyon fonksiyonu olarak; sıklıkla tanjant hiperbolik fonksiyon  $f(t)$  ve sigmoid fonksiyon  $\sigma(t)$  kullanılmaktadır. Fonksiyonlar ve türevleri, denklem (3)’te verilmiştir. Fonksiyonların eğrileri ise Şekil 3’te gösterilmiştir. Türevler, yapay sinir ağının eğitimindeki minimizasyon işlemi için gereklidir.

$$f(t) = \tanh = \frac{(e^t - e^{-t})}{(e^t + e^{-t})} \quad (3.a)$$

$$\frac{df(t)}{dt} = 1 - [f(t)]^2 \quad (3.b)$$

$$\sigma(t) = \frac{1}{1 + e^{(-t)}} \quad (3.c)$$

$$\frac{d\sigma(t)}{dt} = e^{(-t)} \sigma^2(t) \quad (3.d)$$



**Şekil 3.** Tanjant hiperbolik, sigmoid aktivasyon fonksiyonları ve türevleri

**Figure 3.** Tangent hyperbolic, sigmoid activation functions and their derivatives

Kurulan ağ ile isabetli tahminler yapılabilmesi için öncelikle bu ağın, eğitilmesi gerekmektedir. Ağın eğitimi için giriş ve çıkışlardan oluşan bir eğitim veri kümesi kullanılmaktadır. Esasen eğitim esnasında yapılan şey; her bir iterasyonda, ağın  $w_{ij}$  ağırlık değerlerinin, çıkışların istenen değerlerde olabilmesini sağlayacak şekilde değiştirilmesidir. Bu işleme ‘ağın eğitilmesi’ denmektedir. Her iterasyonda, gerçek çıktı (deneysel nem ölçümü) ile hesaplanan çıktı (ağın nem tahmini) arasındaki farka (hata da denmektedir) bakılmaktadır. Bu farkın, sıfır veya mümkün olduğunca sıfıra yakın olması için,  $w_{ij}$  değerleri değiştirilerek, aynı hesaplamalar sonraki iterasyonda yeniden yapılmaktadır. Bu işlem, farkın, istenen minimum değere ulaşmasına kadar iteratif olarak tekrarlanmaktadır. Bu minimizasyon işlemi, bir optimizasyon türü olup, bu amaçla çeşitli eğitim algoritmaları mevcut olmasına karşın en sık kullanılanları; Levenberg-Marquardt, Bayesian regularization ve Conjugate gradient algoritmalarıdır (Çavuşlu vd., 2012). Hatanın, YSA içerisindeki çoklu ağırlıklar arasında dağıtımının yapılarak, optimizasyonun uygulanabilmesi için de, geri yayılım (back propagation) gibi çeşitli yaklaşımlar da mevcuttur. Bu yaklaşım; tahmin, fonksiyon uydurma gibi uygulamalarda tercih edilmektedir (Anderson & McNeill, 1992). Ağın içerdiği gizli katman(lar)ın sayısı ve gizli katman(lar)daki nöron sayısı da ağ modelinin doğruluğu üzerinde etkilidir. Gizli katman sayısını ve buradaki nöron sayılarını azaltmanın, aşırı öğrenme hatasını azalttığı bildirilmiştir (Erenturk & Erenturk, 2007).

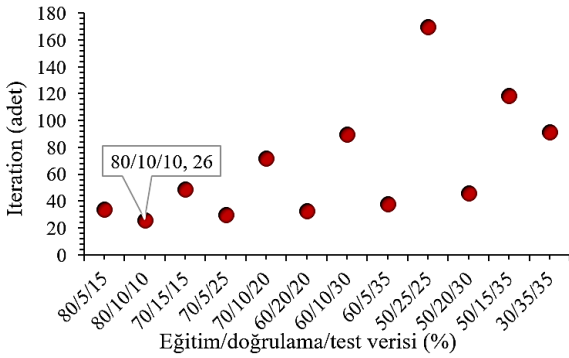
Gereğinden daha fazla artırılmasının ise ezberleme olarak adlandırılan bir diğer ağ hatasına yol açabildiği görülmüştür (Adıyaman, 2007). Katman sayısının belirlenmesinde ise deneme-yanılma metodunun sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir. Eğitimi tamamlanmış ağın, tahmin performanslarının değerlendirilmesi için, test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla veri kümesinin, test için ayrılmış kısmı kullanılmaktadır. Eğer doğrulama için de ayrıca veri ayrılmışsa, isteğe bağlı olarak doğrulama da yaptırılabilir. Veri kümesinin bölünmesi esnasında genel yaklaşım olarak, eğitim veri kümesinin mümkün olduğunca büyük seçilmesinin, başarılı bir ağ eldesinde, en önemli etken olduğu bildirilmektedir (Bayır, 2006). Aşırı öğrenme hatasının oluşmaması için iterasyon sayısı, mümkünse düşük seçilmelidir (Öğündür, 2019). Bununla birlikte, gereğinden daha az sayıdaki iterasyonlar ise ağın eğitiminin yetersiz olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle en uygun iterasyon sayısı da belirlenmelidir. Bu amaçla ‘erken durdurma’ olarak adlandırılan yöntemin kullanıldığı görülmüştür (Poonnoy vd., 2007). Ayrıca iterasyon sayısının gittikçe artırılarak, her seferinde eğrilerdeki uyumun gözle kontrol edilmesi yoluyla, uygun iterasyon sayısının tespit edilebildiği başka bir yöntem de mevcuttur (Estiati vd., 2016).

Bir YSA’nın başarısı; kullanılan aktivasyon fonksiyonuna, öğrenme algoritmasına, içerdiği gizli katman sayısına, gizli katmanlardaki nöron sayısına, kümedeki verinin bölünme oranına, eğitim esnasında gerçekleşen iterasyon sayısına, öğrenme hızı ve momentum parametrelerine çok bağlıdır. Ne yazık ki, bunların optimum değerlerinin belirlenmesine yönelik sabit bir kural henüz mevcut değildir. Bununla birlikte bu değerlerin, beklenen çıktı ve hesaplanan çıktı arasındaki korelasyonu en fazla veya farkı en az yapacak şekilde deneme-yanılma yoluyla tespit edilebildiği görülmüştür (Amini vd., 2021b; Beigi & Torki, 2021). Bu nedenle çalışmada tercih edilen parametreler ve nasıl seçtikleri, müteakip paragraflarda izah edilmiştir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak öncelikle tanjant hiperbolik fonksiyonu kullanılmış ve sonuçların korelasyon ve hata yakınsama değerleri değerlendirilmiştir. Eğitim esnasında her bir iterasyonda bu kriterlerin değişimi, kararlı durumun bozulup-bozulmadığı tek tek takip edilmiştir.

Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması, hata dağıtımı için de geri yayılım

yöntemi kullanılmıştır. Geri yayılım algoritması, çıktı katmanındaki hatanın bir önceki katmana tekrar dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu işlem girdi katmanına ulaşıncaya kadar devam etmektedir.



**Şekil 4.** Farklı eğitim/doğrulama/test bölümlenmeleri halinde gereken iterasyon sayıları  
**Figure 4.** Number of iterations for various training/validation/test partitioning

Veri kümesi, eğitim/test/doğrulama olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bölümlemenin hangi oranda yapılmasının en uygun olduğunun tespiti için, 80°C'de toplanmış olan veri, Şekil 4'te verilen farklı bölümlenmeler halinde, ağız eğitiminde kullanılmıştır. Her seferinde; her bir iterasyondaki hata değerleri dikkatlice takip edilmiş, hatanın kararlı bir biçimde azalarak bir minimum değere yakınsadığı görülmüş, maksimum iterasyon sayısına ulaşılması beklenmeden eğitim durdurulmuş ve neticede ulaşılan  $R$  (korelasyon katsayısı), yakınsayan hatanın son değeri ve yapılan iterasyon sayısı kaydedilmiştir. Şekil 4'te iterasyon sayıları görülmektedir. Minimum hataya, en az sayıda iterasyonla ulaştıran, aynı zamanda da hatadaki değişimin sabit veya kararlı olduğu

bölümleme oranı aranmıştır. Eğitimler esnasında algoritmanın, ihtiyaç duyulan kadar iterasyon yapılabilmesine olanak sağlamak için, maksimum iterasyon sayısının sınırı olarak 1000 verilmiş olsa da, hatanın olağan sayıda iterasyon ile (ilk 11-154 arasında) istenen değere düşürüldüğü ve bu esnada da,  $R$  değerlerinin zaman zaman 0.999'a kadar çıkabildiği gözlemlenmiştir. İterasyon sayıları düşük olduğu için; yüksek  $R$  değerinin, aşırı öğrenme hatası nedeniyle oluşmadığı anlaşılmıştır. Elde edilen eğriye bakıldığında, eğitim kümesindeki veri sayısının %50'nin altına düştüğü durumlarda, iterasyon sayısının tepe yaptığı, sonrasında da kararsız hale geldiği görülmüştür. Eğitim kümesindeki veri sayısının %50'nin üzerinde olduğu diğer aday durumlar arasından ise en az iterasyona ihtiyaç duyan bölümleme oranı olduğu için 80/10/10 (%80 eğitim ve %10 doğrulama ve %10 test) bölümlemesi seçilmiştir.

80/10/10 bölümleme değerine karşılık gelen iterasyon sayısının 26 olduğu, Şekil 4'ten tespit edilebiliyor olsa da, bu iterasyon sayısının yeterli olduğunun sağlanmasını yapmak üzere ilave bir araştırma daha yapılmıştır. Bu amaçla, iterasyon sayısı başlangıçta 10 alınmış ve her seferinde miktarı artırılarak elde edilen tahmin çıktı eğrisi ve gerçek çıktı eğrisi, birbirleri ile kıyaslanmıştır. Uyumlu eğri ve bu eğriyi veren en az iterasyon sayısı aranmıştır. Tablo 1'den görüleceği üzere iterasyon sayısı 30'dan fazla iken tahmin performansının değişmediği görülmüştür. Bu nedenle en uygun iterasyon sayısı 30 olarak seçilmiştir. Grafikte açık renkli eğriler, deneysel nem çıktısı iken, koyu renkli olanlar ise bu çalışmada kullanılan MLP ağızının, nem çıktısına dair tahminleridir.

**Tablo 1.** Optimum iterasyon sayısının belirlenmesi  
**Table 1.** Determination of the optimum iteration number

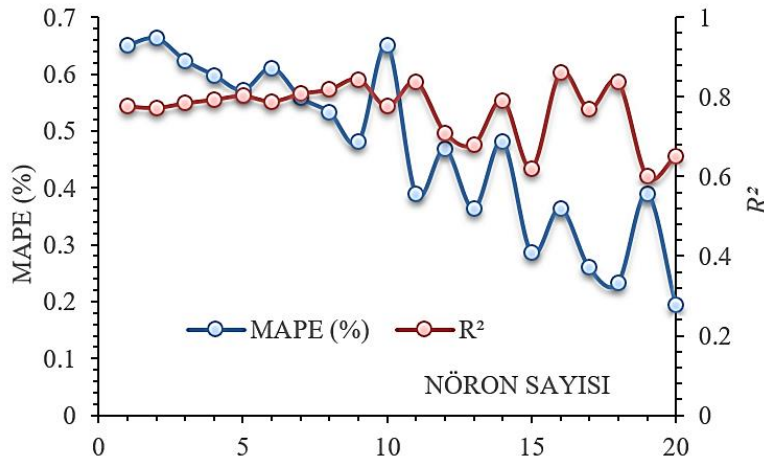
İterasyon sayısı	Deneysel ve YSA	İterasyon sayısı	Deneysel ve YSA
10		30	
20		40	

En uygun gizli katman sayısı ve her bir katmandaki en uygun nöron sayılarını belirlemek üzere, öncelikle iki katmanlı topoloji ele alınarak, nöron sayısı 1 ile 20 arasında değiştirilmiştir. Bu şekilde eğitilen ağların, nöron sayısı ile  $R^2$  (determinant katsayısı), MAPE (ortalama mutlak yüzde hata) değerleri arasındaki ilişkileri, Şekil 5'teki gibi

tespit edilmiştir. En iyi nöron sayısını belirlemek üzere; MAPE'nin düşük,  $R^2$ 'nin büyük olduğu değer aranmıştır. Her ne kadar 9 nöronlu halde MAPE daha az olsa da,  $R^2$  değerlerinin düştüğü ve hemen sonrasında ağız hassasiyetini yitirmeye başladığı görülmektedir. Bu nedenle nöron sayısı olarak, 6 nöron seçilmiştir. Neticede,

elde edilen ağ başarısının yüksek olması nedeni ile de katman sayısının, ne azaltılması, ne de artırılması düşünülmüştür. Ancak ebetteki ara katman sayısının etkisini belirleyebilmek için,

deneme-yanılma yaparak, tek katmandan itibaren artan sayıda katman oluşturularak, en uygun katman sayısı araştırılabildi.



