



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CİLT/VOLUME: 13

SAYI/NUMBER : 1

YIL/YEAR : 2023

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

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



EBSCO



TÜBİTAK

ULAKBİM

TRIZIN



*Gümüşhane University Journal of Science*  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**  
*Published by Gümüşhane University*  
Cilt/Volume: 13 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2023  
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*  
**ISSN 2146-538X**

**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*

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

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

*Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editörler / Executive Editors**

*Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Prof. Dr. Necati ÇELİK*

*Prof. Dr. Fatih DÖNER*

*Prof. Dr. Mehmet MERDAN*

*Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ*

*Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK*

*Prof. Dr. Halil YOLCU*

*Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. İlhan ÇELİK*

*Doç. Dr. Nihan GÜNGÖR*

*Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU*

*Doç. Dr. Fevzi TOPAL*

*Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ*

*Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA*

*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*

*Dr. Öğr. Üyesi Osman KOMUT*

*Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ*

*Dr. Öğr. Üyesi Samet TONYALI*

*Dr. İlker ERKAN*

**Yazım ve Dil Editörü / Layout Editor**

*Dr. İlker ERKAN*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU*

*Arş. Gör. Kadir SÜNNETCİ*

*Arş. Gör. Murat ŞAN*

*Arş. Gör. Ahmet YAVUZDOĞAN*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 01 / 2023**

*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 tüm sorumluluğu yazarlara aittir.*



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

Published by Gümüşhane University

Cilt/Volume: 13 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2023

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 Ashyralyyev- Bahçeşehir Üniversitesi  
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Konya Teknik 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-Atatürk 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. Hüseyin DEMİR-Samsun 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 ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi  
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi  
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi  
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University  
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi  
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.  
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul 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. Sunil PROHİT- 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  
Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üniversitesi  
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
Doç. Dr. Okay ÇİMEN-Munzur Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Serhat DAĞ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Doç. Dr. Melih OKÇU-Atatürk Üniversitesi  
Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan 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-Neveşehir 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 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 Zuhul OKCU-Atatürk Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
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

Ertekin ÖZTEKİN	<b>Shear strength estimations and shear designs on RC beams with limited ductility by FL and FIL methods</b> <i>BM ve BTM yöntemleri ile sınırlı süneklığe sahip betonarme kirişlerde kesme dayanımı tahmini ve kesme tasarımı</i>	<b>1</b>
Selahattin BUDAK Harun ÇOLAK Yusuf YAKUT	<b>Effect of aging time and temperature on properties of AA7075 alloy</b> <i>Yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının AA7075 alaşımının özelliklerine etkisi</i>	<b>23</b>
Doga TOLGAY Muhammet Samet YAKUT Talat OZDEN Bulent G. AKINOGLU	<b>Assessment of photovoltaic module temperature estimation for four years with four different software</b> <i>Dört yıllık fotovoltaiik modül sıcaklık tahmininin dört farklı yazılımla değerlendirilmesi</i>	<b>32</b>
Mehmet UYAR	<b>Study on dynamic modelling and vibration analysis of single-link flexible manipulator</b> <i>Tek serbestlik dereceli esnek manipülatörün dinamik modellenmesi ve titreşim analizi üzerine çalışma</i>	<b>47</b>
Esmâ AKYILDIZ Ayşegül SARAL SARIYER Tuba KÖSE Mikail ARSLAN Fatih Şaban BERİŞ Azer ÖZAD DÜZGÜN	<b>First report of qnr and blaVIM-4-like producing clinical <i>Alcaligenes faecalis</i> isolated in Türkiye</b> <i>Türkiye'den izole edilen qnr ve blaVIM-4-like üreten klinik <i>Alcaligenes faecalis</i>'in ilk raporu</i>	<b>57</b>
Mustafa Hilmi PEKALP Halil AYDOĞDU	<b>Bir yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetleri için bir geometrik süreç yaklaşımı</b> <i>A geometric process approximation for debugging and testing costs of a software product</i>	<b>66</b>
Ali KAYA Serkan TOPALOĞLU Erdal AKYOL	<b>Uzaktan algılama ile fay çizgiselliklerinin belirlenmesi: Baklan Grabeni örneği</b> <i>Tracing fault lineaments by remote sensing: Baklan Graben's case</i>	<b>73</b>
Faruk ERGEN Önder Halis BETTEMİR	<b>Yüksek doğrulukta kaba inşaat kalemlerinin metrajını hesaplayan YBM tabanlı prototip yazılımın geliştirilmesi</b> <i>Development of BIM-based prototype software for the accurate quantity take-off calculation of rough construction items</i>	<b>86</b>
Mevra ASLAN ÇAKIR	<b>Katodik ark PVD yöntemi ile TiN kaplanmış 316L paslanmaz çelik implant malzemesinin elektrokimyasal ve ıslanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi</b> <i>Determination of electrochemical and wettability properties of TiN coated 316L stainless steel implant material by cathodic arc pvd method</i>	<b>106</b>
Ayşegül TAŞÇIOĞLU Gökhan YILMAZ	<b>Degradation evaluation of titanium dioxide under stress factors</b> <i>Titanyum dioksitin stres faktörleri altında bozunma değerlendirmesi</i>	<b>116</b>
Mustafa Esat COŞKUN Şenol GÜRSOY Zehra Şule GARİP	<b>Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması</b> <i>Comparison of strengthening principles in the reinforced concrete a school building according to 2007 and 2019 Turkish earthquake regulations</i>	<b>127</b>
Rıdvan YAKUT	<b>Numerical analysis of the effect of the evaporator inlet-outlet position on the PV-T performance</b> <i>Evaporatör giriş-çıkış konumunun PV-T performansı üzerindeki etkisinin sayısal analizi</i>	<b>145</b>
Enver AKARYALI Adem SİVRİKAYA Mehmet Ali GÜCER	<b>Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin jeolojisi ve mineral kimyası özellikleri</b> <i>Geology and mineral chemistry features of Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Fe-Cu skarn mineralization</i>	<b>160</b>



Volkan KAYA İsmail AKGÜL	<b>Classification of skin cancer using VGGNet model structures</b> <i>VGGNet model yapıları kullanılarak cilt kanserinin sınıflandırılması</i>	<b>190</b>
Turgay DUMAN Kadir DOĞANŞAHİN	<b>Assessment of harmonic mitigation performance of electric springs with different inverter topologies</b> <i>Farklı inverter topolojili elektrikli yayların harmonik azaltma performanslarının değerlendirilmesi</i>	<b>199</b>
Mustafa Şinasi AYAS Selen AYAS	<b>Çekişmeli makine öğrenmesi saldırılarının rulman arıza teşhisindeki etkileri</b> <i>The effects of adversarial machine learning attacks on bearing fault diagnosis</i>	<b>210</b>
Mehmet Tevfik SEFEROĞLU Ayşegül Güneş SEFEROĞLU Enver AKARYALI	<b>Investigation of the structural damage caused by blasting activities in tunnels to surrounding buildings: The case of Gümüşhane belt highway</b> <i>Tünellerde patlatma faaliyetlerinin çevre binalara verdiği yapısal hasarın incelenmesi: Gümüşhane çevre yolu örneği</i>	<b>221</b>
<b><u>Derleme Makalesi / Review Article</u></b>		
Ali CİNGÖZ Özlem AKPINAR Abdulvahit SAYASLAN	<b>Tahıl ve pseudotahıllar'da diyet lifi ve sağlık üzerine etkileri</b> <i>Dietary fiber and its effects on health in cereals and pseudocereal</i>	<b>235</b>

---

## Shear strength estimations and shear designs on RC beams with limited ductility by FL and FIL methods

*BM ve BTM yöntemleri ile sınırlı süneklığe sahip betonarme kirişlerde kesme dayanımı tahmini ve kesme tasarımı*

Ertekin ÖZTEKİN\*1,a 

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 29000, Gümüşhane

• Received: 12.05.2022

• Accepted: 19.10.2022

### Abstract

In this study, a fuzzy logic model was constituted by using the Fuzzy Logic (FL) method, which is one of the traditional artificial intelligence (AI) methods, in order to estimate the shear strength of reinforced concrete (RC) beams with limited ductility. In this model, beam width ( $b_w$ ), beam height ( $h$ ), characteristic concrete compressive strength ( $f_{ck}$ ), transverse reinforcement diameter ( $\phi_T$ ), the number of arms bearing the shear force of the transverse reinforcement ( $n$ ) and transverse reinforcement spacing ( $s$ ) were taken into account as variable parameters. The model developed by using the problem data containing the solutions of shear force strength of 2640 beams with different cross-section properties were tested with 480 beam solutions different from these data. In the tests of the developed FL model, maximum percentage error, minimum percentage error, average percentage error and correlation coefficient values were obtained as 3.604, -0.091, 1.514 and  $R^2=0.999678$ . By applying the fuzzy inverse logic method (FIL), which was recently developed by the author of this study, on the FL model, which is seen to have been developed quite sensitively from the test results, a total of 521 designs were obtained for 15 different RC beams with limited ductility subjected to shear. In order to check the accuracy of these designs, after shear strengths were obtained by conventional computations for these designs, % error and correlation coefficients were computed between the obtained strength values and the shear force values taken into account for the design. The promising results show that the FIL method can be used in the design of RC beams under shear force and even in other scientific studies such as design, optimization and control.

**Keywords:** Artificial intelligence, Fuzzy logic, Fuzzy inverse logic, Inverse logic, Reinforced concrete beam, Shear design

### Öz

*Bu çalışmada, süneklığı sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımını tahmin etmek için geleneksel yapay zekâ yöntemlerinden biri olan Bulanık mantık (BM) yöntemi kullanılarak bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bu modelde kiriş genişliği ( $b_w$ ), kiriş yüksekliği ( $h$ ), karakteristik beton basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ), enine donatı çapı ( $\phi_T$ ), enine donatının kesme kuvvetini taşıyan kol sayısı ( $n$ ) ve enine donatı aralığı ( $s$ ) değişken parametreler olarak dikkate alınmıştır. Farklı kesit özelliklerine sahip 2640 kirişin kesme kuvveti dayanımı çözümlerini içeren problem verileri kullanılarak geliştirilen model, bu verilerden farklı olarak 480 kiriş çözümü ile test edilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık modelinin testlerinde maksimum yüzde hata, minimum yüzde hata, ortalama yüzde hata ve korelasyon katsayı değerleri 3.604, -0.091, 1.514 ve  $R^2=0.999678$  olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın yazarı tarafından yakın zamanda geliştirilen bulanık ters mantık (BTM) yöntemi, test sonuçlarından oldukça hassas bir şekilde geliştirildiği görülen bulanık mantık modeli üzerinde uygulanarak, kesme kuvveti etkisindeki 15 adet sınırlı süneklığe sahip farklı betonarme kiriş için toplam 521 tasarım elde edilmiştir. Bu tasarımların doğruluğunu kontrol etmek için, bu tasarımlar için geleneksel hesaplamalarla kesme dayanımları elde edildikten sonra, elde edilen dayanım değerleri ile tasarım için dikkate alınan kesme kuvveti değerleri arasında % hata ve korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bulanık ters mantık yönteminin kesme kuvveti etkisi altındaki betonarme kirişlerin tasarımında ve diğer bilimsel alanlardaki tasarım, optimizasyon ve kontrol çalışmalarında da kullanılabileceğini göstermiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Betonarme kiriş, Bulanık mantık, Bulanık ters mantık, Kesme tasarımı, Ters mantık, Yapay zekâ

\*a Ertekin ÖZTEKİN; ertekinoztekin@hotmail.com

## 1. Introduction

Today, *AI* has been the subject of many successful applications in the field of civil engineering as well as in many scientific fields. *AI* methods, which process numerical data previously obtained from experiments or collected from various sources with their own algorithms, are widely used today in estimation, evaluation and classification problems in general. *FL* is an *AI* method (Zadeh, 1965, 1973, 1975; Mamdani, 1975, 1976) in which the inferences that people make in the face of various cases related to the knowledge and experience they have acquired are converted into algorithms mathematically and graphically.

Some of the studies carried out recently with *FL* for the estimation of a certain parameter in civil engineering field are about prediction of concrete elements behavior (Naderpour et al., 2019), sensitivity analysis for capacity estimation of *FRP* strengthened circular RC columns (Uzunoğlu & Kap, 2012), prediction of concrete compressive strength in buildings (Tekeli et al., 2014), comparison of critical column buckling load in regression (Mirrashid & Naderpour, 2020), estimation of compressive strength of masonry made of clay bricks and cement mortar (Garzón-Roca et al., 2013), determination of inelastic displacement ratios of degrading RC structures (Ozkul et al., 2014), predicting the lateral confinement coefficient for RC columns wrapped with carbon fiber reinforced polymer (*CFRP*) (Doran et al., 2015), estimate shear contribution of fiber reinforced polymer (*FRP*) in strengthened RC beams (Naderpour & Alavi, 2017), prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete (Golafshani et al., 2012), automated serviceability prediction of *NSM* strengthened structure (Ud Darain et al. 2015), prediction of shear strength of RC beams (Amani & Moeini, 2012), downtime estimation of building structures (De Iuliis et al., 2019). Some of the studies in which the *FL* method is used for evaluation purposes in civil engineering problems are: post-earthquake assessment of buildings damage (Allali et al., 2018), evaluation and monitoring of impact resistance of *FRC* (Cao et al., 2021), rapid visual earthquake hazard evaluation of existing buildings (Şen, 2010), building earthquake hazard assessment (Şen, 2011), rapid evaluation of earthquake hazard safety of existing buildings (Harirchian & Lahmer, 2020). Finally, as examples of some recent *FL* studies for classification purposes in the field of civil engineering, the studies about computational parameter identification of strongest influence on the shear resistance of RC beams by fiber reinforcement polymer (Cao et al., 2020), real-time strength monitoring for concrete structures (Choi et al., 2018), recognition model for diagnosing cracks in RC structures (Chao & Cheng, 1998), classification of seismic damages in buildings (Elenas et al., 2013), parameters ranking based on influence on dynamical strength of ultra-high performance concrete (Cukaric et al., 2019), identification of multiple cracks on beam (Govardhan et al. 2021), responses of isolated building with MR Dampers (Khoshnoudian & Molavi-Tabrizi, 2012), optimal semi-active structural control (Zabihi-Samani & Ghanooni-Bagha, 2019), selection of slab formwork system (Elbeltagi et al., 2011), seismic design of RC bridge piers with single-column type (Sung & Su, 2010), *FL* design approach for a singly RC beam (Akintunde, 2021) and etc. are shown. In addition to the studies carried out for these three purposes (estimation, evaluation and classification), design studies are the most important research and study subject in the field of civil engineering as in all engineering fields.

As can be seen from the technical literature, there is almost no design study with *AI* in all scientific fields. Although the word "design" is mentioned in the title of some studies, the content of these studies cannot fully fill the meaning of the word "design" in engineering disciplines. The main reason for this is that the basic computation principles of *AI* methods. Generally, intermediate values can be produced in the range of available data by the traditional *AI* methods and computation directions in these methods are from the input parameter(s) toward the output parameter(s).

On the other hand, because of the input parameters are adjusted for a specific purpose or output in the design studies, the computation directions should be from the output toward the input parameters. Therefore, it cannot be possible to use traditional analytical methods and *AI* methods directly and in general, the trial and error method is used together with these methods in design studies. However, after many trials, only a design can be realized by traditional methods.

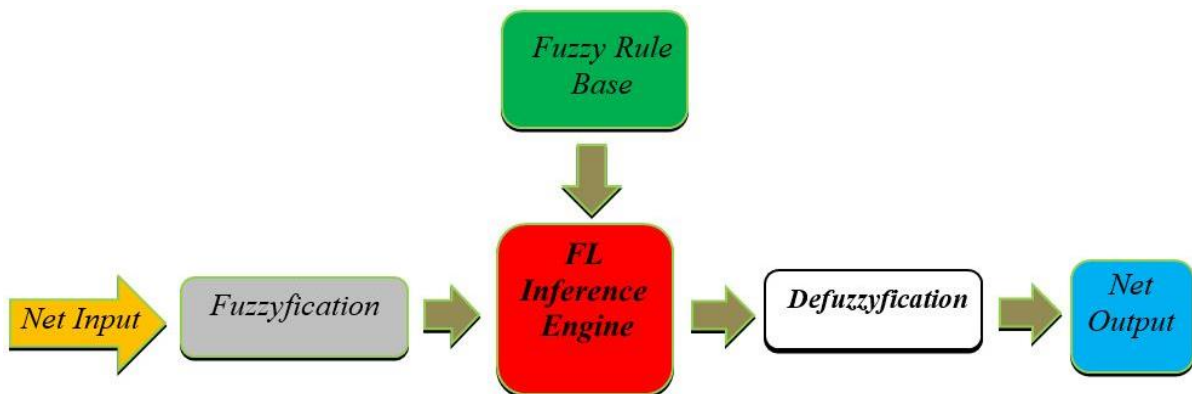
In the following parts of this study, after brief information about the *FL* method and computation details of *FIL* methods were presented, shear strength calculation steps for RC beams with limited ductility according to the Turkish Building Code (TS 500, 2000) and Turkish Earthquake Code (TBEC, 2018) provisions were given. By using these codes, necessary data for an *FL* model aimed to be developed to estimate the shear strength of RC beams with limited ductility was constituted. After the developed *FL* model was tested,

designs of 15 different beams subjected to shear force by applying the *ID FIL* method on this *FL* model were performed and finally, obtained designs were checked by conventional shear strength computations. This study is considered to be very important as it is one of the rare studies in which *AI* is applied to design problems in the field of engineering.