**Şekil 5.** Gizli katmanlardaki nöron sayısına bağlı olarak MAPE ve  $R^2$  değerleri  
**Figure 5.** MAPE and  $R^2$  versus the number of neurons in the hidden layers

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan MLP ağının özellikleri  
**Table 2.** Features of the MLP network used in the study

Parametre	Değer
Eğitim esnasında hata hedefi	MAPE=8e-3
Eğitim esnasında maksimum iterasyon	1000
Gizli katman sayısı	2
Gizli katmandaki nöronlar	6
Aktivasyon fonksiyonu	tanjant hiperbolik
Eğitim algoritması	Levenberg Marquardt
Bağlı olduğu önceki veri sayısı, d	5
Giriş düğümleri	5 ( $nem_{t-1}, nem_{t-2}, nem_{t-3}, nem_{t-4}, nem_{t-5}$ )
Çıkış düğümleri	1 ( $nem_t$ )
Çıkış eşiği	0.99
Öğrenme hızı, $\eta$	0.1
Momentum, $\alpha$	0.1
Öğrenme eşiği	0.0001
Veri kümesinin bölünmesi	%80 (eğitim), %10 (doğrulama), %10 (test)

MLP ağı oluşturulurken Tablo 2’de verilen ağ değişkenleri kullanılmıştır. Tabloda verilen ‘eşik değeri’ ifadesi; 0 ile 1 arasında seçilen bir değer olup, katmanlarda bu değer altındaki düğümler hesaplamaya dâhil edilmemektedir. Bu sayede zayıf bilgilerin unutulması sağlanarak, daha başarılı bir ağ elde edilebilmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte, ağın eğitimi esnasında, ağırlıkların güncellenmesi için, eklenecek-çıkartılacak fark miktarlarının belirlenebilmesi amacıyla, ‘momentum’ ve ‘öğrenme hızı’ terimleri hesaba dâhil edilmektedir. Bir önceki iterasyonda hesaplanan fark teriminin başına getirilecek çarpana, ‘momentum’ denmektedir. Çıktı ve hata çarpımının başına

getirilecek çarpana ise ‘öğrenme hızı’ denmektedir. Momentum terimi; eğitim iterasyonları esnasında ağ ağırlıklarının yeni değerlerinin, bir önceki değerlerden etkilenme miktarını belirlemektedir. Bu sayede hesaplanan ağırlık değerinin, yerel bir optimuma takılıp, bunun etrafında salınım yapması nedeniyle, global optimuma ulaşamaması riskinin önüne geçilmektedir. Öğrenme hızı, ağın ne kadar süre boyunca eğitileceğini belirlemektedir. Hızlı bir öğrenme, zayıf bir ağa yol açarken, yavaş öğrenme, güçlü bir ağ oluşturmaktadır. Ancak yerel optimuma takılma riskini de beraberinde getirmektedir. 0 ve 1 arasında değer almaktadır. Katsayı arttıkça, öğrenme hızı artmaktadır. Ağların tamamı bilgisayar üzerinde simüle edilen

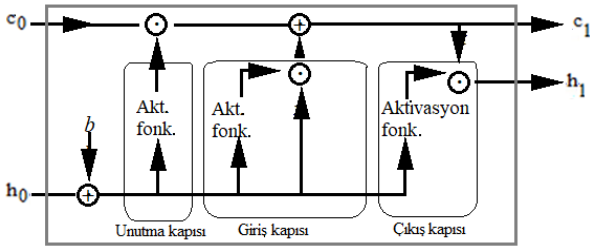


yazılımsal kodlardır (Eaton, 2022), herhangi bir donanım üzerinde uygulanmamıştır.

### 2.3. LSTM ile modelleme

#### 2.3. Modelling using LSTM

LSTM ağı, derin öğrenme olarak ifade edilen bir makine öğrenme yöntemidir. Tekrarlayan sinir ağı (RNN) grubundadır (Park vd., 2019; Sekertekin vd., 2021). Bir LSTM ağ birimi, Şekil 6'da verilmiş olup  $\{x\}$  girdi değişkeni seti,  $\{h\}$  çıktı değişkeni durumunu ve  $\{c\}$  hücre durumunu içeren değişkenlerdir. Burada  $\{x\}$  girdi değişkeni 'zaman' olup,  $\{h\}$  çıktı değişkeni ise 'nem'dir.  $t$  alt indisi,  $t$  zaman adımıdaki değer' anlamına gelmektedir.



Şekil 6. Bir LSTM ağ birimi

Figure 6. An LSTM network unit

Bir LSTM ağında 'giriş kapısı', 'unutma kapısı' ve 'çıkış kapısı' olarak adlandırılan üç kapı mevcuttur. Giriş kapısı, bellek hücresinde, hata sabitinin nasıl korunacağını öğrenmektedir. Bunu, alakasız girişlerin seçimini kaldırarak yapmaktadır. Çıkış kapısı, diğer LSTM birimlerini korumak için, alakasız bellek içeriğinin nasıl hariç tutulacağını öğrenmektedir. Unutma kapısının görevi, bilginin hafızada ne kadar süre kaldığını öğrenmektir. Bu amaçla denklem (4)'te verilen  $h_t$  kullanılmaktadır.

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t) \quad (4)$$

Denklemdaki  $\odot$  sembolü, Hadamard çarpımı olup (Million, 2007), vektörlerin eleman-eleman çarpımını sağlamaktadır.  $o_t$  çıkış kapısı olup,  $h_t$  için hücre durumunu ayarlamaktadır.  $c_t$ , denklem (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t \quad (5)$$

Burada  $i_t$  giriş kapısıdır. Hücre durumunun güncelleme seviyesini belirlemektedir.  $f_t$  unutma kapısıdır. Hücre durumunun sıfırlama seviyesini kontrol etmektedir.  $g_t$  hücre adaydır. Hücre durumuna bilgi sağlamaktadır. Bu değişkenler denklem (6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$i_t = \sigma(W_t x_t + R_i h_{t-1} + b_i) \quad (6.a)$$

$$f_t = \sigma(W_f x_t + R_f h_{t-1} + b_f) \quad (6.b)$$

$$o_t = \sigma(W_o x_t + R_o h_{t-1} + b_o) \quad (6.c)$$

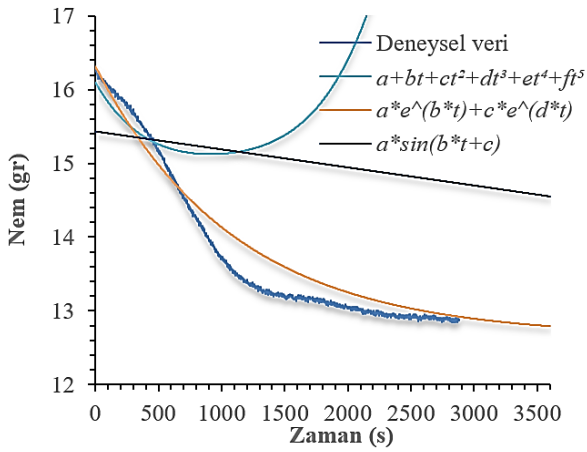
$$g_t = \tanh(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (6.d)$$

Burada  $\sigma(x)$ , kapıların aktivasyon fonksiyonu olup, sigmoid fonksiyonudur.  $W$  ve  $R$  sırasıyla girdi ağırlıkları ve tekrarlayan ağırlıklardır.  $b$  ise bias'tır. LSTM ağlarının eğitimi için toplam veri setinin ilk %80'i eğitim amaçlı kullanılırken, geriye kalan %20'lik kısım ise test amaçlı kullanılmıştır. Doğrulama kullanılmamıştır. Test için son %20'lik kısmın seçilmesinin nedeni, ileriye yönelik tahmin performansının değerlendirilebilmesini sağlamaktır. LSTM ağları yazılımsal kodlar ile oluşturulmuş (Heris, 2015), herhangi bir donanım üzerinde uygulanmamıştır.

### 2.4. Regresyon ile modelleme

#### 2.4. Modelling using regression

Tarımsal kurutma amacıyla tespit edilmiş ve halen yaygın olarak kullanılmakta olan pek çok türde regresyon fonksiyonu mevcut olduğu için, hangisinin kullanışlı olabileceğinin belirlenmesi amacıyla, öncelikle bir ön analiz yapılmıştır. Bu amaçla polinomsal  $a + b * t + c * t^2 + d * t^3 + e * t^4 + f * t^5$ , üstel  $a * e^{b*t} + c * e^{d*t}$  ve trigonometrik  $a * \sin(b * t + c) + d * \sin(e * t + f)$  fonksiyonlar denenmiştir. Burada  $a - f$  değerleri, regresyon parametreleridir. Fonksiyonlarda bağımsız değişken zaman  $t$ , bağımlı değişken ise  $nem(t)$ 'dir. Regresyonların tüm veri üzerindeki performanslarının görülebilmesi için ön analizde, tüm veri seti kullanılmıştır. Grafikler, veri toplama sırasına göre çizdirilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, bu çalışma için, deneysel veriye en uygun olabilecek doğrusal olmayan fonksiyonun, önerilen türdeki üstel fonksiyon olabileceği görülmüştür. Polinomsal fonksiyonların uygun olmadığı da anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra, son zamanlarda kullanılmaya başlanan, 'YSA esaslı regresyon'ların da performansları değerlendirilmiştir.



**Şekil 7.** Deneysel veri ve farklı regresyon fonksiyonların kıyaslanması

**Figure 7.** Comparison of experimental data and regressions

Her ne kadar regresyonlardan, veri kümesi içerisinde isabetli tahminlerde bulunması beklense de, bu çalışmada hem veri kümesindeki, hem de veri kümesinin ilerisindeki değerlerin de tahmin performansı araştırılmıştır. Bu nedenle, veri kümesinin tamamı, regresyon için kullanılmamıştır. Hem doğrusal olmayan regresyon, hem de YSA regresyonda kullanılmak üzere, veri kümesindeki toplam verinin ilk %80'i alınmıştır. Elde edilen regresyon fonksiyonları, geri kalan %20 veri kullanılarak uydurulan eğrinin, tahmin performansını test etmek için kullanılmıştır (Eaton, 2022).

#### 2.4.1. Doğrusal olmayan regresyon

##### 2.4.1. Nonlinear regression

Ön analiz neticesinde, kullanılmasına karar verilen üstel fonksiyonun genel hali, denklem (7)'de gösterilmiştir.

$$nem(t) = C_0 + C_1 e^{(C_2 t)} \quad (7)$$

Bağımsız değişken zaman  $t$ , bağımlı değişken ise  $nem(t)$ 'dir.  $C_0$ ,  $C_1$  ve  $C_2$  ise fonksiyon parametreleri olup, regresyon ile bu katsayılar tespit edilmiştir.

#### 2.4.2. YSA esaslı regresyon

##### 2.4.2. ANN based regression

YSA esaslı regresyonun, doğrusal olmayan regresyondan farkı, parçalı olmasıdır (MathWorks, 2022b), yani fonksiyonel bir forma sahip olmayıp, her bir veri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bununla birlikte çekirdek fonksiyonu olarak adlandırılan genel bir biçime de sahiptirler. Bu çalışmada, Bayesian bir yaklaşım olan, Gauss

regresyonu (Gaussian process regression, GPR) metodu kullanılmıştır. GPR;  $i = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere  $f(x_i)$  şeklinde gizli değişkenler kullanılmaktadır. Kümedeki toplam veri sayısı  $n$ 'dir. İşlem, Gauss esaslı gerçekleştirildiğinden dolayı da, bir regresyon fonksiyonu yerine, denklem (8)'de genel hali verilen şekliyle tanımlanmaktadır (MathWorks, 2022a).

$$f(x_i) \sim GP(m(x_i), k(x_i, x_j)) \quad (8)$$

Burada  $m(x_i)$  terimi, ortalama fonksiyon,  $k(x_i, x_j)$  ise kovaryans çekirdek fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır.  $x_i$  ve  $y_i$ 'ler;  $i \neq j = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere, eğitim veri kümesindeki değerlerdir.  $x_i$ , giriş olup  $y_i$  ise cevaptır (hedef). Ortalama fonksiyonu, sıfır alınmıştır. Kovaryans çekirdek fonksiyonu için pek çok seçenek mevcut olup, bu çalışmada, denklem (9) ile verilen üstel kovaryans fonksiyonu kullanılmıştır.

$$k(x_i, x_j) = \sigma_f^2 e^{-\frac{r}{\sigma_l}} \quad (9)$$

Burada  $r$ ;  $x_i$  ve  $y_i$  arasındaki Öklit mesafesi olup,  $r = \sqrt{(x_i - x_j)^T (x_i - x_j)}$  ile hesaplanmaktadır.  $T$  üst indisi, transpoze anlamındadır. Bu çekirdek fonksiyon, iki parametreye sahip olup, bunlar;  $\sigma_l$  uzunluk ölçeği,  $\sigma_f$  sinyalin standart sapmasıdır. Uzunluk ölçeği;  $x_i$  giriş değişkeninin, cevap ile olan ilişkisinin bittiği uzaklığı tanımlamaktadır (Sit, 2019). GPR modellerinin parametrik olmadığı düşünülse de;  $\sigma_l$ ,  $\sigma_f$  gibi hiperparametreler, bu yöntemin tahmin yeteneklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kovaryans çekirdek fonksiyonu; kısıtlamasız parametre olarak adlandırılan bir dizi  $\theta$  ile parametreleştirilmektedir ve  $\sigma_l = e^{(\theta_l)}$  ve  $\sigma_f = e^{(\theta_f)}$  olarak tanımlanmaktadır. Genellikle kovaryans fonksiyonunu;  $\theta$ 'ya olan bağımlılığını açıkça belirtmek için,  $k(x_i, x_j | \theta)$  olarak da ifade etmek mümkündür.

#### 2.5. Modellerin performansı

##### 2.5. Performance of models

Modellerin tahmin verimliliklerini ifade etmenin en iyi yolu, deneylerden ölçülen nem verileri ile model tarafından tahmin edilen nem verileri arasındaki farkı karşılaştırmaktır. Hata analizi, bu amaçla sıklıkla kullanılan, karşılaştırma yöntemlerindedir. Bu çalışmada, denklem (10)'da verildiği gibi beş farklı hata fonksiyonu kullanılmıştır. Oransal sapma (margin of deviation), hata hesaplamasında sıkça kullanılan denklemlerdendir (Bidgoli vd., 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (p(i) - o(i))^2} \quad (10.a)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (p(i) - o(i))^2 \quad (10.b)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |p(i) - o(i)| \quad (10.c)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^n \left| \frac{(p(i) - o(i))^2}{o(i)} \right| \right] \times 100 \quad (10.d)$$

$$\text{Oransal sapma (\%)} = 100 * \frac{o(i) - p(i)}{o(i)} \quad (10.e)$$

Burada; RMSE hatanın karesinin ortalamasının karekökü, MAE ortalama mutlak hata, MSE hatanın karesinin ortalaması ve MAPE ise ortalama mutlak yüzde hatadır.  $i$  alt indisi, veri kümesindeki  $i$ 'nci veriyi göstermektedir. Bu çalışmada; her bir veri, zamana bağlı olarak elde edildiğinden dolayı,  $i$  olarak, zaman adımı düşünülebilmektedir.  $o(i)$  değeri,  $i$  anındaki deneysel olarak ölçülen veri,  $p(i)$  değeri ise  $i$  anındaki tahmin değeridir.  $\bar{p}$  ve  $\bar{o}$  terimleri ise sırası ile tahmin edilen ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır.  $n$ , veri kümesindeki toplam veri sayısıdır. Ayrıca  $R$  korelasyon katsayısı ise denklem (11) de verilmiş olup,  $o(i)$  ve  $p(i)$  arasındaki karşılıklı ilişkiyi elde etmek için kullanılmıştır. Korelasyonu ifade etmek üzere ayrıca,  $R^2$  değeri de ('determinant katsayısı' olarak adlandırılmaktadır) sıklıkla kullanılmaktadır.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [p(i) - \bar{p}][o(i) - \bar{o}]}{\left( \sqrt{\sum_{i=1}^n [p(i) - \bar{p}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n [o(i) - \bar{o}]^2} \right)} \quad (11)$$

Korelasyon katsayısına ek olarak, standart sapma ( $e_s$ ) ve ortalama kare sapma ( $\chi^2$ ) denklem (12, 13)'te verildiği gibi, bu amaç için kullanılabilir. Bu amaç için kullanılabilir.