## 2. Fuzzy logic (FL) method and fuzzy inverse logic (FIL) method

### 2.1. A brief information about fuzzy logic (FL)

The computation processes performed in the *FL* method can be summarized in 4 steps (See Figure 1). In the first step, the known input and output data of the problem are fuzzified with the help of membership functions. As the membership function, any function suitable for the problem or one of the most known and preferred membership functions such as triangle, trapezoid, sigmoid, step functions, etc. can be used in the fuzzification processes. In fuzzification processes, known net input and net output data are classified into fuzzy sets. In this study, the triangular function is used as a membership function in the fuzzification processes. The second important step of the *FL* method is the constitution of the rule matrix (table). In this step, the rule matrix is constituted with fuzzy inferences corresponding to the combinations of fuzzy sets of fuzzy input parameters. The third step, in which fuzzy outputs are calculated according to the rules in the rule matrix with the *FL* inference engine, is followed by the last step in which the fuzzy outputs are converted into net outputs with the help of the selected defuzzifier method. There are many defuzzifier methods used in *FL* computations. In this study, the “Weighted Average Method” was used as the defuzzifier method. Since many details about *FL* computations can be obtained from many books and articles in the technical literature, they were not given in this study (Zadeh, 1965, 1973, 1975; Mamdani, 1975, 1976).

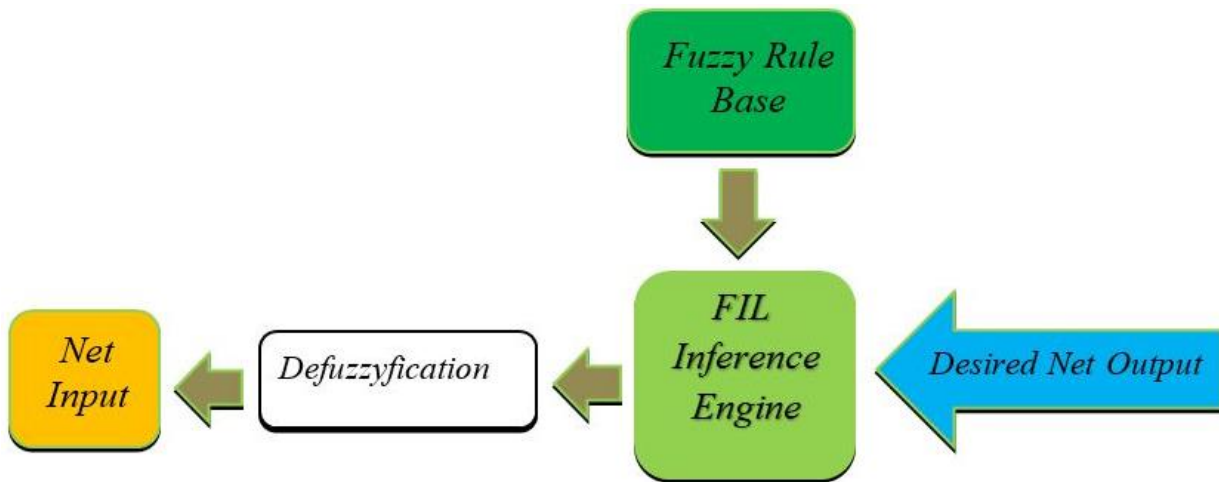


**Figure 1.** Flowchart of fuzzy logic method

### 2.2. Fuzzy inverse logic (FIL)

The *FIL* method was developed by the author of this study in a way that is the same as the entire logical infrastructure of the *FL* method, but the computational steps are in the opposite direction of the computational direction in *FL*. As can be seen more clearly from Figure 2, in the *FIL* method, the values of the input parameters for a targeted(desired) output are tried to be determined. In the development of the *FIL* method, the author of this study inspired by the human's ability to infer backward.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.** Flowchart of fuzzy inverse logic method

An *FL* model is needed for the *FIL* method to be applied. This model can be developed specifically for the *FIL* method, or it can also be a previously developed *FL* model. The most important point to be emphasized here again is that the *FL* model on which the *FIL* method is applied must be developed very well and/or sensitively and the same defuzzifier method must be used in both *FL* and *FIL* methods. The computations performed in *FIL* are explained in detail step by step below.

Step-1) A highly sensitive *FL* model is constituted or selected for *FIL* computations.

Step-2) The targeted (desired) output locations in the output data of the *FL* model are determined depending on the computation dimension.

Step-3) The fuzzy coordinates (valid fuzzy sets) of the investigated input parameters are computed in each determined location.

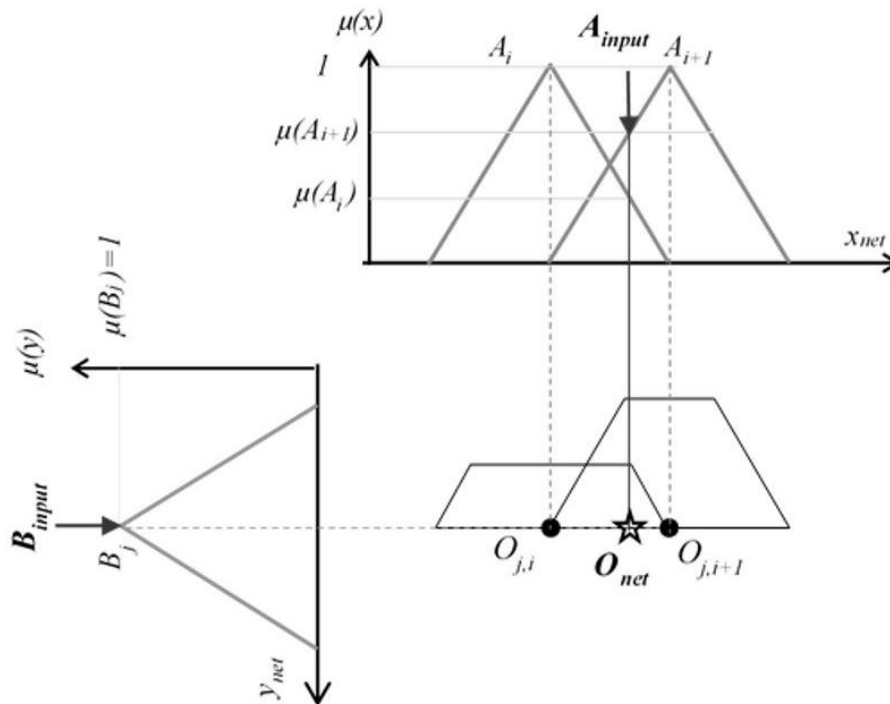
Step-4) The net values of the input parameters are computed with the help of the membership functions of the fuzzy sets of the input parameters,

Step-5) Net values of the input parameters are computed by using the inverse of the defuzzification method depending on the computation dimension, and the conditional expressions in the rules.

In *FIL* computations, the number of computation dimensions can be as much as the maximum number of input variables. However, computations performed in dimensions bigger than 1 are more difficult and more complex and the accuracy of the computations decreases as the dimension increases. In other words, the computations in which the easiest, most understandable and most sensitive solutions are produced are the 1-dimensional (*1D*) computations in the *FIL* method. The sensitivity of the selected or constituted *FL* model is very important in the problem where the *FIL* method will be applied. To put it another way, the sensitivity of the *FIL* method depends entirely on the sensitivity of the *FL* method chosen or constituted. If the sensitivity of the *FL* model is very good, the solutions in the *FIL* method will be more sensitive. Because the *FIL* method uses all the data of the selected or constituted *FL* model as it is. In the application of the *FIL* method, the sensitivity of the *FL* model becomes more important as the computation dimension increases. *FIL* computations performed in a dimension bigger than 1, the amount of error increases exponentially as the number of computation dimensions increases (Öztekin, 2021a, 2021b). For this reason, low-dimensional computations are important in terms of the sensitivity of computations performed with the *FIL* method. In addition, *1D FIL* computations generate direct solutions without the need for any additional iterations, but the number of solutions obtained is less than the bigger dimensions. However, it should be noted that the number of solutions obtained by *1D FIL* computations is quite satisfactory. In fact, sometimes the number of solutions produced is so large that it becomes difficult to choose between them. For these reasons, solutions obtained from *1D FIL* computations are often enough. However, if more solutions are still needed, more solutions can be obtained by *FIL* computations bigger than *1D*. But, error amounts in these solutions will be higher. Since the *1D FIL* method is used in this study, the working principle and computation steps of the *1D FIL* method are tried to be given below in detail.

### 3. 1D Fuzzy inverse logic computations

In each step of the *1D FIL* method, only 1 of the input parameters of the problem is kept as a variable. Other parameters are taken into account as constants. The values of the parameters kept constant may correspond to the value of the fuzzy sets whose memberships correspond to 1 used in the rule base, or it can also be taken as a different value. In other words, keeping a parameter constant may be required by a condition in the problem. If the net value of an input parameter is different from the net values whose membership is 1 in the fuzzy sets of that parameter, this value is fuzzified and added to the fuzzy sets of the relevant parameter. Then, new outputs and new rules are constituted for all combinations of this new fuzzy set with the fuzzy sets of other input parameters, and these rules are added to the rule base of the *FL* model. This operation is not performed if the net value of the constant parameter (even if it results from a condition in the problem) corresponds to the net value whose membership is 1 in any of its fuzzy sets. Considering the value of all other input parameters except the variable parameter, the fuzzy output in the *FL* method consists of 2 fuzzy sets as shown in Figure 3.



**Figure 3.** Fuzzy set ( $B_j$ ) for constant  $Y$  parameter, adjacent fuzzy sets ( $A_i, A_{i+1}$ ) for the variable  $X$  parameter and fuzzy  $O_{j,i}$  and  $O_{j,i+1}$  outputs

In the solution of a 2-variable problem by the *FL* method shown in Figure 3, when one of the problem variables ( $Y=B_{input}$ ) is kept constant, a fuzzy output with 2 fuzzy sets is obtained depending on the value of the other variable ( $X=A_{input}$ ). These two fuzzy sets are consecutive to each other in the fuzzy set space of this variable parameter. The next step in the *FL* method is to convert the fuzzy output to the net value with the help of the selected defuzzifier method. In a problem where the Weighted Average Method is used as a defuzzifier, the net output is computed by Equation 1.

$$O_{net} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (1)$$

The relationship between the two consecutive fuzzy sets of  $A_i$  and  $A_{i+1}$  given by the triangular membership functions of the variable  $X$  in Figure 3 can be easily written as given in Equation 2. This relationship is valid between the net values corresponding to membership 1 of two consecutive fuzzy sets. In this case, the  $O_{net}$  value in Equation 1 can be written more simply as in Equation 3.

$$\mu(A_i) + \mu(A_{i+1}) = 1 \quad (2)$$

$$O_{net} = O_{j,i} \times \mu(A_i) + O_{j,i+1} \times \mu(A_{i+1}) \quad (3)$$

In fuzzy models in which membership functions different from the triangular membership function are used, Equation 2 should be revised by another valid relationship. As can be seen from these equations and Figure 3, when the Weighted Average Method is used as defuzzifier, the net output takes place between the net values of  $O_{j,i}$  and  $O_{j,i+1}$ . This may be different when other defuzzifier methods are used and the mathematical equations should be revised according to the used defuzzifier.

If the smaller and bigger of those  $O_{j,i}$  and  $O_{j,i+1}$  outputs in the above equations are called  $O_S$  and  $O_B$ , respectively, in the computations made with the *ID FIL* method, it is first investigated whether the targeted or desired  $O_D$  output is between these two values ( $O_S$  and  $O_B$ ) as in Equation 4. For this, all fuzzy rules are examined by comparing them for all possible constant values of the other parameters (net values corresponding to membership value 1 of each fuzzy set in their fuzzy space) except the variable parameter.

$$O_S < O_D < O_B \quad (4)$$

For each case that satisfies Equation 4, there is a separate solution. In the next step, fuzzy coordinates are determined for each separate solution. These coordinates are fuzzy sets of the variable parameter in rules that output  $O_S$  and  $O_B$  in a separate solution. These fuzzy sets are called as valid fuzzy sets for a separate solution in the *FIL* method. In each *ID-FIL* solution, two consecutive sets for the variable parameter and 1 fuzzy set for other constant parameters constitute valid sets for that solution. The net value of a constant parameter is the value corresponding to the membership value 1 of the valid fuzzy set of these parameters. As an example, the  $B_{input}$  value of variable  $X$  in Figure 4 can be shown. In obtaining the net value of the variable parameter, the reverse of the computation process in the *FL* method is performed. That is, for the  $O_{net}$  output in an *FL* model to be equal to the desired output  $O_D$ , the right-hand side of Equation 3 is equalized to  $O_D$  as in Equation 5.

$$O_D = O_{j,i} \cdot \mu_{(A_i)} + O_{j,i+1} \cdot \mu_{(A_{i+1})} \quad (5)$$

By using the membership relationship between two consecutive valid fuzzy sets belonging to the variable parameter given in Equation 2, membership values of these two valid sets can be easily computed as in Equations 6 and 7.

$$\mu_{(A_i)} = \frac{O_D - O_{j,i+1}}{O_{j,i} - O_{j,i+1}} \quad (6)$$

$$\mu_{(A_{i+1})} = \frac{O_D - O_{j,i}}{O_{j,i+1} - O_{j,i}} \quad (7)$$

When Equation 6 and Equation 7 are used for each of the two fuzzy consecutive valid fuzzy sets such as  $A_i$  and  $A_{i+1}$  constituted by a triangular membership function, 2 net inputs are obtained for each separate valid fuzzy set as in Equation 8 and Equation 9. As seen in Figure 4 and given in Equation 10, the sought  $A$  input value of variable  $X$  is equal to the common net input value of two valid consecutive sets.

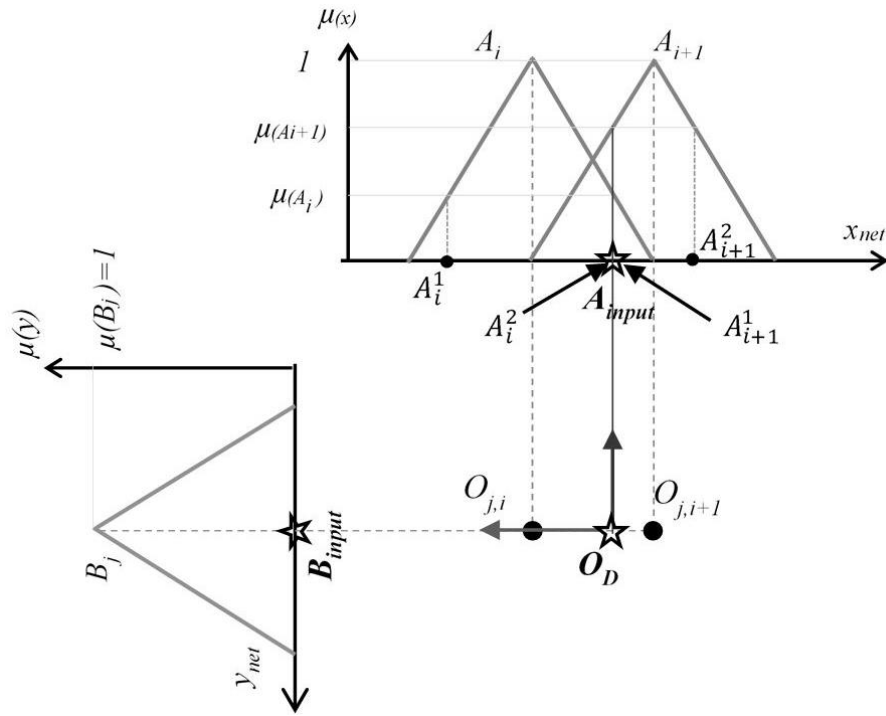
$$f(x_i) = \mu_{(A_i)} \rightarrow x_i = \begin{cases} A_i^1 \\ A_i^2 \end{cases} \quad (8)$$

$$f(x_{i+1}) = \mu_{(A_{i+1})} \rightarrow x_{i+1} = \begin{cases} A_{i+1}^1 \\ A_{i+1}^2 \end{cases} \quad (9)$$

$$X_{net} = A_i^2 = A_{i+1}^1 \quad (10)$$

#### 4. Determining of shear strength of rectangular RC beams with limited ductility

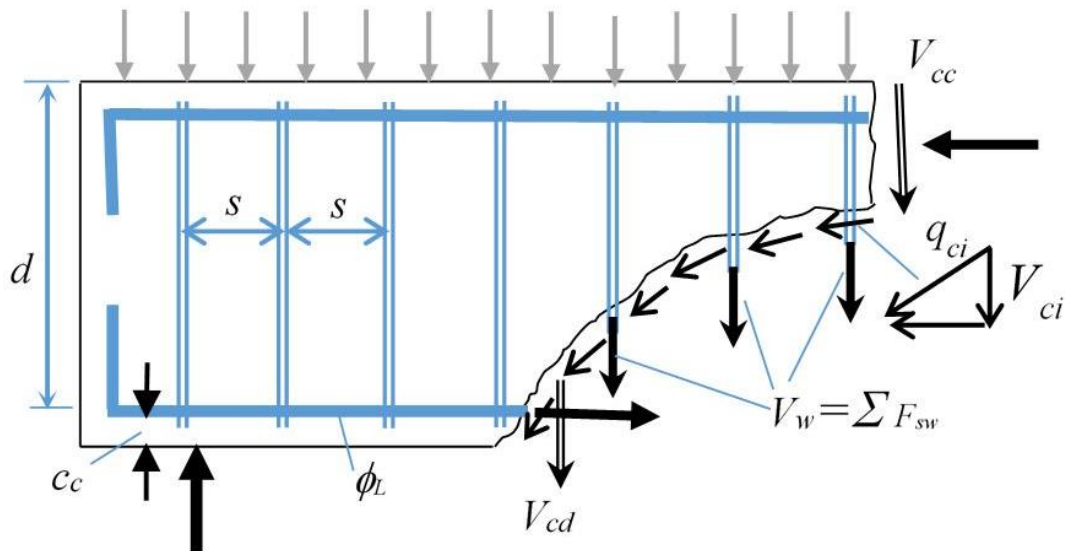
In this study, shear strength estimations and designs of rectangular RC beams with limited ductility levels were performed according to two regulations current in Turkey. The first of these regulations is “Requirements for design and construction of RC structures (TS 500-2000) and the second is “Turkish Building Earthquake code (TBDY-2018).



**Figure 4.** Determination of membership degrees and of net input values in *1D FIL* method.

In a beam with shear reinforcement, it is generally accepted that the shear effect caused by external loads is beared by four different forces emerging inside the beam cross-section, as shown in Figure 5 (Doğangün 2021).

These four internal forces are, the shear force beared by the concrete in the uncracked compression zone of the beam cross-section ( $V_{cc}$ ), the vertical component of the shear force on the surface of the cracks emerged from the shear effect in the beam cross-section, ( $V_{ci}$ ), Shear force beared by the longitudinal reinforcement in the tensile zone of the beam ( $V_{cd}$ ) and the force beared by the shear reinforcement is ( $V_w = \Sigma F_{sw}$ ).



**Figure 5.** Bearing of shear effect by internal forces emerging inside of the beam cross-section (Doğangün 2021).

The total shear force that the beam can beat can be determined by Equation 11.

$$V_r = V_{cc} + V_{ci} + V_{cd} + V_w \tag{11}$$



In order to facilitate RC calculations and to provide additional safety, by ignoring of vertical component ( $V_{ci}$ ) of the friction force occurring in the cracks in the section and the effect of the longitudinal reinforcement in the tension region of the section ( $V_{cd}$ ) and the relationship given in Equation 12 is used in general.

$$V_r = V_c + V_w \quad (12)$$

In Equation 12, the shear force beared by the concrete cross-section is shown with the symbol “ $V_c$ ” and is calculated with the help of Equation 13, Equation 14, Equation 15 and Equation 16 given below.

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} \quad (13)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (14)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} \quad (15)$$

$$f_{ctk} = 0.35 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (16)$$

The relation given with Equation 14 is the cracking strength under the effect of shear in beams with approximately zero axial force value in the Turkish Building Code [34]. The  $f_{ctd}$  calculated in Equation 15 is the tensile strength of the concrete and is calculated by dividing the characteristic concrete tensile strength by the material coefficient. In this study, the material coefficient for concrete is taken as  $\gamma_{mc} = 1.5$ . Equation 16 is recommended in the Turkish Building Code [34] for the calculation of the characteristic tensile strength of concrete. In Equation 16,  $f_{ck}$  is the characteristic concrete compressive strength. In addition to the equations given above, in the Turkish Building Code [34], the requirement given in Equation 17 for the shear force acting on the beam must be met in order to prevent the crushing of the concrete due to high principal compressive stresses. If this requirement cannot be met, the cross-section dimensions should be increased.

$$V \leq 0.85 \times b_w \times d \times \sqrt{f_{ck}} \quad (17)$$

The parameter shown by the symbol  $d$  in Equation 17 is the effective height of the beam and is obtained by subtracting the concrete cover thickness from the section height. The part of the shear force beared by the shear reinforcement,  $V_w$ , is calculated with the equation given in Equation 18.

$$V_w = \frac{A_{sw} \times f_{ywd} \times d}{s} \quad (18)$$

$A_{sw}$  in Equation 18 is the area of shear reinforcement. Since the area of the shear reinforcement varies depending on the number of stirrup arms, the number of stirrup arms must be taken into account in the calculations. Accordingly, the area to be used in the shear strength calculations of a stirrup with  $\phi_w$  cross-section diameter with  $n$  number of arms can be calculated with Equation 19. The  $s$  and  $f_{ywd}$  parameters in Equation 18 are the distance between stirrups and the yield strength of the shear reinforcement respectively. The  $f_{ywd}$  parameter is calculated by dividing of characteristic yield strength of the shear reinforcement by the material coefficient ( $\gamma_{ms} = 1.15$ ).

$$A_{sw} = n \times \frac{\pi \times \phi_w^2}{4} \quad (19)$$

## 5. Development of an FL model to estimate the shear strength of rectangular RC beams

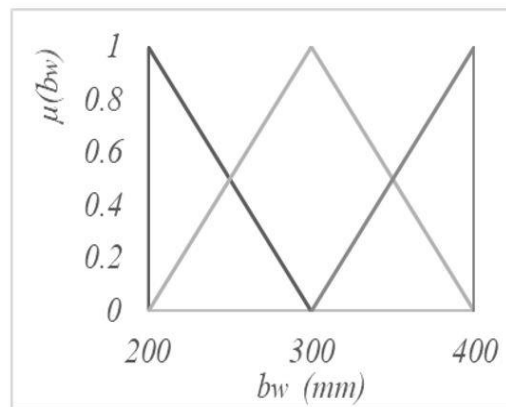
In this study, after an *FL* model was developed for the estimation of the shear strength of rectangular RC beams with limited ductility, this model was used to perform the designs of different beams under different shear forces by using the *ID FIL* method. For this purpose, beam width ( $b_w$ ), beam height ( $h$ ), characteristic concrete strength ( $f_{ck}$ ), transverse reinforcement diameter ( $\phi_T$ ), number of stirrup arms ( $n$ ) and stirrup spacing ( $s$ ) were taken into account as variable parameters. In the calculations, the net concrete cover, the longitudinal reinforcement diameter and the characteristic yield strength of the transverse reinforcement are kept constant as 25 mm, 14mm and 420 MPa respectively. In the constitution of the *FL* model; 3, 4, 2, 2, 4 and 11 fuzzy sets were defined for beam width ( $b_w$ ), beam height ( $h$ ), characteristic concrete compressive strength ( $f_{ck}$ ), transverse reinforcement diameter ( $\phi_T$ ), number of stirrup arms ( $n$ ) and stirrup spacing( $s$ ) respectively. These fuzzy sets are given in Table 1 in detail.

The fuzzy sets of the input parameters of the problem in this study were constituted by using triangular membership functions. These constituted fuzzy sets are shown in Figure 6, Figure 7, Figure 8, Figure 9, Figure 10 and Figure 11 for  $b$ ,  $h$ ,  $f_{ck}$ ,  $\phi_T$ ,  $n$  and  $s$ , respectively. For all combinations of all these fuzzy sets belonging to the input parameters of the problem, 2640 conventional shear strength computations were made. By using 1673 different results obtained from these computations, fuzzy sets belonging to the output parameter  $V_r$  were constituted. Since showing 1673 fuzzy sets with triangular membership functions could not be possible in this study, they could not be presented. 2640 rules were constituted for 2640 input parameter combinations. In these constituted rules, the term "AND" was used as the condition term. The general expression used to constitute the rule in this study is given in Equation 20. In addition to all these, the "Weighted Average Method", whose mathematical expression is given by Equation 1, was used as the defuzzifier method in the developed *FL* model.

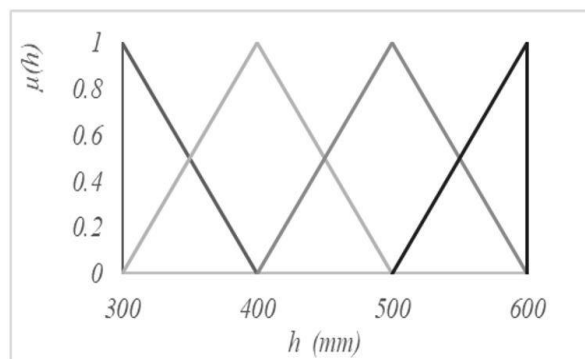
$$\text{if } b = \{b\}_i \text{ and } h = \{h\}_j \text{ and } f_{ck} = \{f_{ck}\}_k \text{ and } \phi_T = \{\phi_T\}_n \text{ and } n = \{n\}_p \text{ and } s = \{s\}_r \text{ then } V_r = \{V_r\}_s \tag{20}$$

**Table 1.** Fuzzy sets used in the development of FL model

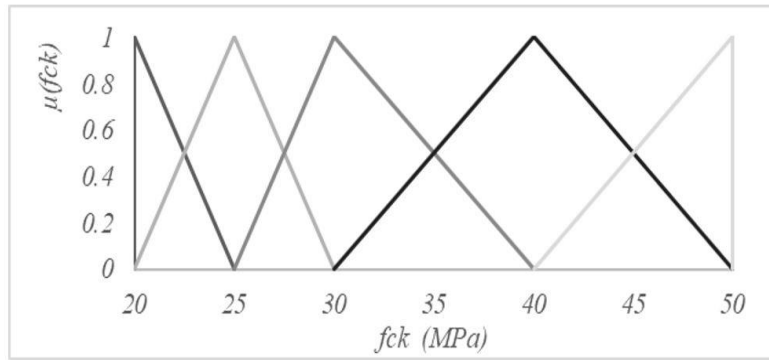
Input Parameters	Fuzzy Sets
$b_w$ (mm)	200, 300, 400
$h$ (mm)	300, 400, 500, 600
$f_{ck}$ (MPa)	20, 25, 30, 40, 50
$\phi_T$ (mm)	8, 10
$n$	2, 4
$s$	50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300



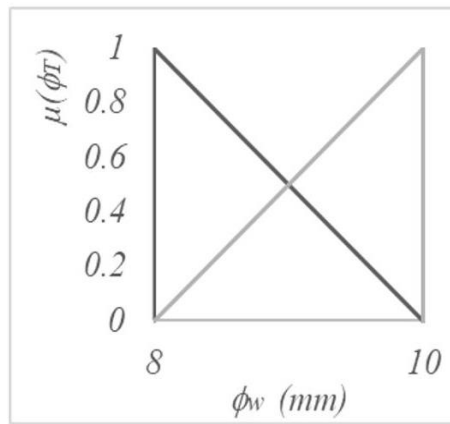
**Figure 6.** Fuzzy sets constituted for beam width ( $b_w$ )



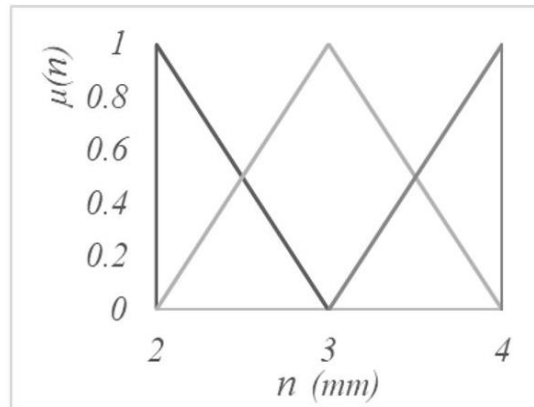
**Figure 7.** Fuzzy sets constituted for beam height ( $h$ )



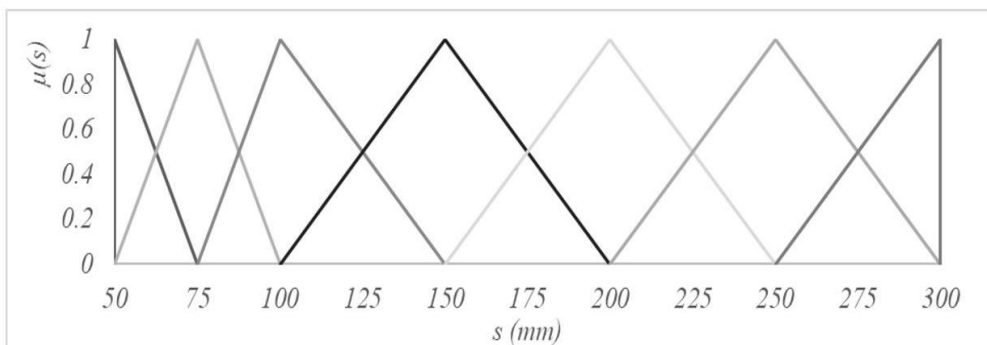
**Figure 8.** Fuzzy sets constituted for characteristic concrete compressive strength( $f_{ck}$ )



**Figure 9.** Fuzzy sets constituted for transverse reinforcement diameter ( $\phi_T$ )



**Figure 10.** Fuzzy sets constituted for transverse reinforcement arm number ( $n$ )



**Figure 11.** Fuzzy sets constituted for transverse reinforcement spacing ( $s$ )

## 6. Validation of the FL model

In this study, 480 beam sections different from 2640 different RC beam sections used in the constitution of the *FL* model were used to determine whether the *FL* model constituted for the estimation of the shear strength of RC beams with limited ductility produces correct results and to understand the sensitivity of the results produced. It is a common view in the literature that in validation processes, the number of tests should be at least 10% of the number of samples that constitute the model. In this study, the number of tests is more than 18% of the 2640 samples that constitute the data of the *FL* model. This shows that the number of tests used in the validation processes in this study is sufficient.

In the test computations, completely different values were used for the  $b_w$ ,  $h$ ,  $f_{ck}$  and  $s$  input parameters from the values used in the constitution of the fuzzy model and given in Table 1. The same values in Table 1 were used for the diameter of transverse reinforcement ( $\phi_T$ ), and the values given in Table 2 for the number of transverse reinforcement arms ( $n$ ) were used.

After the shear strengths of 480 beam sections, which are different from the beam sections used in the constitution of the *FL* model, were estimated with the developed *FL* model, these outputs were compared with the conventionally computed shear strengths for the same beam sections to determine the accuracy and sensitivity of the *FL* outputs. For comparisons, the formula of % error given by Equation 21 was used.