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(p(i) - o(i))]^2}{n}} \quad (12)$$

$$\chi_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(p(i) - o(i))]^2}{n - Prm}} \quad (13)$$

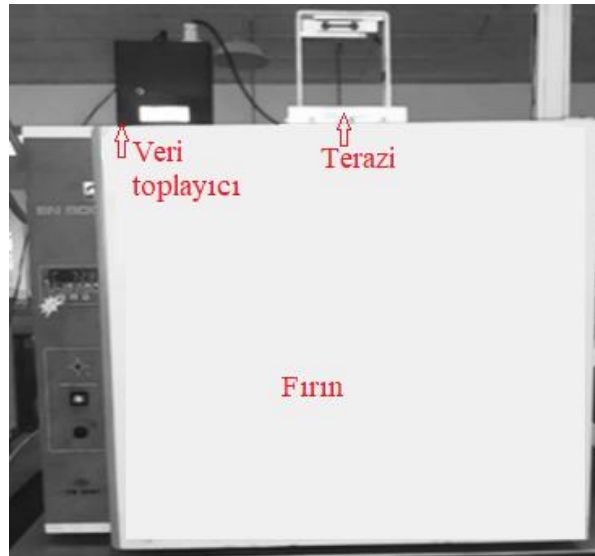
Burada  $Prm$ , modeldeki parametre sayısıdır. Ağların tahminlerinde en sık kullanılan başarı performans göstergeleri; RMSE, MSE, MAE, MAPE,  $R$ ,  $R^2$  değerleridir.  $R$  ve  $R^2$  birimsiz iken, RMSE ve MAE değerleri, verilerle aynı birime sahiptir. MSE, verinin karesi birimindedir. MAPE ise, yüzde birimindedir. Genel bir kural olarak; 1'e en yakın  $R^2$  değeri ve 0'a en yakın MSE, MAE, MAPE, RMSE değerleri hedeflenmektedir.  $R$  için; 0.01-0.29 arasındaki değerler, düşük düzeyde ilişki, 0.3-0.7 arası orta düzeyde ilişki, 0.71-0.99 arası ise yüksek düzeyde ilişki anlamına gelmektedir. Sıfır değeri, ilişki olmadığını gösterirken, negatif değerler, ters bir ilişki anlamına gelmektedir (Köklü vd., 2006). Mutlak değerce  $R$ 'nin artması, ilişkinin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. MAPE için değerlendirme kriteri ise şu şekildedir (Moreno vd., 2013): MAPE<0.10 (yüksek doğrulukta tahmin), 0.10-0.20 (iyi tahmin), 0.20-0.50 (makul tahmin), >0.50 (doğruluğu olmayan tahmin). YSA, LSTM ve regresyonlarda aşırı öğrenmeye engel olmak için,  $K$  kere çapraz doğrulama ( $K$  fold cross validation) yöntemi uygulanmıştır (Brownlee, 2018; Erenturk & Erenturk, 2007).  $K$  olarak 5 seçilmiştir. Bu yöntemin özü, veri kümesini  $K$  adet alt kümeye bölmek ve her seferinde farklı bir alt kümeyi hariç tutarak, toplamda  $K$  adet tekrar yapmaktır. Her tekrar esnasında, hariç tutulan alt kümeler test için kullanılırken, geri kalan veri ise eğitim için kullanılmaktadır. Toplam hata; her bir tekrardaki hatanın, aritmetik ortalamasıdır.

## 2.6. Nem belirleme deneyleri

### 2.6. Moisture determination experiments

Deneyin esası; sıcaklık kontrollü bir fırın içerisine yerleştirilen nemli numunelerden, belirli zaman adımlarında kütle ölçümüdür (Şekil 8). Kurutma, doğal taşınım yoluyla yapılmaktadır. Başlangıç kütlesi ile son kütle arasındaki fark, uçurulan nem miktarını vermektedir.

Deneyler 70°C, 75°C, 80°C olmak üzere üç farklı sıcaklıklarda uygulanmıştır. Nem verisi, hassas terazi ile birer saniye aralıklarla, bir saat boyunca toplanmıştır. Her bir deney, üçer tekrarlı yapılmıştır. Tekrarlara ilişkin; ortalama başlangıç kütlesi, ortalama son kütle, nem oranı ve standart sapma değerleri, Tablo 3'te verilmiştir. Tablodaki ortalama son kütle değeri, kuru kütle değeridir. Değerlerin tamamı ise veri sayısının çokluğu nedeni ile tablo halinde değil, bulgular ve tartışma bölümünde, grafik halinde verilmiştir. Her bir deneyde, toplam 3602 adet veri toplanmış, bunun ilk 2881 âdeti eğitim/test/doğrulama ve son 721 âdeti ise ileriye yönelik tahmin için kullanılmıştır.



**Şekil 8.** Kurutma deneylerinin yapıldığı ve nem verisinin toplandığı düzenek  
**Figure 8.** The experimental rig where drying experiments are carried out and moisture data are collected

**Tablo 3.** Kurutma deneyi ile elde edilen nem  
**Table 3.** Moisture from drying experiments

Deneyler	Ort. ilk kütle (gr)	Ort. son kütle (gr)	Nem oranı (g <sub>nem</sub> /g <sub>kuru madde</sub> ,%)	Standart sapma (gr)
80 °C	16.19	13.76	17.65	0.0308215
75 °C	15.64	13.98	11.87	0.015607
70 °C	11.82	10.60	11.5	0.0147212

Ort.: Ortalama

%5 azot, %10 fosfor karışımından oluşan organomineral nemli numunenin, boyutsal ve fiziksel özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Değerler,

yüz adet tane üzerinde yapılan ölçümlerin ortalama değerleridir.

**Tablo 4.** Nemli numunenin boyutsal ve fiziksel özellikleri  
**Table 4.** Dimensional and physical properties of the moist sample

İçerik	En küçük	Ort.	En büyük
Uzunluk (En büyük eksen) (mm)	3.60	5.90	12.0
Genişlik (Orta eksen) (mm)	3.15	5.25	10.0
Kalınlık (En küçük eksen) (mm)	2.80	5.00	7.50
Ortalama geometrik çap (mm)	3.30	5.00	9.00
Ortalama aritmetik çap (mm)	3.40	5.10	9.30
Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )	34.00	82.00	250
Hacim (mm <sup>3</sup> )	19.00	76.00	380.00
Küresellik (%)	67.40	86.00	98.30
Kütle (gr)	0.054	0.062	0.078
Tane yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	2161	2200	2286
Yığın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	996	1080	1104
Gözeneklilik (%)	62	63	64

Deneysel belirsizlik analizi, denklem (14) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Khanlari, 2020). Bu analiz sayesinde; deneysel ölçümler veya hesaplamalar esnasında, ölçüm veya hesaplama cihazlarının çözünürlüklerinden veya

hassasiyetlerinden ortaya çıkan, mevcut, kaçınılmayan ve veriye karışan hataların sebebiyet verdiği, bağıl belirsizlikler tespit edilmektedir.

$$U_R = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x_1} U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial x_2} U_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial M}{\partial x_n} U_n\right)^2} \quad (14)$$

Burada  $U_R$  terimi, toplam belirsizlik,  $M$  terimi, ölçümü yapılan boyut (nemin kütlesi) olup, bu ölçülen boyut üzerinde etkisi olan  $n$  adet bağımsız değişken ise  $x_n$ 'dir (zaman, sıcaklık). Bağımsız değişkenleri ölçen cihazların her birinin ölçme hatası  $U_n$ 'dir. Ölçüm cihazlarına ait hata aralıkları ve hesaplanan belirsizlikler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Kurutma esnasında yapılan ölçümlerdeki hatalar ve sebep olduğu belirsizliklerin hesaplanması

**Table 5.** Errors in the measurements performed during drying and calculating their uncertainties

Ölçüm cihazları	Birim	Hata
Fırın içi sıcaklık	°C	±0.19
Veri toplayıcının zaman sayacı	sn	±0.1e-9
Tartı	gr	±0.18
Belirsizlikler	Birim	Değer
Sıcaklık ölçümündeki bağıl belirsizlik	%	±0.0027
Süre ölçümündeki bağıl belirsizlik	%	±3.3E-11
Tartıdaki bağıl belirsizlik	%	±0.017

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results & discussion

##### 3.1. Tahmin eğrileri

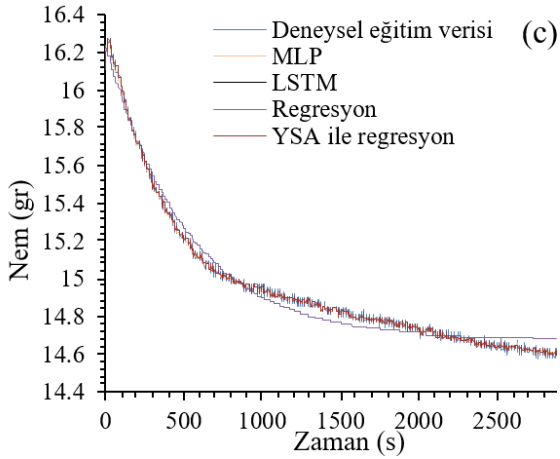
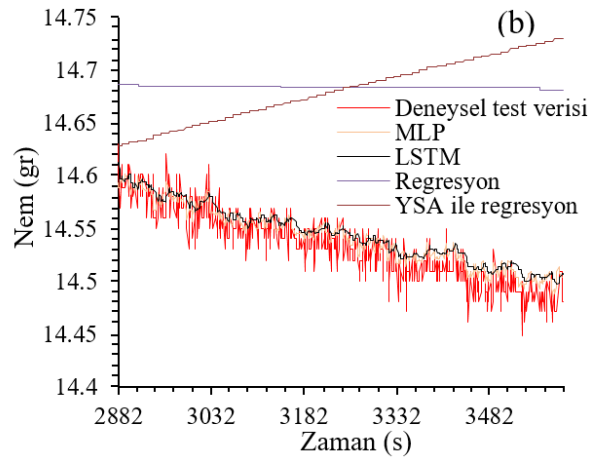
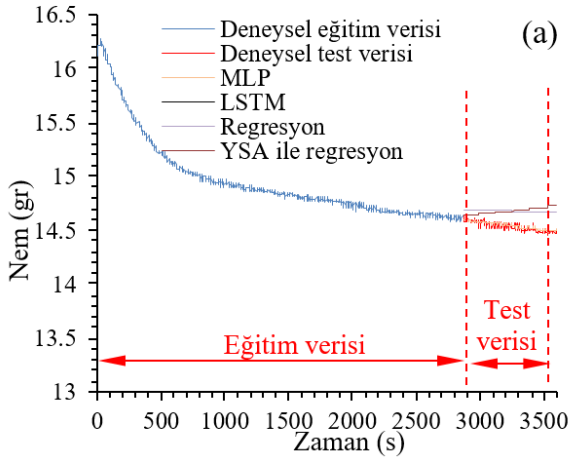
###### 3.1. Prediction Curves

Gübrenin, üç farklı sıcaklık değerlerindeki nem verisi ve bu veri içerisinde alınan eğitim,

doğrulama, test bölümleri kullanılarak oluşturulan modellerin performanslarını gösteren eğriler, Şekil 9-11'de verilmiştir. Şekillerde modellerin hem eğitim verisi, hem de test verisi üzerindeki performansları ayrı ayrı gösterilmiştir. Alt şekiller sayesinde, modellerin eğitim ve test performansları detaylıca görülebilmektedir. Veri bölümlemesini ilk bakışta kolayca görebilmek için, ayrımlar şekil üzerinde gösterilmiştir.