**Table 2.** Input parameter values used in testing phase of the FL model

Input Parameters	Fuzzy Sets
$b_w$ (mm)	250, 350
$h$ (mm)	350, 450, 550, 650, 750
$f_{ck}$ (MPa)	23, 28, 35, 45
$\phi_T$ (mm)	8, 10
$n$	2, 3, 4
$s$	60, 90, 125, 225, 275

$$\% \text{ error} = \frac{V_{r^{FL}} - V_{r^{Conventionally}}}{V_{r^{Conventionally}}} \times 100 \quad (21)$$

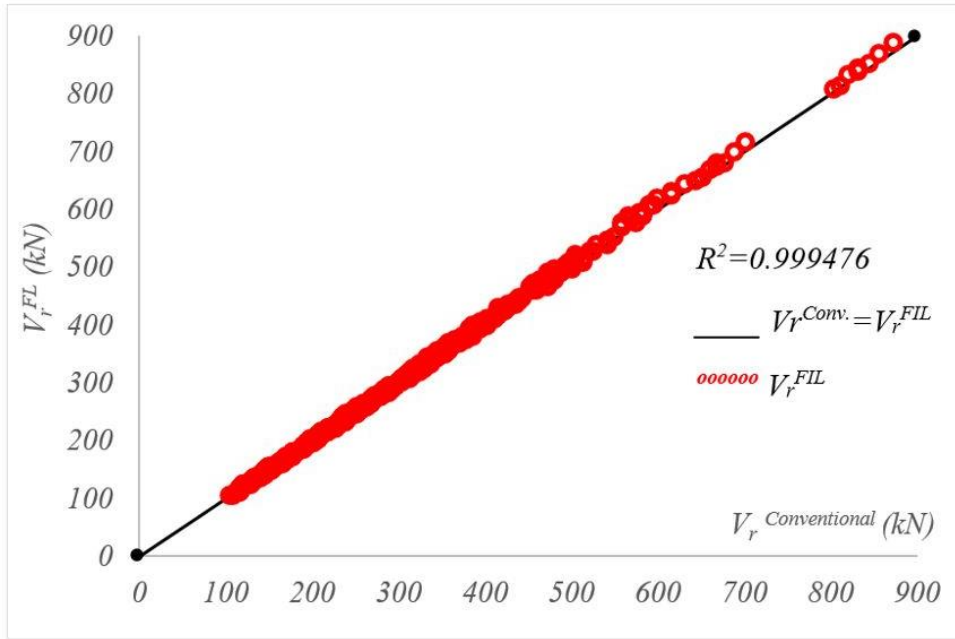
As a result of the error computations performed with the help of Equation 21, it was determined that the *FL* model constituted in this study could estimate the shear strength of RC beams with a maximum % 3.452 error and minimum % -1.046 error. When these error amounts and the assumptions made in the RC calculations are considered together, it is understood that the FL estimations are quite successful. In addition to error computations, statistical correlation computations between these two results were also performed in order to demonstrate the agreement between conventional results and *FL* estimations. As a result of the statistical correlation computations performed, the correlation coefficient was determined as  $R^2=0.999476$  in the distribution seen in Figure 12. As a result, it has been statistically demonstrated that the estimations obtained by the FL method are in good agreement with the conventional computation results.

## 7. Designs of rectangular RC beams subjected shear forces by FIL method

In order to perform designs of RC beams with limited ductility, the *FL* model constituted as above to estimate the shear strength of these beams and the data of this model were used in the *FIL* method in this study. In order to demonstrate the effectiveness of the *FIL* method, 15 different RC beam design problems are discussed. In Table 3, the values known or required to be taken before the design for the parameters related to these problems and the shear strength values targeted (desired shear strength) in the designs are given together. Targeted (desired) shear strength values were chosen as randomly and as different from each other in such a way that they remain within the value space of the output parameter of the *FL* model. The values shown with the question mark in Table 3 represent the values investigated in the designs for the relevant input parameter or design parameter. Other numerical data show the values of the design parameters that must be taken as mandatory and are limited by factors such as architectural, constructive, etc. before the



design. In order to test whether the *FIL* method will produce sensitive results in as many different situations as possible, 15 different beam design problems that are subject to shear were considered in this study.



**Figure 12.** Correlation between FL estimations and conventional computation results

**Table 3.** Rectangular RC beam problems to be designed using the 1D FIL method

Problem ID	$b_w$	$h$	$f_{ck}$	$\phi_T$	$n$	$s$	$V_r$ (kN)
1	?	?	?	?	?	?	999.9
2	?	550	?	?	?	?	1222
3	?	?	33	?	?	?	515.5
4	288	555	?	?	?	?	700.7
5	275	412	28	?	?	?	450.0
6	?	600	25	?	?	?	355.9
7	?	?	?	10	2	?	643.2
8	?	?	?	8	4	130	337.5
9	366	495	41	?	3	?	867.6
10	220	350	22	?	2	255	100.8
11	200	300	20	?	?	177	123.4
12	?	?	?	10	?	?	1323.1
13	?	?	?	8	2	300	70.0
14	?	?	50	?	?	70	1100
15	205	302	?	10	2	280	90

In this study, three different codes were written in visual basic coding language for the FL method, FIL method and conventional shear strength computations. The data prepared for use in the FL method with conventional Shear strength computations were used directly in the program written for the FIL method without making any changes at this data.

## 8. Findings and evaluations

After the designs of 15 different RC beams in Table 3 were determined by the *FIL* method, the maximum shear strengths ( $V_r$ ) that these designs could bear were determined by conventional RC beam computations to check the accuracy and the sensitivity of these designs. In addition to these, max, min, mean, absolute max and absolute min percentage error computations were made with the help of Equation 21 between the

targeted shear strengths and the strengths determined by conventional RC beam computations. All these values for each problem were given in Table 4 together with the number of solutions.

As can be seen from Table 4, the maximum absolute error value determined in a total of 521 designs in 15 different problems is 5.523%. This error value is an acceptable and reasonable error considering the maximum error value of % error 3.452 in the *FL* model and the assumptions taken into account in the RC calculations. The biggest standard deviations in Table 4 were obtained as 11.28 kN, 12.24 kN, 11.23 kN and 15.75 kN, in problems 1, 2, 9 and 12 respectively, where the  $V_d$  value is relatively bigger. The largest number of designs were obtained in the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 6<sup>th</sup> problems as 122, 129 and 61 respectively. Obtaining a large number of designs in such problems depends on the number and the attributes of the data in the *FL* model and the number of variable parameters investigated. In general, as the number of variable parameters whose values are investigated increases, the number of designs also increases. In this case, while it is expected that the number of designs obtained in Problem 1 will be greater than that in Problem 3, the highest number of designs from this study was obtained in Problem 3. The reason for this is related to the distribution of the data used in the *FL* model. In other words, this is an indication that the number of outputs close to 515.5 kN in the *FL* model is more than the number of outputs close to 999.9 kN.

**Table 4.** The mean, standard deviation of  $V_r$  values of *ID FIL* designs and percentage errors between  $V_r$  and  $V_d$  values in each problem

Problem ID	Design Numbers	$V_d$ (kN)	$V_r$ (kN)		% Error		% absolute error		
			Mean	Std. Dev.	Max	Min	Mean	Maximum	Mean
1	122	999.9	992.27	11.28	0.025	-3.538	-0.763	3.538	0.764
2	44	1222.0	1213.43	12.24	1.197	-4.172	-0.701	4.172	0.793
3	129	515.5	513.16	4.49	0.192	-3.707	-0.453	3.707	0.516
4	35	700.7	699.76	7.784	0.717	-2.972	-0.134	2.972	0.799
5	9	450.0	435.75	4.105	-2.407	-5.523	-3.168	5.523	3.168
6	61	355.9	354.98	1.241	0.099	-1.231	-0.258	1.231	0.272
7	39	643.2	635.44	9.351	0.137	-3.459	-1.206	3.458	1.246
8	21	337.5	336.18	0.208	-0.287	-0.595	-0.392	0.595	0.392
9	2	867.6	883.97	11.23	2.272	1.501	1.886	2.272	1.886
10	1	100.8	97.59	-3.184	-3.184	-3.184	-3.184	3.184	3.184
11	2	123.4	123.29	0.065	-0.034	-0.139	-0.086	0.139	0.086
12	44	1323.1	1314.85	15.75	2.115	-3.269	-0.623	3.270	0.792
13	7	70.0	69.44	0.23	-0.347	-1.233	-0.799	1.233	0.799
14	4	1100	1069.34	2.46	-2.451	-3.077	-2.787	3.077	2.787
15	1	90	87.291	0	-3.010	-3.010	-3.010	3.010	3.010

All of the designs obtained for each problem are given in Table 5-19, respectively. As can be seen in these tables, the number of stirrup arms, which should be an integer in practice, was obtained as a real number in some designs by *ID-FIL* computations. In this study, the results are given directly in the tables without any rounding. Controls made with conventional RC computations were performed with these real numbers. In practice, the values of parameters such as the number of stirrups and the number of reinforcements are used by rounding them up. The same is true for classical designs. In fact, rounding operations need to be done in a way that increases the security of the design. For example, for the stirrup spacing, the rounding must be done downwards for the safety of the design. Rounding also causes the error amounts to vary. Considering the smallness of the errors (error  $\leq 5.523\%$ ) in all designs and the assumptions and approaches in RC calculations, all designs become more reliable without losing their applicability by rounding the values of the design parameters given in Table 5-19 to a practically usable number. It should be noted here again that these results are the design results obtained by the *ID FIL* method. Realization of many more designs different from these is possible with *2D*, *3D*..., *n(D) FIL* computations.

The bold values of the design parameters given in Table 5-19 show the parameter considered as a variable for the relevant design in the *ID FIL* method. The values given in italics in the last column of each design show the shear strengths obtained by conventional strength computations of the designs determined by *ID FIL*.

**Table 5.** Beam designs under 999.9 kN shear force by the *ID FIL* method for Problem-1

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	<b>458.052</b>	20	10	4	50	999.879	62	400	500	30	10	<b>3.342</b>	50	999.937
2	200	<b>455.836</b>	25	10	4	50	999.854	63	400	500	30	10	4	<b>62.332</b>	964.800
3	200	<b>453.871</b>	30	10	4	50	999.877	64	400	<b>598.831</b>	30	10	4	75	999.871
4	200	<b>450.408</b>	40	10	4	50	999.867	65	400	500	40	<b>8.977</b>	4	50	989.753
5	200	<b>447.426</b>	50	10	4	50	999.910	66	400	500	40	10	<b>3.270</b>	50	999.872
6	200	500	20	<b>9.463</b>	4	50	991.944	67	400	500	40	10	4	<b>63.677</b>	965.828
7	300	600	30	<b>8.288</b>	4	50	993.761	68	400	<b>586.3909</b>	40	10	4	75	999.921
8	300	600	30	10	<b>2.776</b>	50	999.890	69	400	<b>591.8874</b>	50	8	4	50	999.914
9	300	600	30	10	4	<b>72.950</b>	988.878	70	400	500	50	<b>8.888</b>	4	50	989.905
10	<b>394.340</b>	600	30	10	4	75	999.872	71	400	500	50	10	<b>3.207</b>	50	999.866
11	300	600	40	<b>8.212</b>	4	50	995.145	72	400	500	50	10	4	<b>64.862</b>	967.353
12	300	600	40	10	<b>2.722</b>	50	999.899	73	300	<b>445.719</b>	25	10	4	50	999.902
13	200	500	20	10	<b>3.616</b>	50	999.891	74	300	<b>442.903</b>	30	10	4	50	999.892
14	200	500	20	10	4	<b>57.194</b>	968.497	75	300	<b>438.020</b>	40	10	4	50	999.927
15	200	500	25	<b>9.431</b>	4	50	991.634	76	300	<b>433.777</b>	50	10	4	50	999.861
16	200	500	25	10	<b>3.594</b>	50	999.858	77	300	500	20	<b>9.330</b>	4	50	990.935
17	200	500	25	10	4	<b>57.613</b>	967.683	78	300	500	20	10	<b>3.522</b>	50	999.943
18	200	500	30	<b>9.403</b>	4	50	991.406	79	300	500	20	10	4	<b>58.964</b>	965.769
19	200	500	30	10	<b>3.574</b>	50	999.862	80	300	500	25	<b>9.283</b>	4	50	990.620
20	200	500	30	10	4	<b>57.991</b>	967.039	81	300	500	25	10	<b>3.488</b>	50	999.944
21	200	500	40	<b>9.353</b>	4	50	991.020	82	300	500	25	10	4	<b>59.592</b>	965.177
22	200	500	40	10	<b>3.538</b>	50	999.879	83	300	500	30	<b>9.241</b>	4	50	990.361
23	200	500	40	10	4	<b>58.662</b>	966.097	84	300	500	30	10	<b>3.458</b>	50	999.900
24	200	500	50	<b>9.308</b>	4	50	990.733	85	300	500	30	10	4	<b>60.163</b>	964.765
25	200	500	50	10	<b>3.506</b>	50	999.876	86	300	500	40	<b>9.165</b>	4	50	990.060
26	200	500	50	10	4	<b>59.254</b>	965.441	87	300	500	40	10	<b>3.404</b>	50	999.926
27	200	600	20	<b>8.510</b>	4	50	990.467	88	300	500	40	10	4	<b>61.169</b>	964.522
28	200	600	20	10	<b>2.934</b>	50	999.899	89	300	500	50	<b>9.098</b>	4	50	989.848
29	200	600	20	10	4	<b>69.980</b>	975.430	90	300	500	50	10	<b>3.357</b>	50	999.871
30	200	600	25	<b>8.478</b>	4	50	990.829	91	300	500	50	10	4	<b>62.058</b>	964.665
31	200	600	25	10	<b>2.912</b>	50	999.901	92	300	600	20	<b>8.377</b>	4	50	992.285
32	200	600	25	10	4	<b>70.397</b>	977.159	93	300	600	20	10	<b>2.840</b>	50	999.876
33	200	600	30	<b>8.450</b>	4	50	991.208	94	300	600	20	10	4	<b>71.755</b>	983.079
34	200	600	30	10	<b>2.892</b>	50	999.908	95	300	600	25	<b>8.330</b>	4	50	993.011
35	200	600	30	10	4	<b>70.777</b>	978.742	96	300	600	25	10	<b>2.806</b>	50	999.897
36	200	600	40	<b>8.400</b>	4	50	991.930	97	300	600	25	10	4	<b>72.382</b>	986.074
37	200	600	40	10	<b>2.856</b>	50	999.881	98	400	<b>575.8676</b>	50	10	4	75	999.935
38	200	600	40	10	4	<b>71.450</b>	981.688	99	400	600	20	<b>8.244</b>	4	50	994.544
39	200	600	50	<b>8.356</b>	4	50	992.650	100	400	600	20	10	<b>2.745</b>	50	999.916
40	200	600	50	10	<b>2.824</b>	50	999.889	101	400	600	20	10	4	<b>73.530</b>	991.820
41	200	600	50	10	4	<b>72.042</b>	984.438	102	400	600	25	<b>8.182</b>	4	50	995.809
42	300	<b>448.881</b>	20	10	4	50	999.915	103	400	600	25	10	<b>2.701</b>	50	999.912
43	300	600	40	10	4	<b>73.957</b>	994.133	104	400	600	25	10	4	<b>74.362</b>	996.375
44	<b>341.589</b>	600	40	10	4	75	999.907	105	400	600	<b>29.192</b>	10	4	75	999.961
45	<b>369.375</b>	600	50	8	4	50	999.899	106	400	600	30	<b>8.125</b>	4	50	996.979
46	300	600	50	<b>8.146</b>	4	50	996.512	107	400	600	30	<b>9.986</b>	4	75	999.645
47	300	600	50	10	<b>2.675</b>	50	999.861	108	400	600	30	10	<b>2.660</b>	50	999.871
48	300	600	50	10	4	<b>74.848</b>	998.998	109	400	600	30	10	<b>3.990</b>	75	999.871
49	<b>305.439</b>	600	50	10	4	75	999.865	110	400	600	30	10	4	<b>75.246</b>	999.180
50	400	<b>440.088</b>	20	10	4	50	999.907	111	400	600	<b>42.759</b>	8	4	50	1000.152
51	400	<b>436.066</b>	25	10	4	50	999.902	112	400	600	40	<b>8.024</b>	4	50	999.322
52	400	<b>432.5</b>	30	10	4	50	999.897	113	400	600	40	<b>9.836</b>	4	75	997.425
53	400	<b>426.326</b>	40	10	4	50	999.893	114	400	600	40	10	<b>2.589</b>	50	999.917
54	400	<b>421.039</b>	50	10	4	50	999.870	115	400	600	40	10	<b>3.883</b>	75	999.917
55	400	500	20	<b>9.197</b>	4	50	990.179	116	400	600	40	10	4	<b>77.929</b>	992.836
56	400	500	20	10	<b>3.427</b>	50	999.896	117	400	600	50	8	<b>3.929</b>	50	999.912
57	400	500	20	10	4	<b>60.741</b>	964.548	118	400	600	50	8	4	<b>51.341</b>	993.135
58	400	500	25	<b>9.135</b>	4	50	989.980	119	400	600	50	<b>9.703</b>	4	75	995.747
59	400	500	25	10	<b>3.383</b>	50	999.929	120	400	600	50	10	<b>2.525</b>	50	999.907
60	400	500	25	10	4	<b>61.576</b>	964.549	121	400	600	50	10	<b>3.788</b>	75	999.933
61	400	500	30	<b>9.078</b>	4	50	989.885	122	400	600	50	10	4	<b>80.295</b>	988.840