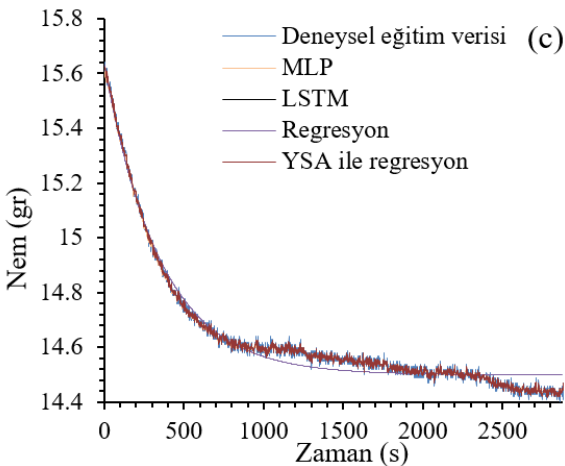
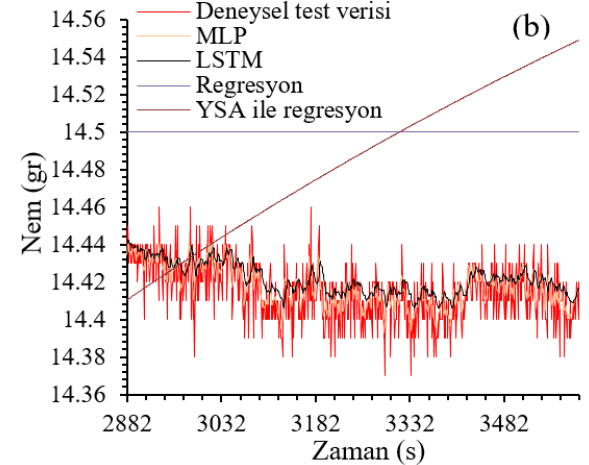
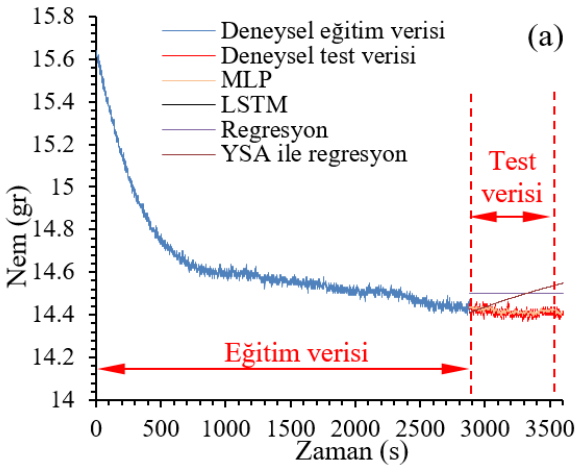
Şekil 9'da modellerin 80°C'de kurutma verisi üzerindeki performansları kıyaslanmıştır. Şekil 9-a hem eğitim hem test verisini içermektedir. Şekil 9-b ise sadece test veri kümesini, detaylı bir biçimde göstermektedir. Benzer olarak; Şekil 9-c ise sadece eğitim veri kümesini detaylı bir biçimde göstermektedir. Şekil 9-c incelendiğinde; eğitim verisi üzerinde bütün modellerin tahminlerinin, genel eğri şeklini sağladığı, ancak üstel regresyon eğrisinin, belirgin olarak diğerlerine kıyasla en büyük sapmaya sahip olduğu görülmektedir. Bütün modellerin eğitildiği kümede, kümeyi çok iyi temsil etmesi zaten beklenen bir durumdur. Bununla birlikte, modellerin test kümesi üzerindeki tahmin performanslarını değerlendirmek üzere Şekil 9-b incelendiğinde, regresyonların (üstel, YSA esaslı) ne denli sapma gösterdiği daha iyi görülecektir.

Regresyon teknikleri ile eğitim kümesi üzerinde ne kadar başarı ile eğri uydurulmuş olurlarsa olursun, küme dışı değerlerin tahmininde en kötü uyumu verdikleri açıkça görülmüştür. Kurutma kinetiğinin yol açtığı çokça tepeliklere sahip olan eğri şeklini, MLP ve LSTM ağları sağlayabilmiştir. Tepelikleri temsil etmede MLP ağının, LSTM ağından daha başarılı olduğu görülmektedir.



**Şekil 9.** 80°C’ de kurutma deneyinden elde edilen (a) eğitim ve test verisi, (b) modellerin test verisini temsil edebilme performansları, (c) modellerin eğitim verisini tahmin edebilme performansları

**Figure 9.** For the sample dried at 80°C, (a) the training and test data, (b) models’ performance to represent the test data, (c) models’ prediction performance on the training data

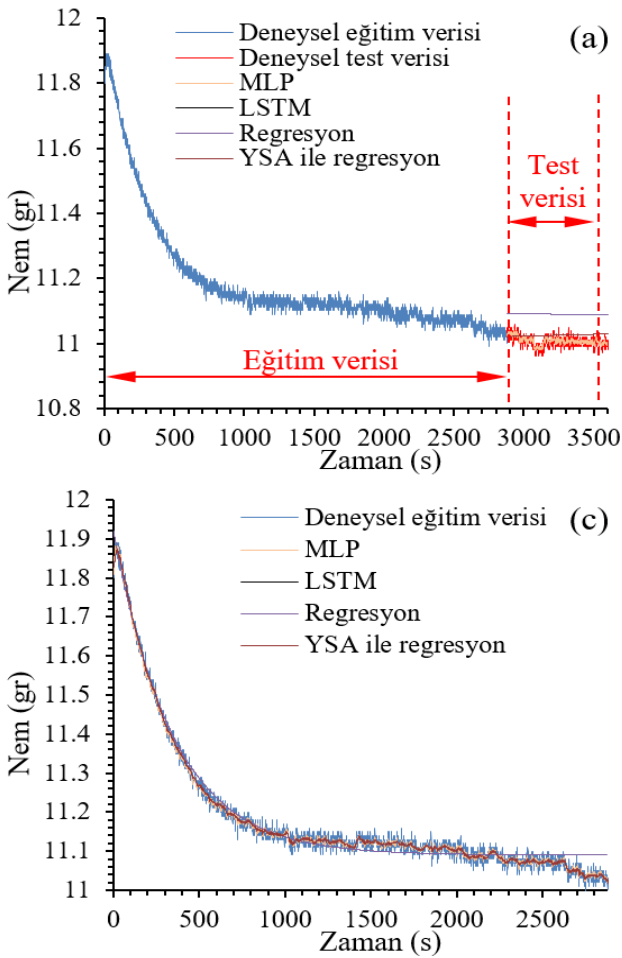


**Şekil 10.** 75°C’ de kurutma deneyinden elde edilen (a) eğitim ve test verisi, (b) modellerin test verisini temsil edebilme performansları, (c) modellerin eğitim verisini tahmin edebilme performansları

**Figure 10.** For the sample dried at 75°C, (a) the training and test data, (b) models’ performance to represent the test data, (c) models’ prediction performance on the training data

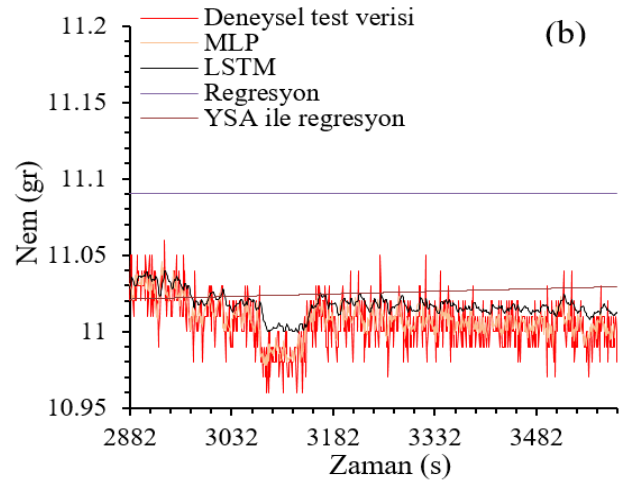
Şekil 10'da modellerin 75°C sıcaklıktaki kurutma verisi üzerindeki performansları gösterilmiştir. Şekil 10-c incelendiğinde; eğitim verisi üzerinde bütün model tahminlerinin, genel eğri şeklini sağladığı görülmektedir. Modellerin test kümesi üzerindeki tahmin performanslarını değerlendirmek üzere Şekil 10-b incelendiğinde, üstel regresyonun sabit bir değer verdiği, bununla birlikte YSA regresyonun da en sapmalı eğriyi verdiği görülmüştür.

Şekil 11'deki modellerin 70°C sıcaklıktaki kurutma verisi üzerindeki performansları



Sıcaklıkların, modellerin tahmin performansı üzerine etkisi araştırıldığında; 75°C'de, MLP ve LSTM eğrilerinin deneysel eğriyi temsil edebilme özelliğinin, diğer sıcaklıklara göre daha iyi olduğu görülmüştür. 80°C'de ve 75°C'de, sapmalar da artmaktadır. Sapma, eğrinin bir bütün halinde, yukarı doğru kayması şeklinde oluşmuştur. Üstel ve YSA esaslı regresyon eğrilerinde ise, düşük sıcaklıkta daha yüksek uyum görülmüştür. Bunun sebebinin; bu sıcaklıkta kurutma sonuna doğru, kuruma eğrisinin bir kararlı hale ulaşmış olması ve

gösterilmiştir. Şekil 11-c incelendiğinde; eğitim verisi üzerinde bütün model tahminlerinin genel eğri şeklini sağladığı görülmektedir. Modellerin tahmin performansları Şekil 11-b'de görülmektedir. Üstel regresyonun en sapmalı olan eğriyi verdiği ancak YSA regresyonunun genel durumu tahmin edebildiği görülmüştür. Kurutma genel eğrisinin sabit bir değerde kalmış olmasından kaynaklı bu sonuca ulaşıldığı düşünülmektedir. MLP ve LSTM ağlarının hem eğitim, hem de test verileri üzerindeki tahmin performansları, diğerleri ile kıyaslandığında en iyi olmakla birlikte, MLP ağının tahmin performansının LSTM'den daha iyi olduğu, test verileri üzerinden anlaşılmaktadır.



**Şekil 11.** 70°C' de kurutma deneyinden elde edilen (a) eğitim ve test verisi, (b) modellerin test verisini temsil edebilme performansları, (c) modellerin eğitim verisini tahmin edebilme performansları

**Figure 11.** For the sample dried at 70°C, (a) the training and test data, (b) models' performance to represent the test data, (c) models' prediction performance on the training data

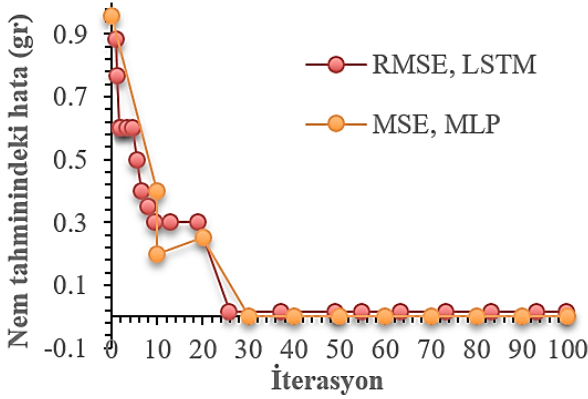
böylesi kararlı bir eğriyi temsil edebilmenin ise nispeten daha kolay olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.2 Doğrulamalar

#### 3.2. Validations

Her ne kadar eğitilen MLP ve LSTM ağları, test verileri ile doğrulanmış ise de, ilave olarak, eğitim boyunca RMSE ve MSE değerlerinin nasıl değiştiğini, yakınsayıp-yakınsamadığını, kararlılığını yitirip-yitirmediğini görmek üzere,

Şekil 12'deki gibi hata yakınsama eğrileri elde edilmiştir. Eğrilerden anlaşılacağı üzere, hata değerleri azalarak, sıfıra doğru yakınsamıştır. 30 iterasyondan sonra hata değeri en düşük değerinde olup değişmemektedir. Böylelikle, iterasyon sınırının isabetli seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 12.** Ağların eğitimi esnasında hatanın yakınsaması

**Figure 12.** Error convergence during training of networks

MLP ağının performans göstergeleri Tablo 6'da ve LSTM performans değerleri ise Tablo 7'de verilmiştir. MLP ağının 0.2 mg ve LSTM ağının ise 19 mg hata ile tahminlerde bulunduğu görülmüştür. MLP ağının, LSTM ağına göre daha isabetli tahminlerde bulunduğu tespit edilmiştir. MLP ağının eğitim esnasındaki performansından elde edilen korelasyon, test performansındakinden daha yüksek çıkmıştır.

**Tablo 6.** MLP ağının eğitimi ve testi esnasındaki tahmin performansları

**Table 6.** Test and training performance of MLP network

Sıcaklık °C	Tahmin		Eğitim	
	RMSE (gr)	R	RMSE (gr)	R
80	0.000298	0.904	0.000207	0.999
75	0.000197	0.490	0.000208	0.998
70	0.000204	0.542	0.000203	0.997

**Tablo 7.** LSTM ağının tahmin performansı

**Table 7.** Prediction performance of LSTM network

Sıcaklık °C	RMSE (gr)	MAE (gr)	MAPE (%)	R
80	0.019	0.015	0.104	0.912
75	0.015	0.012	0.082	0.531
70	0.018	0.015	0.136	0.567

Hem üstel regresyon hem de YSA ile yapılan regresyonların, eğitim verisi üzerindeki performansları sırasıyla Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir. Hata ve korelasyon değerleri, eğitim verisi kullanılarak yapılan eğri uydurma işlemine ait performans değerleridir. Korelasyon, özellikle YSA esaslı regresyonda 1'e eşit veya çok yakın çıkmış ve hata değerleri ise 15 mgr olmuştur. Ancak bu değerlerin, regresyonların, eğitim veri kümesi üzerindeki performansı olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle bu değerler, Tablo 6 ve 7'de verilmiş olan tahmin değerleri ile kıyaslanmamalıdır. Regresyonların test verisi üzerindeki performansları ise korelasyon ve hata değerleri yerine tahmin eğrilerinin, deneysel eğriye uygunluğunun kıyaslanması sureti ile belirlenmiştir.

**Tablo 8.** Üstel regresyona ait parametreler

**Table 8.** Parameters of exponential regression

Sıcaklık °C	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$R^2$	RMSE (gr)
80	14.68	1.5610	-0.001941	0.983	0.049
75	14.50	1.1330	-0.002830	0.980	0.035
70	11.09	0.8327	-0.002887	0.982	0.024

**Tablo 9.** YSA ile yapılan regresyona ait parametreler

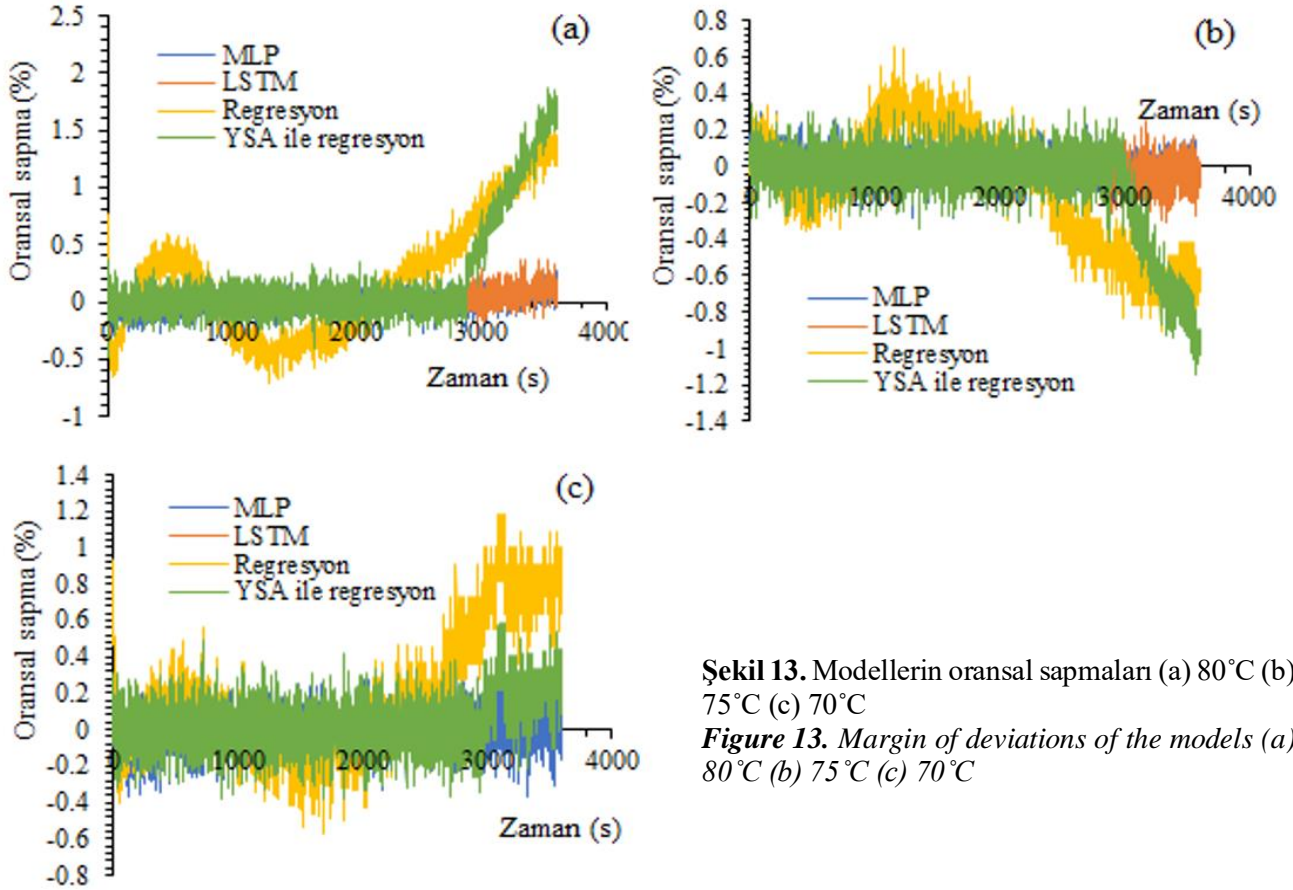
**Table 9.** Parameters of the ANN regression

Sıcaklık °C	$\sigma_i$	$\sigma_f$	$R^2$	RMSE (gr)
80	5.223	0.688	1.00	0.015299
75	2.365	0.478	1.00	0.015264
70	41.670	0.393	0.99	0.013474

Sıcaklıkların modellerin, tahmin performansı üzerine etkisi tablolardan da, grafiklerden elde edilen bulgularla paralel olduğu görülmektedir. 75°C'de, MLP ve LSTM hata değerlerinin, diğerlerine göre en az olduğu görülmüştür. 80°C'de ve 75°C'de, sapmalar da artmaktadır. Üstel ve YSA esaslı regresyon eğrilerinde ise, düşük sıcaklıkta daha düşük hata görülmüştür.  $R$  ve  $R^2$  incelendiğinde ise, iki çıktı (deneysel, model) arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 13'te ise modellerin oransal sapma eğrileri verilmiştir. MLP ağı, YSA ile regresyon ve LSTM modelleri en fazla  $\pm 0.5\%$  arasında sapma göstermişken, regresyon modelindeki sapma  $\pm 2\%$ 'ye kadar çıkmıştır. YSA esaslı regresyon modeli ise tahmin esnasında yüksek sapmalar vermiştir. Bu da tahmin eğrilerinden elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.





Şekil 13. Modellerin oransal sapmaları (a) 80°C (b) 75°C (c) 70°C

Figure 13. Margin of deviations of the models (a) 80°C (b) 75°C (c) 70°C

### 3.3 Tartışma

#### 3.3. Discussion

Tarımsal kurutma işlemlerinin modellenmesi çalışmalarında, genellikle regresyon analizinin kullanıldığı görülmektedir. Regresyon ile RMSE değerinin en az 0.0271 gr'a kadar düşürülebildiği bildirilmiştir (Karacabey vd., 2020). Bu çalışmadaki regresyon analizlerinden en fazla 0.015932 gr RMSE değeri elde edilmiştir. Bu durum bu alanda yapılan çalışmalardan daha iyi bir sonuç elde edildiğini göstermektedir. Kurutma modellerinin regresyon ile üretildiği bir başka

çalışmada ise karşılaştırılan on iki adet model arasında sadece bir adetinde 0.007 gr. bir hata ile tahmin elde edilebildiği, diğerlerinde ise en az 0.011 gr olduğu görülmüştür (Çelen vd., 2016). Bu çalışmada, tahmin performansı 0.000208 gr olarak elde edilen MLP ağının kullanımının, çok daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. LSTM' nin MLP ağına kıyasla yetersiz kalmasının nedeni, eğitimi için çokça veri gerektirmesidir. Kurutma işleminde ise çokça veri bulunmadığından dolayı LSTM' nin başarısını yeterince gösteremediği düşünülmüştür. Farklı kurutma çalışmalarından bildirilen sonuçlar Tablo 10'da kıyaslanmıştır.

Tablo 10. Mevcut ve literatürdeki kurutma çalışmalarının kıyaslanması

Table 10. Comparison of proposed and drying studies in the literature

Kaynak	Kurutma türü	Model	Performans (RMSE, gr)
Mevcut çalışma	Organomineral bitki besini	MLP	0.000207
		LSTM	0.019
		Regresyon	0.049
		YSA Reg.	0.152
(Perazzini vd., 2013)	Katı atık	MLP	0.255
		Regresyon	0.3728
(Estiati vd., 2016)	Biyokütle	MLP	0.9727
		HHV	0.9027
(Omari vd., 2018)	Mantar	MLP	0.2179
(Sun vd., 2016)	Katı atık	MLP	0.401
(Naqvi vd., 2018)	Küllü çamur	MLP	0.852

## 4 Sonuç

### 4. Conclusion

Endüstriyel kurutma işlemlerinde, ürün kalitesi ve işlem verimliliği için optimum kurutma parametrelerin kullanılması gerekmektedir. Bu parametreler, ürün türüne göre farklı değerler alabilmektedirler. Parametrelerin tespiti için pek çok yöntem denenmektedir. Bu çalışma kapsamında, tarım endüstrisinde önemli problemlerin başında gelen organomineral bir gübrenin kuruma davranışının modellenmesi amaçlanmıştır. Sadece regresyon değil, aynı zamanda MLP ve LSTM modellerinin performansları da araştırılmıştır. Regresyon yöntemi olarak, üstel fonksiyon kullanılmıştır. Bununla birlikte kovaryans çekirdek fonksiyonuna sahip, YSA esaslı Gauss regresyonu da incelenmiştir. Modellerin sadece mevcut veri üzerindeki performansları değil, aynı zamanda veri kümesi dışındaki tahmin performansları da kıyaslanmıştır. İsbetli tahminler, bu alanda faaliyet gösteren firmalara hızlilik ve rekabet gücü katması açısından öneme sahiptir. Çalışma sonunda elde edilmiş olan temel çıkarımlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Gübre kurutma işleminde, YSA esaslı regresyonlar da dâhil tüm regresyonlar, sadece mevcut veriyi modellemede kullanışlı iken, ileriye yönelik tahminler için kullanışlı değildirler. YSA esaslı regresyonun, kurutma eğrilerinin sahip olduğu tepe ve çukurlukları temsil edebilme yeteneği, doğrusal olmayan regresyona göre daha yüksektir.
- MLP ağının eğitimlerinde kullanılan veri kümesinin bölünmesi, ağ başarısı üzerinde etkilidir. %80 eğitim, %10 doğrulama ve %10 test bölünmesi, en başarılı ağı oluşturmuştur. Gizli katmandaki nöron sayılarının optimum değeri 6 olarak belirlenmiştir.
- MLP ve LSTM ağları, hem mevcut veriyi modellemede hem de ileriye yönelik tahminlemelerde regresyon denklemlerinden daha başarılı performans sergilemektedirler. MLP ve LSTM kendi içerisinde kıyaslandığında, gübre kurutma tahminleri için, MLP'nin performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Mevcut veriyi modellemede, MLP ile yapılan regresyonda korelasyon 1'e eşit veya çok yakın çıkmış ve hata değerleri ise 15 mgr olmuştur. MLP, LSTM yöntemlerinin, kurutma eğrilerinin sahip olduğu tepe ve çukurlukları temsil

edebilme yeteneği, regresyonlara göre daha yüksektir.

- Sıcaklıklar, modellerin tahmin performansı üzerinde etkilidir. MLP ve LSTM eğrileri, deneysel eğriyi en iyi, 75°C'deki kurutma işleminde temsil edebilmişlerdir.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Bu çalışmanın inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları değerli katkılardan dolayı; derginin editör, hakem ve emeği geçenlerine içten teşekkür ederiz.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Yazarlar araştırmaya eşit oranda katkı sağlamışlardır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

Bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler, etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmemektedir.

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

- Adıyaman, F. (2007). *Talep Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Amini, G., Salehi F., & Rasouli M. (2021). Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15258. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15258>
- Anderson, D., & McNeill, G. (1992). *Artificial neural networks technology*. Rome Laboratory. A011.
- Bayır, F. (2006). *Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].

- Beigi, M., & Torki, M. (2021). Experimental and ANN modelling study on microwave dried onion slices. *Heat and Mass Transfer*, 57, 787–796. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02997-5>
- Bidgoli, M.R., Kolahchi R., & Karimi M.S. (2016). An experimental study and new correlations of viscosity of ethylene glycol-water based nanofluid at various temperatures and different solid concentrations. *Structural Engineering and Mechanics*, 58(1), 93-102. <https://doi.org/10.12989/sem.2016.58.1.093>
- Brownlee, J. (2018, 12 Aralık). *A gentle introduction to K-fold cross-validation*. Machine Learning Mastery. <https://machinelearningmastery.com/k-fold-cross-validation/>
- Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y., & Karakuzu, C. (2012). Levenberg-Marquardt algoritması ile YSA eğitiminin donanımsal gerçekleşmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5(1).
- Çelen, S., Buluş, H. N. Moralar, A., Haksever, A., & Özsoy, E. (2016). Availability and Modelling of Microwave Belt Dryer in Food Drying. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 13(04), 71-83.
- Eaton J. W. (2022). *GNU Octave*. Free Software Foundation. Association of volunteers.
- Erenturk, S., & Erenturk, K. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering*, 78, 905-912. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.031>
- Estiati, I., Freire, F. B., Freire, J. T., Aguado, R., & Olazar, M. (2016). Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass. *Fuel*, 180, 377-383. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.051>
- Heris, S.M.K. (2015). *Time-series prediction using ANFIS*. Yarpiz©.
- Karacabey, E., Aktaş, T., Taşeri, L., & Seçkin, G. U. (2020). Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde farklı kurutma yöntemlerinin kurutma kinetiği, enerji tüketimi ve ürün kalitesi açısından incelenmesi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(1), 53-65. <https://doi.org/10.33462/jotaf.578962>
- Kaveh, M., Sharabiani, V. R., Chayjan, R. A., Taghinezhad, E., Abbaspour-Gilaneh, Y., & Golpour, I. (2018). ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under a convective hot air dryer. *Information Processing in Agriculture*, 18(1), 45. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.003>
- Khanlari, A., Güler, H.O., Tuncer, A.D., Sirin, C., Bilge, Y.C., Yılmaz, Y., & Güngör, A. (2020). Experimental and numerical study of the effect of integrating plusshaped perforated baffles to solar air collector in drying application. *Renew. Energy*, 145, 1677–1692. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.076>
- Kılıç, F. (2021). Effects of three drying methods on kinetics and energy consumption of carrot drying process and modelling with artificial neural networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(12), 1468-1485. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1832163>
- Köklü, N., Büyüköztürk, Ş., & Çokluk-Bökeoğlu Ö. (2006). *Sosyal bilimler için istatistik* (25. baskı), Ankara: Pegem Yayıncılık.
- Lertworasirikul, S., & Tipsuwan, Y. (2008). Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. *Journal of Food Engineering*, 84, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.019>
- Mansuroğlu, N.P., Yazıcı, E., Önder, S., & Karaç, A.C. (2020). Maltodekstrin-nohut proteini izolati matrisinde karabiber tohumu yağının püskürtmeli kurutma metodu ile enkapsülasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 877-882. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.649969>
- MathWorks. (2022, July 30). *Kernel (Covariance) Function Options*. <https://www.mathworks.com/help/stats/kernel-covariance-function-options.html>.
- MathWorks. (2022, July 30). *Statistics and Machine Learning Toolbox*. [https://www.mathworks.com/help/stats/index.html?s\\_tid=CRUX\\_lftnav](https://www.mathworks.com/help/stats/index.html?s_tid=CRUX_lftnav).
- Million, E. (2022, April 12). *The Hadamard Product*. *Linear Algebra*. <https://buzzard.ups.edu>.
- Moreno, J.J.M., Pol, A.P., Abad, A.S., & Blasco, B.C., (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500-506. <https://doi.org/10.7334/psicothema2013.23>
- Nakilcioğlu-Taş, E., & Ötleş S. (2021). Zeytin çekirdeği antioksidanlarının dondurarak kurutma tekniği ile mikroenkapsülasyonu: Toz ürünün fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 140-149. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.740797>