**Table 6.** Beam designs under 1222 kN shear force by the *ID FIL* method for Problem-2

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	<b>257.240</b>	550	20	10	4	50	1236.630	23	200	550	50	10	4	<b>52.001</b>	1208.034
2	200	550	<b>24.365</b>	10	4	50	1226.571	24	300	550	20	<b>9.874</b>	4	50	1219.536
3	200	550	25	<b>9.975</b>	4	50	1221.673	25	300	550	20	10	<b>3.910</b>	50	1222.146
4	200	550	25	10	<b>3.982</b>	50	1222.224	26	300	550	20	10	4	<b>51.695</b>	1210.205
5	200	550	25	10	4	<b>50.330</b>	1219.708	27	300	550	25	<b>9.820</b>	4	50	1217.083

**Table 6.** Continuing

6	200	550	30	<b>9.938</b>	4	50	1218.891	28	300	550	25	10	<b>3.871</b>	50	1220.682
7	200	550	30	10	<b>3.955</b>	50	1220.246	29	300	550	25	10	4	<b>52.410</b>	1204.569
8	200	550	30	10	4	<b>50.837</b>	1214.040	30	300	550	30	<b>9.784</b>	4	50	1217.649
9	200	550	40	<b>9.906</b>	4	50	1222.098	31	300	550	30	10	<b>3.845</b>	50	1221.906
10	300	550	30	10	4	<b>52.890</b>	1203.314	32	400	550	20	10	4	<b>53.437</b>	1201.012
11	300	550	40	<b>9.709</b>	4	50	1216.459	33	400	550	25	<b>9.676</b>	4	50	1215.461
12	300	550	40	10	<b>3.792</b>	50	1222.110	34	400	550	25	10	<b>3.768</b>	50	1221.482
13	300	550	40	10	4	<b>53.894</b>	1198.443	35	400	550	25	10	4	<b>54.341</b>	1195.877
14	300	550	50	<b>9.646</b>	4	50	1216.295	36	400	550	30	<b>9.597</b>	4	50	1209.710
15	300	550	50	10	<b>3.748</b>	50	1223.147	37	400	550	30	10	<b>3.711</b>	50	1216.484
16	300	550	50	10	4	<b>54.736</b>	1195.608	38	400	550	30	10	4	<b>55.429</b>	1186.582
17	400	550	20	<b>9.745</b>	4	50	1217.880	39	400	550	40	<b>9.526</b>	4	50	1214.843
18	400	550	20	10	<b>3.818</b>	50	1222.848	40	400	550	40	10	<b>3.662</b>	50	1223.020
19	200	550	40	10	<b>3.933</b>	50	1224.107	41	400	550	40	10	4	<b>56.425</b>	1188.908
20	200	550	40	10	4	<b>51.260</b>	1215.024	42	400	550	50	<b>9.370</b>	4	50	1199.256
21	200	550	50	<b>9.850</b>	4	50	1218.611	43	400	550	50	10	<b>3.547</b>	50	1207.940
22	200	550	50	10	<b>3.893</b>	50	1221.742	44	400	550	50	10	4	<b>58.480</b>	1171.017

**Table 7.** Beam designs under 515.5 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-3

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	<b>360.608</b>	33	8	4	50	515.546	50	300	<b>572.142</b>	33	10	2	75	516.364
2	200	300	33	<b>8.926</b>	4	50	509.730	51	300	500	33	10	<b>2.398</b>	75	515.864
3	200	300	33	10	<b>3.237</b>	50	515.033	52	300	500	33	10	<b>3.196</b>	100	515.591
4	200	300	33	10	4	<b>64.293</b>	496.390	53	300	500	33	10	<b>3.992</b>	125	515.291
5	200	<b>350.965</b>	33	10	4	75	515.731	54	300	500	33	10	4	<b>125.310</b>	515.123
6	200	400	33	8	<b>3.520</b>	50	515.502	55	300	<b>572.142</b>	33	10	4	150	516.364
7	200	400	33	8	4	<b>59.018</b>	498.107	56	300	600	33	8	2	<b>52.372</b>	509.686
8	200	400	33	<b>9.159</b>	4	75	510.483	57	300	600	33	<b>9.646</b>	2	75	514.120
9	200	<b>442.511</b>	33	10	2	50	515.364	58	300	600	33	8	<b>2.912</b>	75	516.317
10	200	400	33	10	<b>2.266</b>	50	515.317	59	300	600	33	8	<b>3.873</b>	100	515.232
11	200	400	33	10	<b>3.403</b>	75	515.848	60	300	600	33	8	4	<b>103.954</b>	512.673
12	200	400	33	10	4	<b>89.973</b>	506.437	61	300	600	33	<b>8.762</b>	4	125	510.995
13	200	<b>442.511</b>	33	10	4	100	515.364	62	300	600	33	<b>9.646</b>	4	150	514.120
14	200	500	33	<b>9.212</b>	2	50	510.671	63	300	600	33	10	2	<b>81.370</b>	510.084
15	200	500	33	8	<b>2.672</b>	50	515.375	64	300	600	33	10	<b>2.491</b>	100	515.427
16	200	500	33	8	4	<b>74.818</b>	515.600	65	300	600	33	10	<b>3.116</b>	125	515.655
17	<b>204.959</b>	500	33	8	4	75	516.093	66	300	600	33	10	<b>3.747</b>	150	516.490
18	200	<b>501.471</b>	33	8	4	75	516.149	67	300	600	33	10	4	<b>161.146</b>	513.977
19	200	500	33	<b>8.013</b>	4	75	515.963	68	<b>384.985</b>	600	33	10	4	175	515.577
20	200	500	33	<b>9.212</b>	4	100	510.671	69	400	<b>335.046</b>	33	8	4	50	515.572
21	200	500	33	10	2	<b>60.534</b>	497.895	70	400	300	33	<b>8.578</b>	4	50	510.357
22	200	500	33	10	<b>2.577</b>	75	515.201	71	400	300	33	10	<b>2.991</b>	50	514.681
23	200	500	33	10	<b>3.438</b>	100	515.526	72	400	300	33	10	4	<b>68.869</b>	501.762
24	200	500	33	10	4	<b>117.453</b>	511.253	73	400	<b>327.126</b>	33	10	4	75	515.685
25	<b>297.335</b>	500	33	10	4	125	515.312	74	400	400	33	8	<b>3.143</b>	50	515.858
26	200	<b>530.312</b>	33	10	4	125	516.289	75	400	400	33	8	4	<b>66.059</b>	500.548
27	<b>267.171</b>	600	33	8	2	50	515.499	76	400	<b>449.743</b>	33	8	4	75	515.411
28	200	600	33	<b>8.234</b>	2	50	513.436	77	400	400	33	<b>8.649</b>	4	75	511.428
29	200	600	33	8	<b>2.130</b>	50	516.096	78	400	<b>404.001</b>	33	10	2	50	516.274
30	200	600	33	8	<b>3.194</b>	75	515.833	79	400	400	33	10	<b>2.028</b>	50	516.255
31	200	600	33	8	4	<b>95.116</b>	510.394	80	400	400	33	10	<b>3.040</b>	75	515.981
32	<b>267.171</b>	600	33	8	4	100	515.499	81	400	400	33	10	4	<b>98.961</b>	514.881
33	200	600	33	<b>8.234</b>	4	100	513.436	82	400	<b>404.001</b>	33	10	4	100	516.274
34	200	600	33	<b>9.192</b>	4	125	511.329	83	400	<b>472.561</b>	33	10	4	125	515.250
35	200	600	33	10	2	<b>73.711</b>	512.070	84	400	<b>549.591</b>	33	8	2	50	516.275
36	<b>229.060</b>	600	33	10	2	75	515.908	85	400	500	33	<b>8.537</b>	2	50	512.263
37	200	600	33	10	<b>2.052</b>	75	515.633	86	400	500	33	8	<b>2.297</b>	50	516.170
38	200	600	33	10	<b>2.734</b>	100	515.351	87	400	500	33	8	<b>3.436</b>	75	515.119
39	200	600	33	10	<b>3.424</b>	125	516.220	88	400	500	33	8	4	<b>88.998</b>	507.791
40	200	600	33	10	4	<b>146.738</b>	514.093	89	400	<b>549.591</b>	33	8	4	100	516.275
41	<b>229.060</b>	600	33	10	4	150	515.908	90	400	500	33	<b>8.537</b>	4	100	512.263
42	300	<b>347.164</b>	33	8	4	50	515.338	91	400	500	33	<b>9.560</b>	4	125	512.403
43	300	300	33	<b>8.754</b>	4	50	510.135	92	400	500	33	10	2	<b>69.588</b>	505.264
44	300	300	33	10	<b>3.118</b>	50	515.442	93	400	<b>536.193</b>	33	10	2	75	515.795
45	300	300	33	10	4	<b>66.523</b>	498.940	94	400	500	33	10	<b>2.214</b>	75	515.483
46	300	<b>338.599</b>	33	10	4	75	515.761	95	400	500	33	10	<b>2.958</b>	100	516.289
47	300	400	33	8	<b>3.331</b>	50	515.531	96	400	500	33	10	<b>3.687</b>	125	515.188
48	300	400	33	8	4	<b>62.540</b>	497.969	97	400	500	33	10	4	<b>136.671</b>	512.185
49	300	<b>473.564</b>	33	8	4	75	515.155	98	400	<b>536.193</b>	33	10	4	150	515.795



**Table 7.** Continuing

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
99	300	400	33	<b>8.905</b>	4	75	510.685	115	400	<b>593.687</b>	33	10	4	175	515.519
100	300	<b>422.150</b>	33	10	2	50	515.660	116	400	600	33	8	2	<b>59.322</b>	502.725
101	300	400	33	10	<b>2.146</b>	50	515.673	117	400	600	33	<b>9.125</b>	2	75	511.801
102	300	400	33	10	<b>3.220</b>	75	515.799	118	400	600	33	8	<b>2.625</b>	75	515.954
103	300	400	33	10	4	<b>94.495</b>	509.545	119	400	600	33	8	<b>3.503</b>	100	516.277
104	300	<b>422.150</b>	33	10	4	100	515.660	120	400	600	33	8	4	<b>115.591</b>	511.881
105	300	<b>499.226</b>	33	10	4	125	515.291	121	400	600	33	<b>8.337</b>	4	125	513.058
106	300	<b>586.164</b>	33	8	2	50	515.260	122	400	600	33	<b>9.125</b>	4	150	511.801
107	300	500	33	<b>8.871</b>	2	50	510.596	123	400	600	33	<b>9.909</b>	4	175	514.903
108	300	500	33	8	<b>2.485</b>	50	515.897	124	400	600	33	10	2	<b>90.620</b>	508.820
109	300	500	33	8	<b>3.720</b>	75	515.067	125	400	600	33	10	<b>2.250</b>	100	515.666
110	300	500	33	8	4	<b>81.980</b>	508.222	126	400	600	33	10	<b>2.814</b>	125	515.848
111	300	<b>586.164</b>	33	8	4	100	515.260	127	400	600	33	10	<b>3.377</b>	150	515.863
112	300	500	33	<b>8.871</b>	4	100	510.596	128	400	600	33	10	<b>3.935</b>	175	515.516
113	300	500	33	<b>9.988</b>	4	125	515.197	129	400	600	33	10	4	<b>178.224</b>	514.800
114	300	500	33	10	2	<b>65.068</b>	499.573								

**Table 8.** Beam designs under 700.7 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-4

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	288	555	20	8	<b>3.303</b>	50	705.046	19	288	555	40	8	<b>3.125</b>	50	704.695
2	288	555	20	8	4	<b>63.093</b>	679.873	20	288	555	40	8	4	<b>66.376</b>	683.556
3	288	555	20	<b>8.852</b>	4	75	696.633	21	288	555	40	<b>8.622</b>	4	75	698.673
4	288	555	20	10	<b>2.125</b>	50	705.577	22	288	555	<b>42.051</b>	10	2	50	704.844
5	288	555	20	10	<b>3.180</b>	75	704.022	23	288	555	40	10	<b>2.008</b>	50	704.458
6	288	555	20	10	4	<b>95.395</b>	697.178	24	288	555	40	10	<b>3.017</b>	75	705.311
7	288	555	25	8	<b>3.248</b>	50	704.219	25	288	555	40	10	4	<b>99.683</b>	703.844
8	288	555	25	8	4	<b>64.103</b>	679.926	26	288	555	<b>42.051</b>	10	4	100	704.844
9	288	555	25	<b>8.783</b>	4	75	696.727	27	288	555	50	<b>9.908</b>	2	50	704.715
10	288	555	25	10	<b>2.086</b>	50	703.636	28	288	555	50	8	<b>3.054</b>	50	704.707
11	288	555	25	10	<b>3.132</b>	75	704.121	29	288	555	50	8	4	<b>67.688</b>	685.948
12	288	555	25	10	4	<b>96.757</b>	697.959	30	288	555	50	<b>8.527</b>	4	75	699.444
13	288	555	30	8	<b>3.204</b>	50	704.395	31	288	555	50	<b>9.908</b>	4	100	704.715
14	288	555	30	8	4	<b>64.920</b>	681.087	32	288	555	50	10	2	<b>51.227</b>	701.252
15	288	555	30	<b>8.727</b>	4	75	697.635	33	288	555	50	10	<b>2.948</b>	75	705.061
16	288	555	30	10	<b>2.059</b>	50	704.048	34	288	555	50	10	<b>3.935</b>	100	705.724
17	288	555	30	10	<b>3.093</b>	75	704.965	35	288	555	50	10	4	<b>102.056</b>	702.812
18	288	555	30	10	4	<b>97.787</b>	700.106								

**Table 9.** Beam designs under 450 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-5

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	275	412	28	<b>9.327</b>	2	50	435.440	6	275	412	28	10	2	<b>58.991</b>	425.147
2	275	412	28	8	<b>2.735</b>	50	439.168	7	275	412	28	10	<b>2.640</b>	75	438.881
3	275	412	28	8	4	<b>73.751</b>	436.069	8	275	412	28	10	<b>3.521</b>	100	439.007
4	275	412	28	<b>8.090</b>	4	75	438.052	9	275	412	28	10	4	<b>114.992</b>	434.506
5	275	412	28	<b>9.327</b>	4	100	435.440								

**Table 10.** Beam designs under 355.9 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-6

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	600	25	8	2	<b>72.506</b>	351.520	4	300	600	25	<b>9.402</b>	4	225	353.479
2	<b>240.711</b>	600	25	8	2	75	355.921	5	300	600	25	<b>9.960</b>	4	250	355.623
3	200	600	25	<b>8.180</b>	2	75	354.465	6	300	600	25	10	2	<b>126.07</b>	355.474
7	200	600	25	8	<b>2.100</b>	75	355.821	35	300	600	25	10	<b>2.385</b>	150	356.057
8	200	600	25	<b>9.441</b>	2	100	353.413	36	300	600	25	10	<b>2.782</b>	175	356.028
9	200	600	25	8	<b>2.798</b>	100	355.625	37	300	600	25	10	<b>3.178</b>	200	355.869
10	200	600	25	8	<b>3.500</b>	125	355.764	38	300	600	25	10	<b>3.574</b>	225	355.770
11	200	600	25	8	4	<b>143.754</b>	354.002	39	300	600	25	10	<b>3.971</b>	250	355.814
12	<b>240.711</b>	600	25	8	4	150	355.921	40	300	600	25	10	4	<b>251.961</b>	355.654
13	200	600	25	<b>8.180</b>	4	150	354.465	41	363.583	600	25	10	4	275	355.891
14	200	600	25	<b>8.814</b>	4	175	352.644	42	400	600	25	8	2	<b>94.706</b>	352.995
15	200	600	25	<b>9.441</b>	4	200	353.413	43	400	600	25	<b>8.253</b>	2	100	354.571
16	200	600	25	10	2	<b>112.467</b>	352.333	44	400	600	25	8	<b>2.141</b>	100	356.000
17	<b>294.592</b>	600	25	10	2	125	355.817	45	400	600	25	<b>9.222</b>	2	125	353.701
18	200	600	25	10	<b>2.251</b>	125	355.911	46	400	600	25	8	<b>2.676</b>	125	355.964
19	200	600	25	10	<b>2.701</b>	150	355.882	47	400	600	25	8	<b>3.215</b>	150	356.252