- Naqvi, S.R., Rumaisa, T., Zeeshan, H., Imtiaz A., Syed A. T., Muhammad N., Niazi, M. B. K., Tayyaba N., & Wasif F., (2018). Pyrolysis of high-ash sewage sludge: Thermo-kinetic study using TGA and artificial neural networks. *Fuel*, 233, 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.089>
- Omari, A., N. Behrooz-Khazaei, & F. Sharifian, (2018). Drying kinetic and artificial neural network modelling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. *Journal of Food Process Engineering*, e12849. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12849>
- Onu, C. E., Igbokwe, P. K., Nwabanne, J. T., & Ohale, P.E. (2022). ANFIS, ANN, and RSM modelling of moisture content reduction of cocoyam slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16032. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16032>
- Öğündür, G., (2019, April 08). *Overfitting (aşırı öğrenme), underfitting (eksik öğrenme) ve bias-variance çelişkisi*. Medium. <https://medium.com/@gulcanogundur/overfitting-aşırı-öğrenme-underfitting-eksik-öğrenme-ve-bias-variance-çelişkisi-b92bef2f770d>
- Park I., Kim, H. S., Lee J., Kim, J. H., Song, C. H., & Kim, H. K. (2019). Temperature prediction using the missing data refinement model based on a long short-term memory neural network. *Atmosphere (Basel)*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.3390/atmos10110718>
- Perazzini, H., Freire, F., & Freire, J. (2013). Drying kinetics prediction of solid waste using semi-empirical and artificial neural network models. *Chemical Engineering & Technology*, 36(7), 1193-1201. <https://doi.org/10.1002/ceat.201200593>
- Polatoğlu, B., & Beşe, A.V. (2017). Kızılcık meyvesinin (cornus mas. L) konvektif kurutulması: kuruma kinetiği ve c vitamini bozulması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 406-414. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341200>
- Poonnoy, P., Tansakul, A., & M. Chinnan, (2007). Artificial neural network modelling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave-vacuum drying. *JFS E: Food Engineering and Physical Properties*, 72(1), 42-47. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00220.x>
- Sekertekin, A., Bilgili, M., Arslan, N., Yildirim, A., Celebi, K., & Ozbek, A. (2021). Short-term air temperature prediction by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and long short-term memory (LSTM) network. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(3), 943-959. <https://doi.org/10.1007/s00703-021-00791-4>
- Sit, H., (2019, January 18). *Quick start to Gaussian process regression*. Towards data science. <https://towardsdatascience.com/quick-start-to-gaussian-process-regression-36d838810319>
- Taheri, S., Brodie, G., & Gupta, D. (2021). Optimised ANN and SVR models for online prediction of moisture content and temperature of lentil seeds in a microwave fluidised bed dryer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106003. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106003>
- Tarafdar, A., Jothi, N., & Kaur, B. (2021). Mathematical and artificial neural network modeling for vacuum drying kinetics of moringa olifera leaves followed by determination of energy consumption and mass transfer parameters. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24, (100306). <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100306>
- Topuz, A., (2010). Predicting moisture content of agricultural products using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 41(3), 464-470. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.10.003>
- Yifei, S., Lina, L., Qiang, W., Xiaoyi, Y., & Xin, T., (2016). Pyrolysis products from industrial waste biomass based on a neural network model. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 120, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.04.013>
- Zadhossein, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Szymanek, M., Khalife, E., Samuel, O. D., Amiri M., & Dziwulski, J. (2021). Exergy and energy analyses of microwave dryer for cantaloupe slice and prediction of thermodynamic parameters using ANN and ANFIS algorithms. *Energies*, 14(16), 4838. <https://doi.org/10.3390/en14164838>

## A novel distance measure for simplified neutrosophic sets with its applications in pattern recognition

*Örüntü tanımadaki uygulamalarıyla basitleştirilmiş nütrosöfik kümeler için yeni bir mesafe ölçüsü*

**Mesut KARABACAK\*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Atatürk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Erzurum, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 23.09.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 10.10.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 13.10.2022

### Abstract

The simplified neutrosophic set (SNS) is an essential modelling technique for effectively modelling and expressing inconsistent and ambiguous information. A crucial tool often utilized in a number of contexts, from clustering approach to medical diagnostics, is the distance measure. Although there are several distance measures in neutrosophic literature, some of them have the drawback of not providing the general requirements of the distance measure for certain particular values. We introduce a brand-new distance measure in this paper to deal with the relationship between two SNSs. When compared to alternative distance measures that are already in use, it appears that the new distance measure produces better results. The suggested distance measure has been put to use in a number of numerical instance concerning pattern recognition that is medical diagnosis.

**Keywords:** Simplified neutrosophic set, Pattern recognition, Distance measure, Medical diagnosis

### Öz

*Basitleştirilmiş nütrosöfik küme (BNK), tutarsız ve belirsiz bilgileri etkili bir şekilde ifade etmek ve işlemek için temel bir modelleme tekniğidir. Kümeleme analizinden tıbbi teşhise kadar birçok bağlamda sıklıkla kullanılan önemli bir araç, mesafe ölçümüdür. Nütrosöfik literatüründe birkaç uzaklık ölçütü olmasına rağmen, bunlardan bazıları belirli değerler için mesafe ölçüsünün genel gereksinimlerini sağlamama dezavantajına sahiptir. Bu yazıda iki basitleştirilmiş nütrosöfik küme arasındaki ilişkiyi ele almak için yepyeni bir mesafe ölçüsü sunuyoruz. Hâlihazırda kullanımda olan alternatif mesafe ölçüleri ile karşılaştırıldığında, yeni mesafe ölçüsünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Önerilen mesafe ölçüsü, tıbbi teşhis de olmak üzere örüntü tanıma ile ilgili sayısal bir örnekte kullanıma sunulmuştur.*

**Anahtar kelimeler:** Basitleştirilmiş nütrosöfik kümeler, Örüntü tanıma, Mesafe ölçüsü, Tıbbi teşhis

\*Mesut KARABACAK; mkarabacak@atauni.edu.tr, Tel: (0442) 231 15 57, orcid.org/0000-0002-0057-8115

## 1. Introduction

### 1. Giriş

In a world full of uncertainty, clustering approaches and pattern recognition are two of the most crucial scientific areas. The intricacy of the data or information pertaining to the issue area makes it impossible to handle the uncertain data with standard tools. Therefore, the necessity for new modelling tool development is unavoidable. First, in 1965, Zadeh (1965) introduced the fuzzy sets (FSs). The fact that each of its members has only one membership degree is its most obvious trait. Since the FSs definition, other scholars have attempted to glean various expansions of this idea. The FSs were extended by Atanassov (1986) to intuitionistic fuzzy sets (IFSs). Each of its members has a degree of membership and non-membership, which is one of its distinctive features. Then, two of the most important information metrics are the distance measure and its counterpart, the similarity measure. Many scholars have used the measures for clustering analysis and pattern recognition (Balopoulos, 2007; Hatzimichailidis et al., 2012; Khatibi & Montazer, 2009; Tian, 2013; Zhang et al., 2007; Wang et al., 2011). FSs, and IFSs in the methodologies discussed above can only manage uncertainty and partial information; inconsistent and ambiguous information, which frequently exists in the actual life, cannot be handled. The idea of neutrosophic sets (NSs), which is an extension of FSs and IFSs, was developed philosophically by Smarandache (1999) in order to more effectively handle inconsistent and uncertain information. Its distinguishing feature is that each of its members has separately earned degrees in truth-membership, indeterminate-membership, and falsity-membership. However, applying NSs to actual decision-making problems is challenging. The definitions of a single-valued neutrosophic set (SVNS) and a simplified neutrosophic set (SNS), which are the subclasses of a neutrosophic set, were derived by Wang et al. (2010) and Ye (2014), respectively to address this issue. Both SVNS and SNSs have been used widely for modelling ambiguous and inconsistent information that is occurred in clustering approaches, machine learning, medical diagnosis, and pattern recognition because evolving technology necessitates an increasing amount of information processing processes. Two crucial tools are utilized to assess the similarity or difference between items in an uncertain environment: the similarity and distance measures. Because of their capacity to handle ambiguity and the fact that they have accumulated numerous works the related with similarity or distance measurements in

neutrosophic environment, increasing numbers of researchers have begun to explore SVNSs and SNSs (Mondal et al., 2018; Pramanik et al., 2017; Majumdar & Samanta, 2014; Ren et al., 2019; Ye and Fu, 2016; Shahzadi et al., 2017; Şahin & Liu, 2015; Şahin & Küçük, 2015; Şahin, 2019; Ye, 2014a, 2014b, 2014c, 2015, 2016, 2017a, 2017b; Luo & Zhao, 2018; Köseoğlu, 2022a, 2022b).

Even though the current distance measurement considers how elements interact, some situations frequently yield irrational findings (see Example 1). As a result, it is currently unclear how to produce a reliable distance measurement. We provide a unique distance between SNSs matching the axiomatic definition in Section 3 to address these circumstances.

In a broader sense, this study suggests a novel distance measure of SNSs and uses it to solve decision-making issues. Thus, the remainder of the study is put together as follows. We present a summary of several fundamental SNS ideas in Section 2. The Section 3 examines the shortcomings of the current SNS distance measures. Additionally, we construct a SNS distance measure and go through some of its characteristics. In Section 4, the established distance measure is employed to address a problem of pattern recognition concerning medical diagnosis to show their efficacy and validity. Final section provides conclusions.

## 2. Neutrosophic sets

### 2. Nötrosifik kümeler

To accomplish the objectives, we succinctly outline certain fundamental concepts pertaining to single-valued neutrosophic sets and associated distance measures from axiomatic qualities in this section.

**Definition 1.** (Smarandache, 1999) Let  $X$  be a space of points (objects) and  $x \in X$ . A neutrosophic set  $A$  in  $X$  is defined by a truth-membership function  $T_A(x)$ , an indeterminacy-membership function  $I_A(x)$  and a falsity-membership function  $F_A(x)$ .  $T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  and  $F_A(x)$  are real standard or real nonstandard subsets of  $]0^-, 1^+[$ . That is  $T_A(x): X \rightarrow ]0^-, 1^+[$ ,  $I_A(x): X \rightarrow ]0^-, 1^+[$  and  $F_A(x): X \rightarrow ]0^-, 1^+[$ . There is not restriction on the sum of  $T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  and  $F_A(x)$ , so  $0^- \leq \sup T_A(x) \leq \sup I_A(x) \leq \sup F_A(x) \leq 3^+$ .

**Definition 2.** (Ye, 2014) Let  $X$  be a discourse universe, then a simplified neutrosophic set (SNS) is defined as:

$$A = \{(x, T_A(x), I_A(x), F_A(x)): x \in X\} \quad (1)$$

where,  $T_A: X \rightarrow [0,1]$ ,  $I_A: X \rightarrow [0,1]$  and  $F_A: X \rightarrow [0,1]$  with  $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$  for all  $x \in X$ . The values  $T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  and  $F_A(x)$  express the degree of truth-membership, the degree of indeterminacy-membership and the degree of falsity membership of  $x$  to  $A$ , respectively.

**Definition 3.** (Ye, 2014) The complement of simplified neutrosophic set  $A$  is denoted by  $A^c$  and is defined as  $T_A^c(x) = F_A(x)$ ,  $I_A^c(x) = 1 - I_A(x)$ , and  $F_A^c(x) = T_A(x)$  for all  $x \in X$ . That is,

$$A^c = \{(x, F_A(x), 1 - I_A(x), T_A(x)): x \in X\}. \quad (2)$$

**Definition 4.** (Ye, 2014) A simplified neutrosophic set  $A$  is contained in the other simplified neutrosophic set  $B$ ,  $A \subseteq B$ , iff  $T_A(x) \leq T_B(x)$ ,  $I_A(x) \geq I_B(x)$  and  $F_A(x) \geq F_B(x)$  for each  $x \in X$ . The SNSs  $A$  and  $B$  are equal, denoted as  $A = B$ , iff  $A \subseteq B$  and  $B \subseteq A$ .

The collection of all the SVNSs in  $X$  shall be referred to as  $SNS(X)$ .

### 3. A new distance measure of SNSs

#### 3. BNK'lerin yeni bir mesafe ölçüsü

In this section, firstly, the existing distance measures for the SNSs are presented, and secondly, a new distance measure is defined.

#### 3.1. The existing distance measure of SNSs

##### 3.1.1. BNK'lerin varolan mesafe ölçüleri

Suppose that  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  is a discussion universe, and  $A$  and  $B$  are two SNSs in  $U$ . Then the some current distance measures between SNSs  $A$  and  $B$  can be presented as follows:

$$\text{For } \Delta T(x_i) = |T_A(x_i) - T_B(x_i)|, \quad \Delta I(x_i) = |I_A(x_i) - I_B(x_i)|, \quad \text{and } \Delta F(x_i) = |F_A(x_i) - F_B(x_i)|,$$

(1) The extended Hausdorff distance (Şahin and Küçük, 2014):

$$D_H(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(\Delta T(x_i), \Delta I(x_i), \Delta F(x_i))$$

(2) The normalized-Hamming distance (Majumdar and Samanta, 2014):

$$D_{NH}(A, B) = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n (\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i))$$

(3) The normalized-Euclidean distance (Majumdar and Samanta, 2014):

$$D_{NE}(A, B) = \left\{ \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n (\Delta T(x_i)^2 + (\Delta I(x_i))^2 + (\Delta F(x_i))^2) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

(4) The similarities of cosine (Ye, 2015):

$$S_{Cos1}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \left\{ \frac{\pi(\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i))}{6} \right\}$$

$$S_{Cos2}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \left\{ \pi \frac{\max(\Delta T(x_i), \Delta I(x_i), \Delta F(x_i))}{2} \right\}$$

and the distances between them are shown by  $D_{C1}(A, B) = 1 - S_{C1}(A, B)$  and  $D_{C2}(A, B) = 1 - S_{C2}(A, B)$ .

(5) The cotangent similarities (Ye, 2017a):

$$S_{Cot1}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cot \left\{ \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{12} (\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i)) \right\},$$

$$S_{Cot2}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cot \left\{ \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} (\max(\Delta T(x_i), \Delta I(x_i), \Delta F(x_i))) \right\},$$

and the distances between them are shown by  $D_{Co}(A, B) = 1 - S_{Co}(A, B)$  and  $D_{Co2}(A, B) = 1 - S_{Co2}(A, B)$ .

(6) The tangent similarities (Ye and Fu, 2016):

$$S_{Tan1}(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan \left\{ \frac{\pi(\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i))}{12} \right\},$$

$$S_{Tan2}(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan \left\{ \pi \frac{\max(\Delta T(x_i), \Delta I(x_i), \Delta F(x_i))}{4} \right\},$$

and the distances between them are shown by  $D_{Tan1}(A, B) = 1 - S_{Tan1}(A, B)$  and  $D_{Tan2}(A, B) = 1 - S_{Tan2}(A, B)$ .

(7) The logarithmic similarities (Mondal et al., 2018):

$$S_{L1}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 \left\{ 2 - \left( \frac{1}{3} (\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i)) \right) \right\}$$

$$S_{L2}(A, B) = \frac{1}{n} \left( \lambda \left[ \sum_{i=1}^n \log_2 \left\{ 2 - \left( \frac{1}{3} (\Delta T(x_i) + \Delta I(x_i) + \Delta F(x_i)) \right) \right\} \right] + (1 - \lambda) \left[ \sum_{i=1}^n \log_2 \left\{ 2 - \max \left( \frac{1}{3} (\Delta T(x_i), \Delta I(x_i), \Delta F(x_i)) \right) \right\} \right] \right)$$

and distances between them are shown by  $D_{L1}(A, B) = 1 - S_{L1}(A, B)$  and  $D_{L2}(A, B) = 1 - S_{L2}(A, B)$ .

The aforementioned measures have been widely employed, but they also have some disadvantages,

which are demonstrated with the help of the next numerical example.

**Example 1.** Let  $A, B, C$  and  $D$  be four SNSs on  $X$ , given by  $A = \{\langle 0.5, 0, 0 \rangle, \langle 0, 0.6, 0 \rangle\}$ ,  $B = \{\langle 0, 0.3, 0 \rangle, \langle 0.4, 0, 0 \rangle\}$ ,  $C = \{\langle 0, 0, 0.3 \rangle, \langle 0.4, 0, 0 \rangle\}$ . If we apply the existing measures (Şahin and Küçük, 2014; Majumdar and Samanta, 2014; Majumdar and Samanta, 2014; Ye, 2015; Ye, 2017a; Ye and Fu, 2016; Mondal et al., 2018) defined above, then we obtain the following:

**Table 1.** Computed values of distances regarding Example 1.

**Tablo 1.** Örnek 1 ile ilgili hesaplanan mesafe değerleri

Pair	$D_H$	$D_{NH}$	$D_{NE}$	$D_{Cos1}$	$D_{Cos2}$	$D_{Tan1}$	$D_{Tan2}$	$D_{L1}$	$D_{L2}$	$D_{Cot1}$	$D_{Cot2}$
(A, B)	0.550	0.300	0.379	0.110	0.353	0.240	0.717	0.235	0.327	0.387	0.630
(A, C)	0.550	0.300	0.379	0.110	0.353	0.240	0.717	0.235	0.327	0.387	0.630

According to Table 1, for the simplified neutrosophic sets  $A, B$  and  $C$ , if the distance measures between sets  $A$  and  $B$ , and  $A$  and  $C$  are equal, it is expected that sets  $B$  and  $C$  will be equal, but none of the distance measures discussed above can meet this expectation. Thus, we conclude that these measures are unable and inconsistent to perform the information measure between SNSs. Then, we can say that the distance measures defined above are not accurate and useful in actual decision-making circumstances.

As a result, it is necessary to create a new measure of distance in order to resolve the disadvantages of the current measures.

### 3.2. The proposed measure for SNSs

#### 3.1. BNK'ler için amaçlanan mesafe ölçüsü

**Definition 5.** A mapping  $D: SNS(X) \times SNS(X) \rightarrow [0,1]$  is a distance measure of the SNSs if it meets the following conditions:

- (D1)  $0 \leq D(A, B) \leq 1$  for all  $A, B \in SNS(X)$ ,
- (D2)  $D(A, A) = 0$  for all  $A \in SNS(X)$ ,
- (D3)  $D(A, B) = D(B, A)$  for all  $A, B \in SNS(X)$ .
- (D4) For all  $A, B, C \in SNS(X)$ , if  $A \subseteq B \subseteq C$ , then  $\max\{D(A, B), D(B, C)\} \leq D(A, C)$ .

There are a basic relation between distance and similarity measures

That is, for  $A, B \in SNS(X)$ , it follows that  $S(A, B) = 1 - D(A, B)$ .

**Definition 6.** Let  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  be a discourse universe and  $A, B$  be two arbitrary SNSs in  $X$ . Then a distance measure between SNSs is define by

$$D_M(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{D_i^T(A, B) + D_i^I(A, B) + D_i^F(A, B)}{3}, \quad (3)$$

where

$$D_i^T(A, B) = 1 - \frac{e^{-|T_A(x_i) - T_B(x_i)| - e^{-1}}}{1 - e^{-1}}, \quad D_i^I(A, B) = |I_A(x_i) - I_B(x_i)|, \quad \text{and} \quad D_i^F(A, B) = \left| \sqrt{F_A(x_i)} - \sqrt{F_B(x_i)} \right| \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

**Proposition 1.** Let  $X$  be a discourse universe. Then  $D_i^T(A, B)$ ,  $D_i^I(A, B)$  and  $D_i^F(A, B)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) meet the following requirements:

- (1)  $0 \leq D_i^T(A, B), D_i^I(A, B), D_i^F(A, B) \leq 1$  for all  $A, B \in SNS(X)$ ,
- (2)  $D_i^T(A, A) = 0, D_i^I(A, A) = 0, D_i^F(A, A) = 0$  for all  $A, B \in SNS(X)$ ,
- (3)  $D_i^T(A, B) = D_i^T(B, A), D_i^I(A, B) = D_i^I(B, A)$  and  $D_i^F(A, B) = D_i^F(B, A)$  for all  $A, B \in SNS(X)$ ;
- (4) For all  $A, B$  and  $C \in SNS(X)$ , if  $A \subseteq B \subseteq C$  then  $\max\{D_i^T(A, B), D_i^T(B, C)\} \leq D_i^T(A, C)$ ,  $\max\{D_i^I(A, B), D_i^I(B, C)\} \leq D_i^I(A, C)$ ,  $\max\{D_i^F(A, B), D_i^F(B, C)\} \leq D_i^F(A, C)$ .

**Proof.** (1) For  $A, B \in SNS(X)$ , we have  $0 \leq |T_A(x_i) - T_B(x_i)| \leq 1, 0 \leq |I_A(x_i) - I_B(x_i)| \leq 1,$



$$0 \leq \left| \sqrt{F_A(x_i)} - \sqrt{F_B(x_i)} \right| \leq 1 \quad \text{and} \quad e^{-1} \leq e^{-|T_A(x_i) - T_B(x_i)|} \leq 1.$$

(2) For  $A, B \in SNS(X)$  and  $A = B$ , we have  $T_A(x_i) = T_B(x_i)$ ,  $I_A(x_i) = I_B(x_i)$ , and  $F_A(x_i) = F_B(x_i)$ . Then it means that  $D_i^T(A, B) = 0, D_i^I(A, B) = 0, D_i^F(A, B) = 0$ .

(3) It is obvious.

(4) For all  $A, B, C \in SNS(X)$  and  $A \subseteq B \subseteq C$ , we have  $T_A(x_i) \leq T_B(x_i) \leq T_C(x_i)$ ,  $I_C(x_i) \leq I_B(x_i) \leq I_A(x_i)$ , and  $F_C(x_i) \leq F_B(x_i) \leq F_A(x_i)$ . Then, it follows that  $|T_A(x_i) - T_B(x_i)| \leq |T_A(x_i) - T_C(x_i)|$  and  $|T_B(x_i) - T_C(x_i)| \leq |T_A(x_i) - T_C(x_i)|$  for all  $i = 1, 2, \dots, n$  and so we have  $e^{-|T_A(x_i) - T_C(x_i)|} \leq e^{-|T_A(x_i) - T_B(x_i)|}$  and  $e^{-|T_A(x_i) - T_C(x_i)|} \leq e^{-|T_B(x_i) - T_C(x_i)|}$  and thus

(5)

$$1 - \frac{e^{-|T_A(x_i) - T_B(x_i)| - e^{-1}}}{1 - e^{-1}} \leq 1 - \frac{e^{-|T_A(x_i) - T_C(x_i)| - e^{-1}}}{1 - e^{-1}}$$

and

$$1 - \frac{e^{-|T_B(x_i) - T_C(x_i)| - e^{-1}}}{1 - e^{-1}} \leq 1 - \frac{e^{-|T_A(x_i) - T_C(x_i)| - e^{-1}}}{1 - e^{-1}}.$$

Then we have  $\max\{D_i^T(A, B), D_i^T(B, C)\} \leq D_i^T(A, C)$ . Moreover, since  $|T_A(x_i) - T_B(x_i)| \leq |T_A(x_i) - T_C(x_i)|$  and  $|T_B(x_i) - T_C(x_i)| \leq |T_A(x_i) - T_C(x_i)|$ , this implies that  $\max\{|T_A(x_i) - T_B(x_i)|, |T_B(x_i) - T_C(x_i)|\} \leq |T_A(x_i) - T_C(x_i)|$  for all  $i = 1, 2, \dots, n$ . Then  $\max\{D_i^T(A, B), D_i^T(B, C)\} \leq D_i^T(A, C)$ . Finally, the other can be shown similarly.

**Theorem 1.** For  $A, B \in SNS(X)$ , the expression  $D_M(A, B)$  meets the following conditions:

- (1)  $0 \leq D_M(A, B) \leq 1$  for all  $A, B \in SNS(X)$ ,
- (2)  $D_M(A, A) = 0$  for all  $A \in SNS(X)$ ,
- (3)  $D_M(A, B) = D_M(B, A)$  for all  $A, B \in SNS(X)$ .
- (4) For all  $A, B, C \in SNS(X)$ , if  $A \subseteq B \subseteq C$ , then  $\max\{D_M(A, B), D_M(B, C)\} \leq D_M(A, C)$ .

**Proof.** It is easy to prove this proof from Proposition 1.

The benefits of the proposed distance measure above all other distance measures, which are based on a number of counterintuitive instances, are presented in the subsection through a comparative analysis.

**Example 2.** If we apply the proposed distance measure  $D$  on the data considered in Example 1, then we obtain  $D(A, B) = 0.341$  and  $D(A, C) = 0.382$ . With this result, we can easily see that the distance measure developed meets the expectation  $B \neq C$ . Above all, we might easily hope that the created distance measure may resolve the circumstances when the conventional distance measurements lead to counterintuitive results. As a result, the established distance measure is the most logical one.

#### 4. Applications

##### 4. Uygulamalar

Pattern recognition is a well-known application area in the field of medicine, and its numerous uses are supplied based on neutrosophic data (Broumi and Smarandache, 2015; Mondal et al., 2018; Shahzadi et al., 2017; Ye, 2015; Ye and Fu, 2016). We provide a different approach to address the issue of medical diagnosis in light of the recently created distance measure. Then, we can create a useful pattern recognition method for SNSs as follows:

Let  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  be a discourse universe. Suppose that there exist  $m$  patterns which are characterized by the form of SNSs, denoted by  $K_j = \{(x_i, T_{K_j}(x_i), I_{K_j}(x_i), F_{K_j}(x_i)) : x_i \in X\}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) in  $X$  and assume there is a sample pattern presented by an SNS  $S = \{(x_i, T_S(x_i), I_S(x_i), F_S(x_i)) : x_i \in X\}$ . The recognition technical is as follows:

**Step 1.** Obtain the distance measure  $D(K_j, P)$  between  $K_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) and  $P$ .

**Step 2.** Determine the minimum one  $D(K_{j_0}, P)$  from  $D(K_j, P)$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), that is,  $D(K_{j_0}, P) = \min_{1 \leq j \leq m} \{D(K_j, P)\}$ . Thus, the sample pattern  $P$  belongs to the category of pattern  $K_{j_0}$ .

**Example 3. (Medical diagnosis)** Let us consider the medical diagnosis problem adapted from (Ye, 2015). Assume that a set of diagnoses is

$$K = \left\{ \begin{array}{l} K_1 \text{ (viral fever), } K_2 \text{ (malaria),} \\ K_3 \text{ (typhoid), } K_4 \text{ (gastritis), } K_5 \text{ (stenocardia)} \end{array} \right\}$$

and a set of symptoms is

$$S = \left\{ \begin{matrix} s_1 \text{ (fever)}, s_2 \text{ (headache)}, s_3 \text{ (stomach pain)}, \\ s_4 \text{ (cough)}, s_5 \text{ (chest pain)} \end{matrix} \right\}$$

The characteristics of the disorders under consideration are shown in Table 2, together with the neutrosophic symptom levels (represented by SNSs) for each. The truth-membership, indeterminacy-membership, and falsity-membership values are used to describe the neutrosophic symptom values as a triple of numbers.

Suppose that we have a sample from patient P in the field of medical diagnosis who has all symptoms, which are characterized by the SNS data:

$$P(\text{patient}) = \left\{ \begin{matrix} \langle s_1, 0.8, 0.2, 0.1 \rangle, \langle s_2, 0.6, 0.3, 0.1 \rangle, \langle s_3, 0.2, 0.1, 0.8 \rangle, \\ \langle s_4, 0.6, 0.5, 0.1 \rangle, \langle s_5, 0.1, 0.4, 0.6 \rangle \end{matrix} \right\}$$

**Table 2.** Characteristics of the illnesses that SNSs represent

**Tablo 2.** BNK'ler tarafından temsil edilen hastalıkların karakteristik değerleri.

	$s_1$ (fever)	$s_2$ (headache)	$s_3$ (stomach p.)	$s_4$ (cough)	$s_5$ (chest pain)
$K_1$	$\langle s_1, 0.4, 0.6, 0.0 \rangle$	$\langle s_2, 0.3, 0.5, 0.5 \rangle$	$\langle s_3, 0.1, 0.3, 0.7 \rangle$	$\langle s_4, 0.4, 0.3, 0.3 \rangle$	$\langle s_5, 0.1, 0.2, 0.7 \rangle$
$K_2$	$\langle s_1, 0.7, 0.3, 0.0 \rangle$	$\langle s_2, 0.2, 0.2, 0.6 \rangle$	$\langle s_3, 0.0, 0.1, 0.9 \rangle$	$\langle s_4, 0.7, 0.3, 0.0 \rangle$	$\langle s_5, 0.1, 0.1, 0.8 \rangle$
$K_3$	$\langle s_1, 0.3, 0.4, 0.3 \rangle$	$\langle s_2, 0.6, 0.3, 0.1 \rangle$	$\langle s_3, 0.2, 0.1, 0.7 \rangle$	$\langle s_4, 0.2, 0.2, 0.6 \rangle$	$\langle s_5, 0.0, 0.0, 0.9 \rangle$
$K_4$	$\langle s_1, 0.1, 0.2, 0.7 \rangle$	$\langle s_2, 0.2, 0.4, 0.4 \rangle$	$\langle s_3, 0.8, 0.2, 0.0 \rangle$	$\langle s_4, 0.2, 0.1, 0.7 \rangle$	$\langle s_5, 0.2, 0.1, 0.7 \rangle$
$K_5$	$\langle s_1, 0.1, 0.1, 0.8 \rangle$	$\langle s_2, 0.0, 0.2, 0.8 \rangle$	$\langle s_3, 0.2, 0.0, 0.8 \rangle$	$\langle s_4, 0.2, 0.0, 0.8 \rangle$	$\langle s_5, 0.8, 0.1, 0.1 \rangle$

We now use the algorithm to address the aforementioned diagnosis problem.