**Table 10.** Continuing

20	200	600	25	10	<b>3.152</b>	175	356.031	48	400	600	25	8	<b>3.741</b>	175	355.643
21	200	600	25	10	<b>3.601</b>	200	355.907	49	400	600	25	8	4	<b>187.865</b>	354.782
22	200	600	25	10	4	<b>222.742</b>	355.134	50	400	600	25	<b>8.253</b>	4	200	354.571
23	<b>209.443</b>	600	25	10	4	225	355.447	51	400	600	25	<b>8.732</b>	4	225	353.167
24	<b>294.592</b>	600	25	10	4	250	355.817	52	400	600	25	<b>9.222</b>	4	250	353.701
25	300	600	25	8	2	<b>82.317</b>	351.695	53	400	600	25	<b>9.702</b>	4	275	354.754
26	300	600	25	<b>8.847</b>	2	100	352.819	54	400	600	25	10	2	<b>145.853</b>	354.886
27	300	600	25	8	<b>2.470</b>	100	355.839	55	400	600	25	10	<b>2.065</b>	150	355.795
28	300	600	25	<b>9.960</b>	2	125	355.623	56	400	600	25	10	<b>2.411</b>	175	355.966
29	300	600	25	8	<b>3.088</b>	125	355.908	57	400	600	25	10	<b>2.757</b>	200	356.055
30	300	600	25	8	<b>3.708</b>	150	356.029	58	400	600	25	10	<b>3.100</b>	225	355.926
31	300	600	25	8	4	<b>162.853</b>	354.426	59	400	600	25	10	<b>3.446</b>	250	356.056
32	<b>355.317</b>	600	25	8	4	175	355.693	60	400	600	25	10	<b>3.788</b>	275	355.885
33	300	600	25	<b>8.290</b>	4	175	354.068	61	400	600	25	10	4	<b>290.921</b>	355.478
34	300	600	25	<b>8.847</b>	4	200	352.819								

**Table 11.** Beam designs under 643.2 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-7

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	<b>554.3743</b>	20	10	2	50	643.485	21	300	600	20	10	2	<b>60.16177</b>	622.924
2	200	<b>548.5729</b>	25	10	2	50	642.688	22	300	600	25	10	2	<b>61.58527</b>	621.347
3	200	<b>544.456</b>	30	10	2	50	643.284	23	300	600	30	10	2	<b>62.70804</b>	621.733
4	200	<b>535.747</b>	40	10	2	50	642.286	24	300	600	40	10	2	<b>64.60139</b>	623.982
5	<b>299.9139</b>	500	50	10	2	50	643.342	25	300	600	50	10	2	<b>66.455</b>	625.323
6	200	<b>529.7235</b>	50	10	2	50	643.286	26	400	<b>497.7321</b>	30	10	2	50	644.037
7	200	600	20	10	2	<b>56.735</b>	624.781	27	400	<b>484.6242</b>	40	10	2	50	643.716
8	200	600	25	10	2	<b>57.646</b>	623.019	28	400	<b>473.7396</b>	50	10	2	50	643.528
9	200	600	30	10	2	<b>58.326</b>	623.008	29	400	<b>513.4757</b>	20	10	2	50	643.287
10	200	600	40	10	2	<b>59.799</b>	620.955	30	400	<b>504.2314</b>	25	10	2	50	642.516
11	200	600	50	10	2	<b>60.766</b>	622.543	31	400	500	<b>28.242</b>	10	2	50	643.620
12	300	<b>499.9762</b>	50	10	2	50	643.343	32	400	500	30	10	2	<b>50.45898</b>	642.462
13	300	<b>533.607</b>	20	10	2	50	644.079	33	400	500	40	10	2	<b>53.19484</b>	634.516
14	300	<b>525.721</b>	25	10	2	50	643.041	34	400	500	50	10	2	<b>55.60766</b>	629.678
15	<b>389.078</b>	500	30	10	2	50	643.918	35	400	600	20	10	2	<b>63.83655</b>	622.572
16	300	<b>519.3286</b>	30	10	2	50	642.835	36	400	600	25	10	2	<b>65.69257</b>	622.700
17	<b>335.611</b>	500	40	10	2	50	643.447	37	400	600	30	10	2	<b>67.02938</b>	625.906
18	300	<b>508.937</b>	40	10	2	50	643.234	38	400	600	40	10	2	<b>69.72376</b>	630.398
19	300	500	<b>49.973</b>	10	2	50	643.344	39	400	600	50	10	2	<b>72.02353</b>	634.815
20	300	500	50	10	2	<b>50.005</b>	643.326								

**Table 12.** Beam designs under 337.5 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-8

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	<b>496.340</b>	50	8	4	130	336.070	4	300	<b>463.088</b>	40	8	4	130	336.384
2	200	<b>539.042</b>	20	8	4	130	336.045	5	300	<b>448.934</b>	50	8	4	130	336.243
3	<b>274.699</b>	500	25	8	4	130	336.493	6	<b>305.941</b>	500	20	8	4	130	336.198
7	200	<b>529.803</b>	25	8	4	130	336.098	15	300	<b>502.012</b>	20	8	4	130	336.180
8	<b>249.436</b>	500	30	8	4	130	336.087	16	300	500	<b>20.870</b>	8	4	130	336.327
9	200	<b>521.482</b>	30	8	4	130	335.964	17	400	<b>470.188</b>	20	8	4	130	336.366
10	<b>216.248</b>	500	40	8	4	130	336.168	18	400	<b>456.372</b>	25	8	4	130	336.230
11	200	<b>507.912</b>	40	8	4	130	336.116	19	400	<b>444.788</b>	30	8	4	130	336.251
12	200	500	<b>46.780</b>	8	4	130	336.182	20	400	<b>425.544</b>	40	8	4	130	336.121
13	300	<b>490.596</b>	25	8	4	130	336.531	21	400	<b>410.467</b>	50	8	4	130	335.491
14	300	<b>479.882</b>	30	8	4	130	336.170								

**Table 13.** Beam designs under 867.6 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-9

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	366	495	41	<b>9.862</b>	3	50	887.313	2	366	495	41	10	3	<b>51.85052</b>	880.620

**Table 14.** Beam designs under 100.8 kN shear force by the 1D FIL method for Problem-10

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>r</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	220	350	22	<b>9.210</b>	2	255	97.591

**Table 15.** Beam designs under 123.4 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-11

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	
<b>3.52</b>																
1	200	300	20	8	<b>3</b>	177	123.228	2	200	300	20	10	<b>2.281</b>	177	123.358	

**Table 16.** Beam designs under 1323.2 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-12

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	200	<b>589.718</b>	25	10	4	50	1323.322	23	300	600	40	10	<b>3.732</b>	50	1323.165
2	200	<b>586.339</b>	30	10	4	50	1321.461	24	300	600	40	10	4	<b>55.020</b>	1292.099
3	200	<b>583.267</b>	40	10	4	50	1325.133	25	300	600	50	10	<b>3.688</b>	50	1324.180
4	200	<b>578.354</b>	50	10	4	50	1322.821	26	300	600	50	10	4	<b>55.872</b>	1289.515
5	<b>233.256</b>	600	20	10	4	50	1351.084	27	400	<b>569.074</b>	20	10	4	50	1323.893
6	200	600	<b>22.456</b>	10	4	50	1344.625	28	400	<b>563.283</b>	25	10	4	50	1322.701
7	200	600	25	10	<b>3.922</b>	50	1323.292	29	400	<b>556.534</b>	30	10	4	50	1317.492
8	200	600	25	10	4	<b>51.456</b>	1311.942	30	400	<b>550.872</b>	40	10	4	50	1323.922
9	200	600	30	10	<b>3.897</b>	50	1321.523	31	400	<b>534.891</b>	50	10	4	50	1300.202
10	200	600	30	10	4	<b>51.937</b>	1306.863	32	400	600	20	10	<b>3.757</b>	50	1323.914
11	200	600	40	10	<b>3.871</b>	50	1324.958	33	400	600	20	10	4	<b>54.570</b>	1294.333
12	200	600	40	10	4	<b>52.407</b>	1307.296	34	400	600	25	10	<b>3.709</b>	50	1322.570
13	200	600	50	10	<b>3.834</b>	50	1322.937	35	400	600	25	10	4	<b>55.446</b>	1290.097
14	200	600	50	10	4	<b>53.119</b>	1301.029	36	400	600	30	10	<b>3.654</b>	50	1317.954
15	300	<b>580.426</b>	20	10	4	50	1323.189	37	400	600	30	10	4	<b>56.495</b>	1281.591
16	300	<b>575.716</b>	25	10	4	50	1321.870	38	400	600	40	10	<b>3.601</b>	50	1324.164
17	300	<b>572.471</b>	30	10	4	50	1323.047	39	300	600	20	10	<b>3.850</b>	50	1323.306
18	300	<b>566.059</b>	40	10	4	50	1323.220	40	300	600	20	10	4	<b>52.829</b>	1302.730
19	300	<b>560.855</b>	50	10	4	50	1324.177	41	300	600	25	10	<b>3.812</b>	50	1321.837
20	300	600	25	10	4	<b>53.514</b>	1297.942	42	400	600	40	10	4	<b>57.556</b>	1283.642
21	300	600	30	10	<b>3.785</b>	50	1322.977	43	400	600	50	10	<b>3.553</b>	50	1328.891
22	300	600	30	10	4	<b>54.006</b>	1296.722	44	400	600	50	10	4	<b>58.702</b>	1279.840

**Table 17.** Beam designs under 70.0 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-13

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	<b>268.090</b>	300	20	8	2	300	69.643	5	<b>215.968</b>	300	30	8	2	300	69.137
2	200	<b>340.691</b>	20	8	2	300	69.432	6	200	<b>310.825</b>	30	8	2	300	69.142
3	<b>239.636</b>	300	25	8	2	300	69.619	7	200	300	<b>36.154</b>	8	2	300	69.757
4	200	<b>324.576</b>	25	8	2	300	69.357								

**Table 18.** Beam designs under 1100 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-14

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)	No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	<b>330.920</b>	600	50	10	4	70	1073.038	3	400	600	50	<b>9.777</b>	4	70	1066.150
2	400	<b>581.165</b>	50	10	4	70	1068.773	4	400	600	50	10	<b>3.839</b>	70	1069.394

**Table 19.** Beam designs under 90 kN shear force by the *1D FIL* method for Problem-15

No	b (mm)	h (mm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	φ <sub>T</sub> (mm)	n	s (mm)	V <sub>r</sub> <sup>Conv.</sup> (kN)
1	205	302	27.67339	10	2	280	87.291

As can be seen from all of these design tables, only designs for the targeted output value were performed by the *1D FIL* method. The *1D FIL* method does not produce designs that are very close to the targeted output value, even if they are safe. To put it more clearly, according to the *1D FIL* method, for example, for targeted shear strength of 500 kN, a design with a shear force of 501 kN is not a result. Although this seems to be a disadvantage of the *1D FIL* method, it is foreseen that the *1D FIL* method, which only gives outputs with Demand/Capacity=1 as a result, can be used in sensitive optimization studies.

Taking into account the errors in the *1D FIL* results arising from the data of the FL model, using the equation given in Equation 22 instead of Equation 4 in the *1D FIL* method will allow obtaining almost all safe designs.

$$O_s < kxO_D < O_B \quad (22)$$

The k parameter in Equation 22 can be calculated by Equation 23 by considering the maximum error ( $e_{max}$ ) in the designs performed by the 1D FIL method in this study. It is appropriate to take  $k=1+0.05533\cong 1.06$  for the beam designs discussed in this study.

$$k \geq 1 + \%e_{max}$$

## 8. Conclusions and recommendations

Some of the conclusions obtained from this study are given below.

- In this study, an FL model was developed for the estimation of shear strength capacities of RC beams with limited ductility and its validity was proven by testing it with a very low amount of error ( $e_{max}=3.452\%$ ).
- For the first time, a real design has been carried out for RC beams with limited ductility subjected to shear with an AI method.
- By applying the 1D FIL method to the developed FL model without making any changes in the data of this model, a total of 521 designs of 15 different RC beams with limited ductility were successfully carried out. The maximum absolute error in the designs was determined as 5.523%.
- By the 1D FIL method, it is possible to perform a general design as in Problem 1, as well as to design for certain/mandatory/constant values of the problem parameters(see Problem 2-15).
- The 1D FIL method can also be used as a very sensitive testing tool for FL models developed.
- The values of the problem parameters obtained for the designs with the 1D FIL method are within the data ranges of the variables and outputs of the FL model.
- By the 1D FIL method, the designs with  $Demand/Capacity=1$  can be obtained at once. In this respect, it is foreseen that it will be a useful method for performing optimum designs. Additionally, if desired, it is possible to perform designs in different Demand/Capacity ratios with the 1D FIL method.

A more general strength estimation tool can be created by expanding the data limits of the variable parameters in the FL model developed in this study. However, by narrowing these data limits, a strength estimation tool can be created for more specific problems. These strength estimation tools can be added to the analysis programs used in civil engineering as an AI module and can be used in designs with the 1d FIL method.

In this study, before using the designs obtained by the 1D FIL method directly, their compliance with other design conditions in the regulations, if any, should be checked. Finally, it is foreseen that the 1D FIL method along with a sensitively constituted FL model can be used effectively for control, optimization, design, robotic, autonomous vehicles, etc. problems in many other scientific fields.

### Author contribution

Research design, fuzzy logic calculations, fuzzy inverse logic calculations, computer code writing, data analysis, article writing and final approval.

### Declaration of ethical code

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

### Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

## References

- Allali, S. A., Abed, M., & Mebarki, A. (2018). Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic, *Engineering Structures*, 166, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.055>
- Akintunde, O. P. (2021). Fuzzy Logic design approach for a singly reinforced concrete beam, *Journal of Civil Engineering Research & Technology*. SRC/JCERT-111, 3. [https://doi.org/10.47363/JCERT/2021\(3\)111](https://doi.org/10.47363/JCERT/2021(3)111).
- Amani, J., & Moeini, R. (2012). Prediction of shear strength of reinforced concrete beams using adaptive neuro-fuzzy inference system and artificial neural network, *Scientia Iranica*, 19(2), 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.02.009>
- Cao, Y., Zandi, Y., Rahimi, A., Petković, D., Denić, N., Stojanović, J., ... & Assilzadeh, H. (2021, December). Evaluation and monitoring of impact resistance of fiber reinforced concrete by adaptive neuro fuzzy algorithm, *Structures*, 34. 3750-3756. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.072>
- Cao, Y., Fan, Q., Azar, S. M., Alyousef, R., Yousif, S. T., Wakil, K., ... & Alaskar, A. (2020). Computational parameter identification of strongest influence on the shear resistance of reinforced concrete beams by fiber reinforcement polymer, *Structures*, 27, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.031>
- Chao, C. J., & Cheng, F. P. (1998). Fuzzy pattern recognition model for diagnosing cracks in RC structures. *Journal of computing in civil engineering*, 12(2), 111-119.
- Choi, S. K., Tareen, N., Kim, J., Park, S., & Park, I. (2018). Real-time strength monitoring for concrete structures using EMI technique incorporating with fuzzy logic, *Applied Sciences*, 8(1), 75. <https://doi.org/10.3390/app8010075>
- Cukaric, A., Camagic, I., Dutina, V., Milkic, Z., & Jovic, S. (2019). Parameters ranking based on influence on dynamical strength of ultra-high performance concrete by neuro fuzzy logic, *Struct Concr*, 433, 1-7. <https://doi.org/10.1002/suco.201900433>
- De Iuliis, M., Kammouh, O., Cimellaro, G. P., & Tesfamariam, S. (2019). Downtime estimation of building structures using fuzzy logic, *International journal of disaster risk reduction*, 34, 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.11.017>
- Doğangün, Adem, *Betonarme yapıların hesap ve tasarımı(Turkish)*, Birsen yayınevi 17th edition, 2021, İstanbul/Turkey.
- Doran, B., Yetilmezsoy, K., & Murtazaoglu, S. (2015). Application of fuzzy logic approach in predicting the lateral confinement coefficient for RC columns wrapped with CFRP, *Engineering Structures*, 88, 74-91. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.01.039>
- Elbeltagi, E., Hosny, O. A., Elhakeem, A., Abd-Elrazek, M. E., & Abdullah, A. (2011). Selection of slab formwork system using fuzzy logic, *Construction Management and Economics*, 29(7), 659-670. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.590144>
- Elenas, A., Vrochidou, E., Alvanitopoulos, P., & Andreadis, I. (2013). Classification of seismic damages in buildings using fuzzy logic procedures, *In Computational Methods in Stochastic Dynamics*. 335-344. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5134-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5134-7_20)
- Garzón-Roca, J., Marco, C. O., & Adam, J. M. (2013). Compressive strength of masonry made of clay bricks and cement mortar: Estimation based on Neural Networks and Fuzzy Logic, *Engineering Structures*, 48, 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.09.029>
- Golafshani, E. M., Rahai, A., Sebt, M. H., & Akbarpour, H. (2012). Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic, *Construction and building materials*, 36, 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.046>
- Govardhan, P., Kalapatapu, P., & Pasupuleti, V. D. K. (2021). Identification of Multiple Cracks on Beam using Fuzzy Logic, 2021 *International Conference on Emerging Techniques in Computational Intelligence*, 165-169. <https://doi.org/10.1109/ICETCI51973.2021.9574059>

- Harirchian, E., & Lahmer, T. (2020). Developing a hierarchical type-2 fuzzy logic model to improve rapid evaluation of earthquake hazard safety of existing buildings, *Structures* 28, 1384-1399. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.048>
- Khoshnoudian, F., & Molavi-Tabrizi, A. (2012). Responses of isolated building with MR Dampers and Fuzzy Logic, *International Journal of Civil Engineering*, 10(3).
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers, *International Journal of Man-Machine Studies*, 8(6), 669-678. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(76\)80028-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(76)80028-4).
- Mirrashid, M., & Naderpour, H. (2020). Recent trends in prediction of concrete elements behavior using soft computing (2010–2020), *Archives of Computational Methods in Engineering*, 4,1-21. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09500-7>
- Naderpour, H., & Alavi, S. A. (2017). A proposed model to estimate shear contribution of FRP in strengthened RC beams in terms of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, *Composite Structures*, 170, 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.03.028>
- Naderpour, H., Nagai, K., Haji, M., & Mirrashid, M. (2019). Adaptive neuro-fuzzy inference modelling and sensitivity analysis for capacity estimation of fiber reinforced polymer-strengthened circular reinforced concrete columns, *Expert Systems*, 36(4), e12410. <https://doi.org/10.1111/exsys.12410>
- Ozkul, S., Ayoub, A., & Altunkaynak, A. (2014). Fuzzy-logic based inelastic displacement ratios of degrading RC structures, *Engineering structures*, 75, 590-603. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.06.030>
- Öztekin, E. (2021). Fuzzy inverse logic: part-1. Introduction and bases. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 675-691. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.894674>
- Öztekin, E. (2021). Fuzzy inverse logic: part-2. Validation and evaluation of the method. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 768-791. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.894879>
- Sung, Y. C., & Su, C. K. (2010). Fuzzy genetic optimization on performance-based seismic design of reinforced concrete bridge piers with single-column type, *Optimization and Engineering*, 11(3), 471-496. <https://doi.org/10.1007/s11081-009-9092-4>
- Şen, Z. (2010). Rapid visual earthquake hazard evaluation of existing buildings by fuzzy logic modeling, *Expert systems with Applications*, 37(8), 5653-5660. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.046>
- Şen, Z. (2011). Supervised fuzzy logic modeling for building earthquake hazard assessment, *Expert systems with applications*, 38(12), 14564-14573. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.026>
- TBEC. *Turkish Building Earthquake Code*; T.C. Resmi Gazete: Ankara, Turkey, 2018.
- Tekeli, H., Korkmaz, K. A., Demir, F., & Carhoglu, A. I. (2014). Comparison of critical column buckling load in regression, fuzzy logic and ANN based estimations, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(3), 1077-1087. <https://doi.org/10.3233/IFS-120701>
- TS 500, Requirements for design and construction of reinforced concrete structures*, Turkish Standarts, Institute: Ankara, Türkiye, 2000.
- Ud Darain, K. M., Jumaat, M. Z., Hossain, M. A., Hosen, M. A., Obaydullah, M., Huda, M. N., & Hossain, I. (2015). Automated serviceability prediction of NSM strengthened structure using a fuzzy logic expert system, *Expert systems with applications*, 42(1), 376-389. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.058>
- Uzunoglu, M., & Kap, T. (2012). Prediction of concrete compressive strength in buildings that would be reinforced by fuzzy logic, *International Journal of Physical Sciences*, 7(31), 5193-5201. <https://doi.org/10.5897/IJPS12.155>

- Zabihi-Samani, M., & Ghanooni-Bagha, M. (2019). Optimal semi-active structural control with a wavelet-based cuckoo-search fuzzy logic controller, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43(4), 619-634. <https://doi.org/10.1007/s40996-018-0206-0>
- Zadeh, L. A. (1965), Fuzzy Sets, *Information and control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, (1), 28-44. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III, *Information Sciences*, 9(1), 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)



## Effect of aging time and temperature on properties of AA7075 alloy

*Yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının AA7075 alaşımının özelliklerine etkisi*

Selahattin BUDAK<sup>\*1,a</sup> , Harun ÇOLAK<sup>2,b</sup> , Yusuf YAKUT<sup>2,c</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Mechanical Engineering, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs University, Department of Machinery and Metal Technologies, 55300, Samsun

• Received: 12.05.2022

• Accepted: 19.10.2022

### Abstract

In this study, the effect of aging at different temperatures and times on the properties of AA7075-T6 alloy was investigated. The samples prepared for the experimental studies were subjected to the solution, quenching, and then aging heat treatment at 100 °C and 200 °C for different periods (42-66-90 hours). The properties of the experimental samples were investigated by hardness, compression test, and scanning electron microscope (SEM). As a result of the studies, it was determined that the aging heat treatment had a positive effect on the microstructure and mechanical properties of the AA7075 alloy compared to the reference sample. Especially as a result of the heat treatments at 100 °C, higher results were obtained in hardness and compression strength compared to the initial values.

**Keywords:** Aging, Compressive strength, Hardness

### Öz

*Bu çalışmada, farklı sıcaklı ve sürelerde uygulanan yaşlandırma işleminin, AA7075-T6 alaşımının özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler, çözeltiye alma, su verme, daha sonra 100 °C ve 200 °C sıcaklıkta farklı sürelerde (42-66-90 saat) yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulmuşlardır. Deneysel numunelerin, sertlik, basma deneyi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, yapılan yaşlandırma ısı işleminin AA7075 alaşımının özelliklerini referans numuneye göre olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle 100 °C de yapılan ısı işlemler sonucu sertlik ve basma mukavemetinde başlangıç değerlerine göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Yaşlandırma, Basma mukavemeti, Sertlik

\*<sup>a</sup> Selahattin BUDAK; sbudak@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Aluminum is one of the most important non-ferrous metals. The most important features of aluminum materials are lightness, durability, easy processing, ability to conduct heat and electricity, resistance to oxidation, magnetic and non-toxic, light-reflecting and pleasing to the eye. Especially low weight/strength ratio, oxidation resistance, light reflection and anodic coating feature have made aluminum materials a widely used metal in the machinery industry (Budak, 2016; Gültekin & Korkmaz, 2021; Şenel, 2020; Şenel & Gürbüz, 2020).

Aluminum alloys can be divided into two main groups as wrought and cast. Some alloying elements such as copper in aluminum alloys, whose strength and hardness can be increased by heat treatment, and sometimes the elements that are added as alloying elements create situations that cannot be heat treated. Thus, according to their sensitivity to heat treatment, aluminum alloys are divided into two subgroups as heat-treatable and non-heat-treatable alloys. It is the general name given to alloys whose mechanical properties can be improved after controlled heating and cooling processes. Those in the group of those that can be subjected to heat treatment; 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061 and 7075 (Kibar, 2010; Al-Saadi & Tunay, 2017).

7075 aluminum alloy, a typical heat treatment alloy, is widely used in aerospace, nuclear industry, transportation, and other fields (Li et al., 2018). The use of aluminum and its alloys in many industrial applications such as the automotive industry, aerospace industry and various marine structures is increasing day by day. However, the need to obtain quality and reliable products imposes important responsibilities on aluminum alloys in terms of strength rather than lightness. Aluminum alloys can meet the expectations in terms of mechanical properties only by heat treatment. Since 7XXX series aluminum alloys are highly susceptible to corrosion in the T6 temper state, which provides high hardness and strength, an over-aging process known as T73 has been developed in recent years to improve the corrosion resistance of these alloys. However, the T73 temper reduces the strength of the alloy by 10-15% while increasing the corrosion resistance of the alloy. At the end of the studies aimed at combining the strength and corrosion properties at the optimum value, the regression and re-aging (RRA, retrogression and re-aging) process was found. The RRA process is defined as a two-stage heat treatment process, retrogression, and aging, and is applied to alloys in the T6 temper state (Cina, 1974).

Aluminum alloys; contain one or more of the main alloying elements such as silicon, copper, magnesium, zinc, and manganese. Elements such as iron, chromium, and titanium can be found in low amounts. In addition, some special alloys may contain nickel, cobalt, tin, lead, or vanadium. Elements such as Cu, Zn, Mg, Mn, Fe, Pb, and Bi, which are alloying elements added to aluminum alloys, positively affect the mechanical properties of aluminum. In addition, heat treatments applied to aluminum alloys increase the wear resistance by directly affecting the mechanical properties of the materials (Aydn, 2002). The increase in hardness by heat treatment applied to aluminum alloys for hardening is provided by the thin and homogeneous precipitation of the second phase precipitates in the matrix, especially light aluminum alloys used in the aircraft industry are hardened by precipitation hardening and this process does not affect the hardening. Not only the mechanical properties but also the magnetic and conductivity properties of the material. For this reason, aging heat treatment is also applied to improve the properties of electronic materials (Ak, 2012). They stated that alloying elements such as Cu, Zn, Mg, Mn, Fe, Pb, and Bi added to aluminum alloys affect the mechanical properties of aluminum, while heat treatments applied to aluminum alloys directly affect the mechanical properties of the materials (Naeem & Mohammed, 2013).

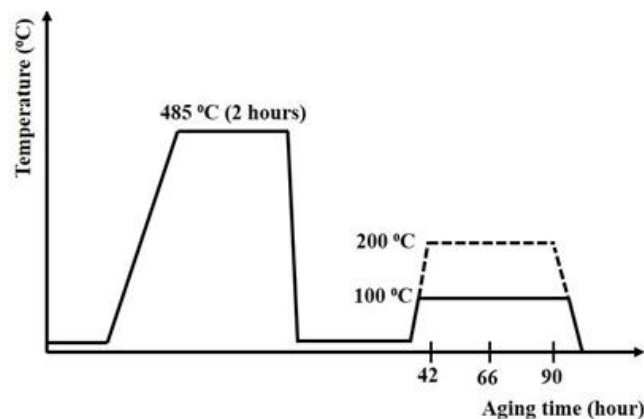
In the artificial aging processes, to investigate the effect of the aging process on 7075 aluminum alloy, processes were generally carried out at a single temperature and at a single time (El-Amoush, 2011; Xiao et al., 2011; Rokni et al., 2017). However, it is seen that processes are not carried out at different temperatures and at different times. In this study, AA7075-T6 alloys with circular cross-sections were subjected to solution aging and artificial aging using different temperatures and different times. The effects of artificial aging processes on the properties of 7075 aluminum alloy were investigated.

## 2. Material and method

Resolution and artificial aging of the AA7075 alloy in the T6 state, which is the subject of the study, was carried out using different temperatures and different times. Taking into account the tests to be made at the end of the artificial aging process and the different parameters to be applied during the artificial aging, samples with a diameter of 10 mm and a length of 20 mm were prepared on the CNC lathe using machining methods. In the study, 7075 aluminum alloy in T6 state, which was taken into the solution at 485 °C for 2 hours, was rapidly cooled in water at room temperature, and then artificial aging was applied to the samples at different temperatures and different waiting times specified in Table 1 and Figure 1. In the previous studies, the changes in the mechanical properties of the aluminum alloy (7075) in the aging processes were examined and aging heat treatment was applied at these temperatures and times to reach the optimum values. A heat treatment furnace was used for the applied artificial aging processes.

**Table 1.** Aging parameters

Sample Number	Solution temperature (°C) – 2 hour	Aging temperature (°C)	Aging time (hour)
T6	-	-	-
2			42
3		100	66
4			90
10	485		42
11		200	66
12			90



**Figure 1.** Aging parameters graph

The samples prepared according to the specified standards for metallographic examination were sanded under water with SiC abrasives with grit numbers 180, 320, 400, 600, 800, 1000, and 1200, respectively. After sanding, the samples were polished with 0.3-micron diamond paste. The samples were prepared by cleaning and spraying ethyl alcohol on their surfaces. Samples prepared for microstructural studies were etched in Keller's reagent (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 190 ml pure water) for 8-15 seconds. Etched samples were examined with a JEOL brand JSM 7001F model scanning electron microscope.

The samples prepared according to the specified standards for metallographic examination were sanded under water with SiC abrasives with grit numbers 180, 320, 400, 600, 800, 1000, and 1200, respectively. After sanding, the samples were polished with 0.3-micron diamond paste. The samples were prepared by cleaning and spraying ethyl alcohol on their surfaces. Samples prepared for microstructural studies were etched in Keller's reagent (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 190 ml pure water) for 8-15 seconds. Etched samples were examined with a JEOL brand JSM 7001F model scanning electron microscope.

Vickers hardness method was used to measure the hardness values. In preparation for the hardness measurement process, the samples were polished and smoothed with Metkon, Forcipol metal sanding, and a polishing device. Microhardness measurements; A Buehler Micromet 2001 micro hardness device was used. The hardness measurement was carried out by pressing the sample surface for 15 s at a load of 10 gf using a

136° Vickers diamond square pyramid tip, creating traces of deformation on the surface. Compression tests were performed with the Besmak brand BMT-100E model test device at 2 mm/min. with the printing speed. A Compression test was used considering that embrittlement may occur with excessive aging in materials as a result of heat treatments carried out at high temperatures and times, and it would be more appropriate to evaluate all experimental results in terms of the same parameter. In addition, since the compression test specimens are smaller in size and size than the tensile test specimens, it was thought that the aging processes performed on small specimens would create a more homogeneous effect on the whole material, and it was thought that this would make the results of the tests more stable.

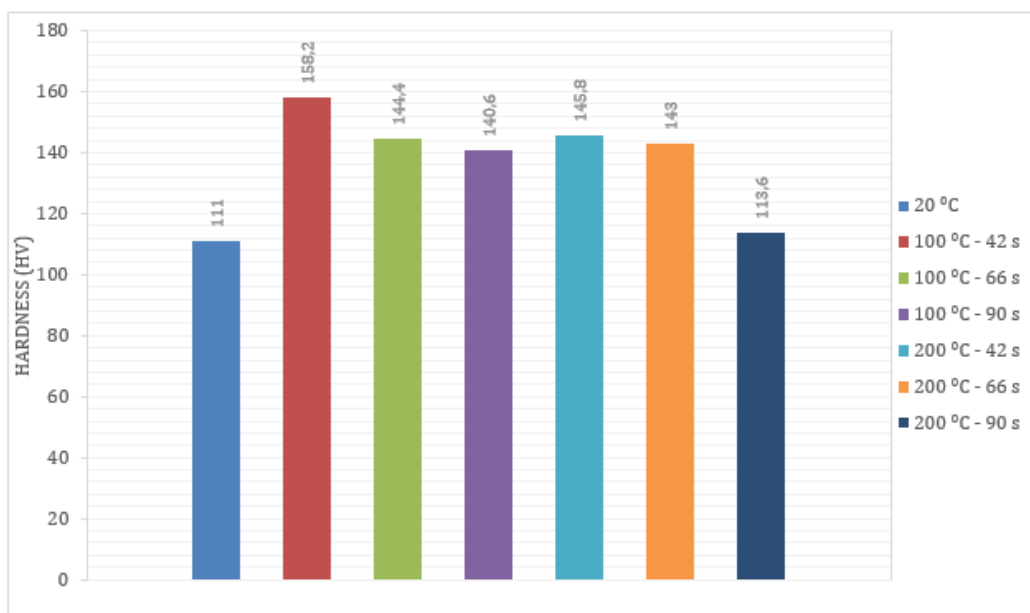
### 3. Results and discussion

7075-T6 aluminum alloys were immediately applied to the quenching process after being in solution for 2 hours at 485 °C, and then artificial aging was applied at different temperatures such as 100 °C and 200 °C and for 42, 66, and 90 hours. The effects of aging on mechanical properties were investigated. The result of the spectral analysis performed to determine the percent composition of alloying elements is given in Table 2.