**Step1.** Using Eq.(3), we calculate the distance measures  $D(K_j, P)$  between  $K_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) and  $P$ . The obtain results are given in Table 3.

**Table 3.** Distance measure values for SNS information

**Tablo 3.** BNK bilgileri için mesafe ölçüm değerleri

	$K_1$ (viral fever)	$K_2$ (malaria)	$K_3$ (typhoid)	$K_4$ (gastritis)	$K_5$ (stenocardia)
$D(K_i, P)$	0.241	<b>0.205</b>	0.208	0.394	0.408
$D(K_i, P)$ (Ye, 2015)	0.687	<b>0.681</b>	0.692	0.726	0.745
$D(K_i, P)$ (Ye, 2015)	0.704	<b>0.702</b>	0.719	0.796	0.813

We are able to provide the patient P with the appropriate diagnosis by taking into account the distance measure presented in Eq. (3). The highest distance measure suggests the correct diagnosis, according to the theory of minimum distance degree. Table 4 contains the acquired results. By examining the facts in Table 4, we may conclude that the patient P has  $K_2$  (malaria). The end result is same with Ye's approach (2015) yielded.

**4.1. Comparison and discussion of results**

*4.1. Sonuçların tartışılması ve karşılaştırması*

We demonstrate a general comparison study using the provided example to show benefits of the

developed distance measure over the current distance measures.

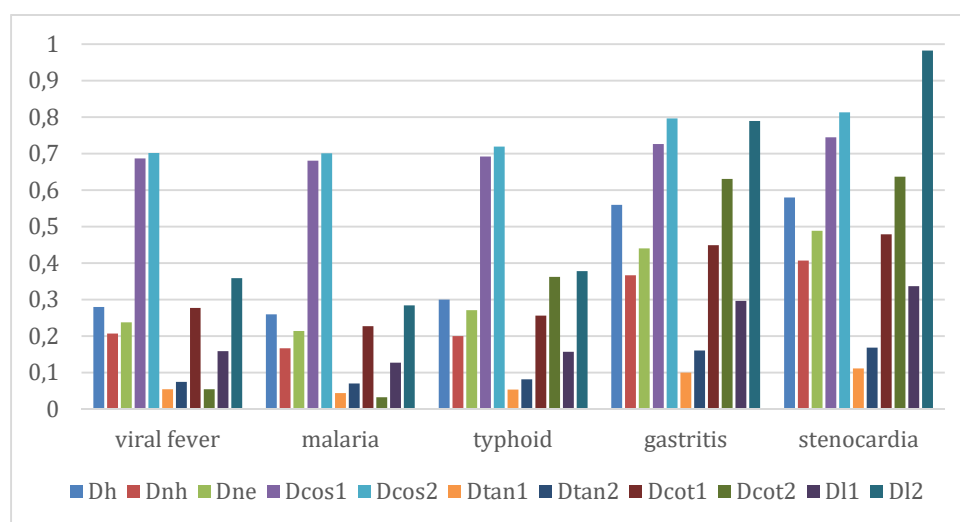
According to Table 4, all of results under different distance measures is same for the related pattern recognition problem. As it was already indicated above, there are significant limitations to the current distance measures in particular situations, and they sometimes cannot account for ludicrous or illogical facts. As a result, the developed distance measure of SNSs is better than the current distance measures of SNSs in that it solves the counter-intuitive cases of the existing distance measures under the simplified neutrosophic information.

**Table 4.** The outcomes of additional distance measurements now in use for the pattern identification issue addressed in Example 1

**Tablo 4.** Örnek 1’de tartışılan örüntü tanıma problemi için mevcut diğer mesafe ölçümlerinden elde edilen sonuçlar

Distance Measure	$K_1$ (viral fever)	$K_2$ (malaria)	$K_3$ (typhoid)	$K_4$ (gastritis)	$K_5$ (stenocardia)	Results
$D_H$	0.280	<b>0.260</b>	0.300	0.560	0.580	$K_2$ - malaria
$D_{NH}$	0.207	<b>0.167</b>	0.200	0.367	0.407	$K_2$ - malaria
$D_{NE}$	0.238	<b>0.214</b>	0.271	0.440	0.489	$K_2$ - malaria
$D_{Cos1}$	0.687	<b>0.681</b>	0.692	0.726	0.745	$K_2$ - malaria
$D_{Cos2}$	0.702	<b>0.701</b>	0.719	0.796	0.813	$K_2$ - malaria
$D_{Tan1}$	0.055	<b>0.044</b>	0.054	0.100	0.112	$K_2$ - malaria
$D_{Tan2}$	0.075	<b>0.070</b>	0.082	0.161	0.169	$K_2$ - malaria
$D_{Cot1}$	0.277	<b>0.227</b>	0.256	0.449	0.479	$K_2$ - malaria
$D_{Cot2}$	0.055	<b>0.033</b>	0.362	0.631	0.637	$K_2$ - malaria
$D_{L1}$	0.159	<b>0.127</b>	0.157	0.297	0.337	$K_2$ - malaria
$D_{L2}$ ( $\lambda = 0.5$ )	0.347	<b>0.269</b>	0.365	0.779	0.981	$K_2$ - malaria

In addition, in Figure 1, we can easily see that the sample has the diagnosis of malaria according to all the discussed distance measures.



**Figure 1.** The results of Example 1 according to the distance measures

**Şekil 1.** Örnek 1’in mesafe ölçülerine göre sonuçları

### 5. Conclusion

#### 5. Sonuç

A fundamental factor in establishing the link between things is the distance measure. Numerous distance measures have been put out in the neutrosophic literature from various viewpoints. However, the majority of them have a few situations that defy logic. This study was created a brand-new SNS distance measure that addresses the circumstances where it is counter-intuitive. The usefulness and benefits of our suggested distance

measure were evaluated through comparison with other existing distance measures. Then, using it to resolve a decision-making issues in a streamlined neutrosophic environment, we applied it to real-world application including medical diagnosis. By examining the data, we can see that the developed distance measure can be used to manage simplified neutrosophic information as well as provide decision-makers. The new SNS distance measurement can be used in subsequent research in fields including cluster approaches, image processing, and decision-making.

**Yazar katkısı***Author contribution*

Bu makalede uygulanan metodoloji, kavramsallaştırma, veri toplama, hesaplama, yazma, görselleştirme ve inceleme işlemleri yazar Mesut KARABACAK tarafından yapılmıştır.

**Etik beyanı***Declaration of ethical code*

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

**Çıkar çatışması beyanı***Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**References***Kaynaklar*

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.

Altun, F., Şahin, R., and Güler, C. (2020). Multi-criteria decision making approach based on PROMETHEE with probabilistic simplified neutrosophic sets. *Soft Computing*, 24(7), 4899–4915.

Balopoulos, V., Hatzimichailidis, A.G., Papadopoulos, B.K. (2007). Distance and similarity measures for fuzzy operators. *InfSci*, 177(11):2336–2348.

Broumi S, Smarandache F (2015) Extended Hausdorff distance and similarity measures for neutrosophic refined sets and their applications in medical diagnosis. *J New Theory* 7:64–78.

Hatzimichailidis, A.G., Papakostas, G.A. and Kaburlasos, V.G. (2012). A novel distance measure of intuitionistic fuzzy sets and its application to pattern recognition problems, *International Journal of Intelligent Systems* 27(4) 396-409.

Khatibi, V. and Montazer, G.A. (2009). Intuitionistic fuzzy set vs. fuzzy set application in medical pattern recognition *Artificial Intelligence in Medicine*. 47, 43-52.

Köseoğlu, A. and Şahin, R. (2021). Correlation coefficients of simplified neutrosophic multiplicative sets and their applications in clustering analysis. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-22.

Köseoğlu, A. (2022a). Subsethood measure for picture fuzzy sets and its applications on multicriteria decision making. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 385-394.

Köseoğlu, A. (2022b). Intuitionistic multiplicative set approach for green supplier selection problem using TODIM method. *Journal of Universal Mathematics*, 5(2), 149-158.

Luo, M. and Zhao, R.A. (2018). Distance measure between intuitionistic fuzzy sets and its application in medical diagnosis, *Artificial Intelligence in Medicine* 89, (2018), 34-39.

Majumdar, P., and Samanta, S.K. (2014). On Similarity and Entropy of Neutrosophic Sets, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 26(3): 1245–1252.

Mondal K, Pramanik S, Giri BC. (2018) Hybrid Binary Logarithm Similarity Measure for MAGDM Problems under SVNS Assessments, *Neutrosophic Sets and Systems*, 20:12-25.

Pramanik S., Biswas, P. and Giri, B.C. (2017). Hybrid vector similarity measures and their applications to multi-attribute decision making under neutrosophic environment. *Neural Computing & Applications*, 28(5): 1163-1176

Ren HP, Xiao SX, Zhou H (2019) A Chi-square distance-based similarity measure of single valued neutrosophic set and applications. *Int J Comput Commun control* 14:78–89.

Shahzadi, G., Akram, M., Borumand A. and Saeid, A.B. (2017). An Application of Single-Valued Neutrosophic Sets in Medical Diagnosis, *Neutrosophic Sets and Systems*, 18.

Şahin, R. and Liu, P.D. (2015). Maximizing deviation method for neutrosophic multiple attribute decision making with incomplete weight information, *Neural Computing and Applications*, <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1995-8>.

Şahin, R. and Küçük, A. (2015). Subsethood measure for single valued neutrosophic sets. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 29(2): 525–530.

Şahin, R. (2019). An approach to neutrosophic graph theory with applications. *Soft Comput.* 23(2), 569-581

Smarandache, F. (1999). A unifying field in logics. neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic, American Research Press, Rehoboth.

Tian, M.Y. (2013). A new fuzzy similarity based on cotangent function for medical diagnosis, *Adv. Model. Optim.* 15 (2) 151–156.

Wang, Z., Xu, Z., Liu, S. and Tang, J. (2011). A Netting Clustering Analysis Method under Intuitionistic Fuzzy Environment, *Applied Soft Computing*, 11, 5558–5564.

Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y.Q. and Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets, *Multispace and Multistructure* 4: 410–413.

Ye, J. (2014a) Single Valued Neutrosophic Minimum Spanning Tree and Its Clustering Method, *Journal of Intelligent Systems*, 23(3) 311–324.

Ye, J. (2014b). Vector similarity measures of simplified

- neutrosophic sets and their application in multicriteria decision making. *International Journal of Fuzzy Systems*, 16, 204–211.
- Ye, J. (2014c). A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets, *J. Intell. Fuzzy Syst.* 26 (5) 2459–2466.
- Ye, J. (2015). Improved cosine similarity measures of simplified neutrosophic sets for medical diagnoses. *Artif Intell Med.* 63(3):171–179.
- Ye, J. and Fu, J. (2016). Multi-period medical diagnosis method using a single valued neutrosophic similarity measure based on tangent function. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 123, 142-149.
- Ye, J. (2016). Fault Diagnoses of Hydraulic Turbine Using the Dimension Root Similarity Measure of Single-valued Neutrosophic Sets. *Intelligent Automation & Soft Computing*. <https://doi.org/10.1080/10798587.2016.1261955>.
- Ye, J. (2017a). Single-valued neutrosophic similarity measures based on cotangent function and their application in the fault diagnosis of steam turbine. *Soft Computing* 21(3): 817-825.
- Ye, J. (2017b). Single-Valued Neutrosophic Clustering Algorithms Based on Similarity Measures, *Journal of Classification* 34(1) 148-162.
- Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy sets, Inf. Control* 8: 338–353.
- Zhang, H., Xu, Z. and Chen, Q. (2007). Clustering Method of Intuitionistic Fuzzy Sets, *Control and Decision*, 22(8), 882–888.

## YAZAR REHBERİ

### 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (GUFBD), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir).

Dergi bilimsel ve hakemli bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

### 2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir.

### 3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili tüm yazışmalarda DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "Gönderi Kontrol Listesi"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir. Dergi ana sayfasında yer alan "Etik İlkeler ve Yayın Politikası" yazarlar tarafından önemle dikkate alınmalıdır.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "Etik Kurul İzin Belgesi"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

#### 4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği alan editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %20 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %4 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Ön inceleme aşamasını geçen yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili alan editörüne yönlendirilir.

Alan editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için alan editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletir.

Değerlendirme sonucu kabul kararı verilecek makaleler yazım ve dil editörüne yönlendirilerek ilgili makalenin yazım ve dil yönünden incelemesi ile dergi yazım kuralları açısından uygunluğu sağlanır. Kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu formun imzalanması ile yazarlar, makalenin “Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

## **5. MAKALE TÜRLERİ**

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

**5.1 Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40’ı aşmamalıdır.

**5.2 Derlemeler:** Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.

**5.3 Editöre Mektup:** Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10’u geçmemelidir.

## **6. MAKALENİN HAZIRLANMASI**

Dergiye değerlendirilmek üzere yayın gönderecek yazarların GUFBD makale şablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.





GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ  
*GÜMÜŞHANE UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE*

ISSN 2146 - 538X

CİLT / VOLUME: 12

SAYI / ISSUE: 4

YIL / YEAR: 2022