**Table 2.** Chemical composition of aluminum 7075 alloy used in experimental studies

Element	Al	Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Zr
Weight %	89.8	0.213	0.541	0.019	1.581	2.589	5.670	0.0151	0.0278

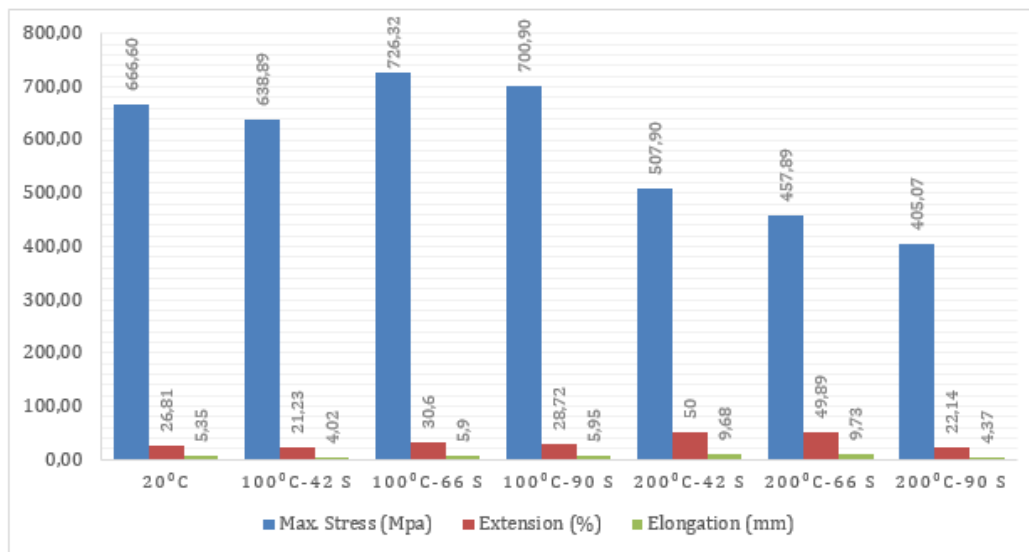
The hardness values obtained from the hardness measurements of the samples at different aging parameters are given in Figure 2. It is seen that the hardness values of the samples that were artificially aged after being taken into the solution were higher than the hardness value of the reference (AA7075-T6 and 20 °C) sample. When the samples were artificially aged at different times and temperatures were examined, the highest hardness value was found in the samples aged at 100 °C and 42 hours. It is observed that there is a decrease in hardness values in other samples whose artificial aging process continues at the same temperature and whose duration is prolonged. It is understood from the literature that the reason for the decrease in hardness values with the increase in the aging time in this period may be caused by excessive aging and coarsening of the microstructure precipitates depending on time. When the increase in aging temperature is examined, it is observed that there is a decrease in hardness as the aging temperature increases (Geçkinli, 2002; Hansen et al., 2004; Chen et al., 2009; Baydoğan et al., 2010; Durmuş et al., 2011; Özyürek et al., 2012; Yilmaz et al., 2012; Demirel & Karaağaç, 2020).



**Figure 2.** Hardness variation graph

When the compressive strength values are examined, it is seen in Figure 3 that the compressive strength values increase in the artificially aged samples. The main hardening components in 7075 aluminum alloys

are the GP zones and the  $\eta'$  phase. The hardness of the material increases when the precipitated particles hinder the dislocation movement since the 2nd phase grains formed after the precipitation process are mostly harder than the matrix. The precipitate particles are generally harder than the matrix and prevent dislocation movement during deformation. In this case, the dislocation part remaining between the precipitates moves depending on the applied tension to overcome the precipitate particles and surround the particles. Since the dislocations move in all directions, the number of rings around the precipitate increases and causes an increase in the dislocation density in the material. The strength increases resulting from the aging heat treatment are due to the precipitates formed in the aluminum matrix. These precipitates caused an increase in compressive strength values at low temperatures by preventing dislocation movements caused by deformation during the experiments. It was determined that the strength values decreased with the increase in temperature. However, increases in elongation values were also observed (Geçkinli, 2002; Hansen et al., 2004; Chen et al., 2009; Baydoğan et al., 2010; Durmuş et al., 2011; Özyürek et al., 2012; Yilmaz et al., 2012).

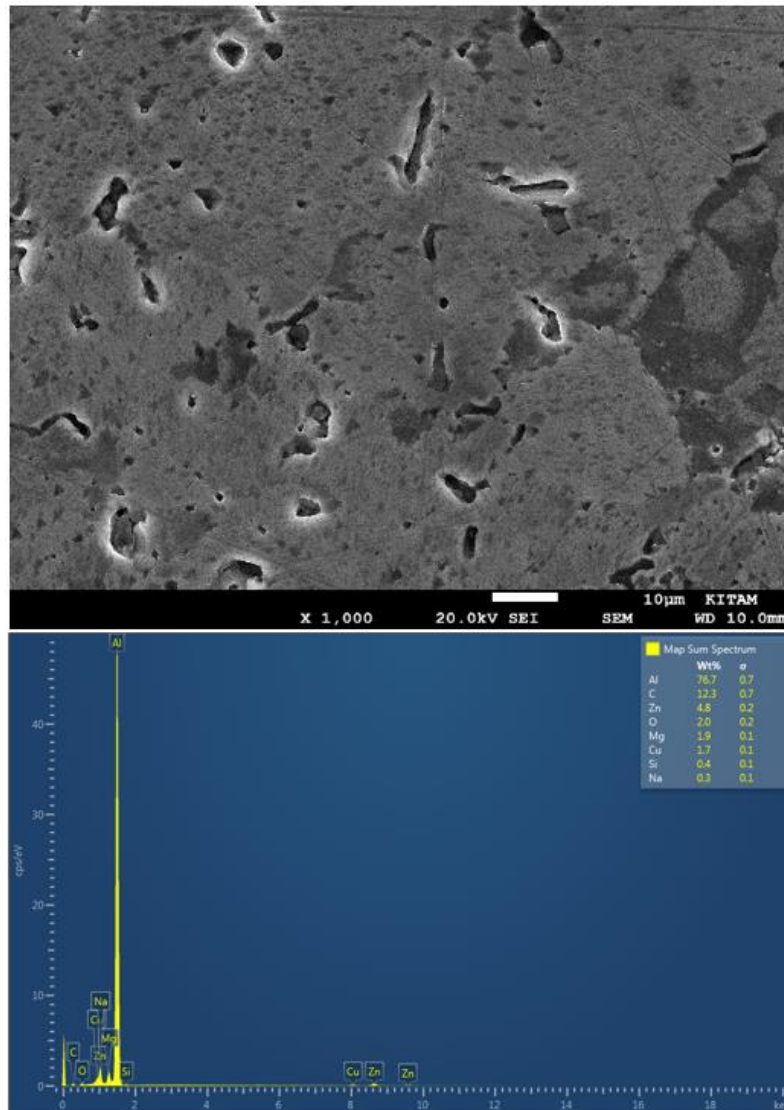


**Figure 3.** Compressive strength graph

Microstructure SEM pictures and EDS analyses taken from experimental samples are given in Figures 4-5. In EDS analysis, it is thought that the zinc and copper ratios are higher than the other points and a second phase is formed in the microstructure. During aging in the microstructure, GP-I and GP-II zones are formed and the metastable  $\eta'$  phase occurs as aging progresses. With the re-dissolution of the  $\eta'$  phase, both new ones are formed and the  $\eta'$  phase continues to grow and turns into the stable  $\eta$  phase (Hansen et al., 2004; Güleriyüz & Kaçar, 2011; Özer & Karaaslan, 2017).

Despite the microstructural properties of the AA7075 alloy, the  $\eta'$ -phase ( $MgZn_2$ ) precipitates, which are expected to form in the structure by aging heat treatment, are not visible due to their nano-size. It is thought that microstructural examinations should be made with a transmission electron microscope (TEM) to visualize the second phase precipitates formed in the structure by the aging process. In a previous study (Kalyon & Özyürek, 2017), it was reported that  $MgZn_2$  phase was formed in the structure as a result of aging heat treatment (Şimşek et al., 2018; Altuntaş, 2020; Karaaslan et al., 2007).

The strength increases resulting from aging heat treatment are caused by sediments in the matrix of aluminum. These sediments have caused an increase in the pressure and set values to prevent dislocation movements caused by deformation during experiments. It is also understood from previous studies that when the temperature value is increased at a point, the particles that occur in the precipitous are increased more rapidly, growing and reducing the ability to prevent dislocation movements as a result of growth (Geçkinli, 2002; Hansen et al., 2004; Chen et al., 2009; Baydoğan et al., 2010; Durmuş et al., 2011; Özyürek et al., 2012; Yilmaz et al., 2012).



**Figure 4.** SEM - EDS results of the artificially aged sample at 100 °C for 42 hours

#### 4. Conclusions

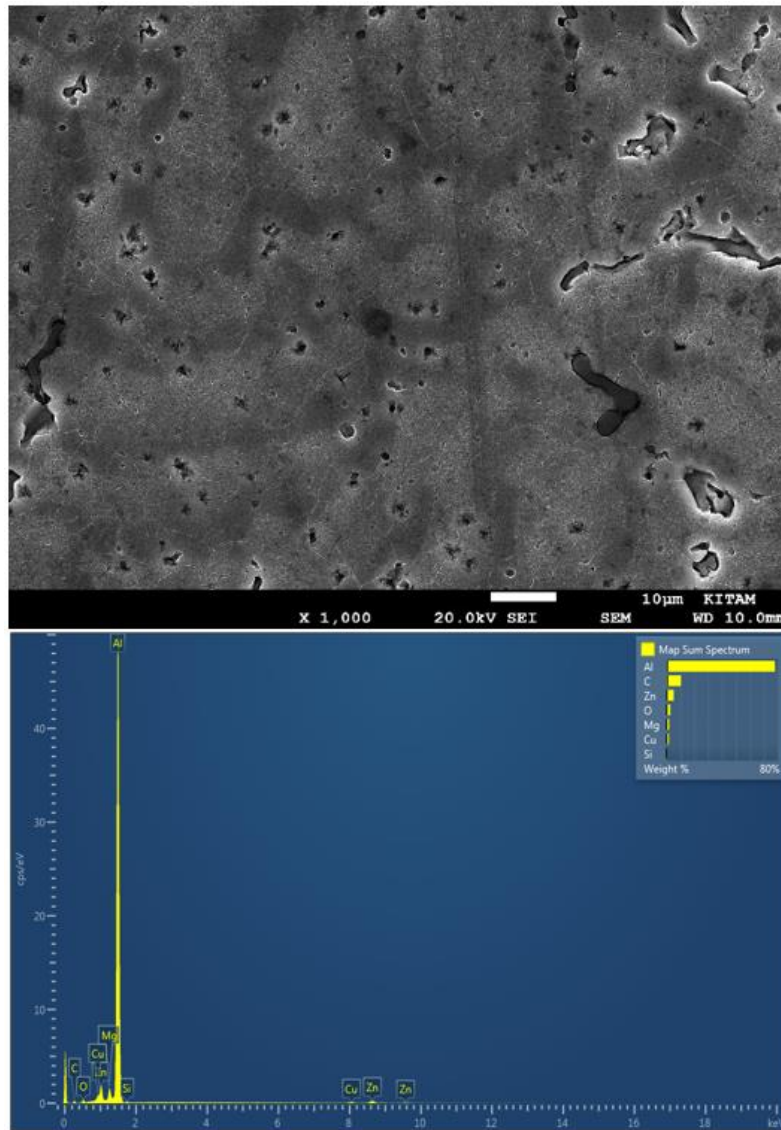
In this study, solution treatment, quenching, and then artificial aging heat treatments at different temperatures and times were applied to 7075 aluminum alloys in the T6 state. In the study, the effects of selected heat treatment parameters on the microstructure and mechanical properties of AA7075 alloy were investigated.

Results from experimental studies:

- Solution aging and artificial aging apply to 7075 aluminum alloys, as a precipitation-controlled phenomenon, and can also be applied to other alloys of the 7000 series. It was determined that the compressive strength values of the samples, which were taken into the solution at 485 °C for 2 hours, cooled rapidly in room temperature water and, heat-treated at 100 °C, were higher than the reference sample.

- When the compressive strength values are examined, it is seen that the solution treatment and artificial aging process affect the compressive strength values. In the case of excessive aging, it is observed that the compressive strength of the samples begins to decrease, and this situation increases with the increase in temperature and time.





**Figure 5.** SEM - EDS results of the artificially aged sample at 200 °C for 90 hours

- When the hardness values of the aged samples are taken into account and evaluated with different aging times, the highest hardness values are found in the samples artificially aged for 42 hours.
- When the hardness values of the aged samples are taken into consideration and evaluated at different temperatures, the highest hardness values are found in the samples artificially aged at 100 °C.
- When the hardness values of the artificially aged samples are taken into consideration and evaluated, it has been observed that the aging time has increased along with the excessive aging and a decrease in the hardness values due to this.

### Acknowledgement

This study has been supported by Gümüşhane University, Scientific Research Projects Coordination Department. Project Number: 18.F5111.03.01. We thank the editors and referees for their contributions during the review and evaluation phase of the article.

### Author contribution

The authors contributed equally to the research.



## Declaration of ethical code

The authors of this article, declares that the material and the methods used in this study do not require ethical committee approval and/or special legal permission.

## Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Ak, M. (2012). *AA206 alüminyum döküm alaşımında empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Altuntaş, G. (2020). *Al 7075 alaşımına RRA ısıtma işlemi ve ön deformasyon etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Al-Saadi, H. I. A. & Tunay, R. F. (2017). Suni yaşlandırma işleminin alüminyum alaşımının sertliği üzerine etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 525-532.
- Aydın, B. (2002). *AA2014 Alaşımında yaşlandırma ısıtma işleminin işlenebilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Baydoğan, M., Çimenoglu, H., & Kayali, E. S. (2004). RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi. *İtühendegisi/d*, 3(6), 108-116.
- Budak, S. (2016). *Alüminyum silisyum alaşımı bir yatak malzemesinin aşınma performansına kolemanit ilavesinin etkisinin incelenmesi/Investigation of effect of colemanite addition on the wear performance of an aluminum silicon alloy journal bearing material* [Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Chen, J., Zhen, L., Yang, S., Shao, W., & Dai, S. (2009). Investigation of precipitation behavior and related hardening in AA 7055 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 500(1-2), 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.09.065>
- Cina, B.M., (1974). *Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminum alloys to stress corrosion cracking*, U.S. Patent, No: 3,856,584. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Demirel, M. Y., & Karaağaç, İ. (2020). 7075-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine tavlama işleminin etkisinin deneysel olarak araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 23(2), 283-289. <https://doi.org/10.2339/politeknik.534322>
- Durmuş, H., Uzun, R. O., & Şahin, S. (2011). Retrogresyon işleminin 7075 alüminyum alaşımının aşınma davranışına etkisi. *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (pp. 16-18), Elazığ.
- El-Amoush, A. S. (2011). Intergranular corrosion behavior of the 7075-T6 aluminum alloy under different annealing conditions. *Materials Chemistry and Physics*, 126(3), 607-613. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.01.010>
- Geçkinli, E. (2002). Alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemi, 2. *Isıtma İşlem Sempozyumu*, 07-08 Şubat, İstanbul.
- Güleryüz, K., & Kaçar, R. (2011). Deformasyon yaşlanmasının AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (Vol. 147, p. 152), Elazığ.
- Gültekin, K., & Korkmaz, Y. (2021). AA2024-T3 alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı yüzey hazırlama ve pürüzlülük işlemlerinin yapıştırma bağlantılarına etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 1269-1281. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.895318>
- Hansen, V., Karlsen, O. B., Langsrud, Y., & Gjønnes, J. (2004). Precipitates, zones and transitions during aging of Al-Zn-Mg-Zr 7000 series alloy. *Materials science and technology*, 20(2), 185-193. <https://doi.org/10.1179/026708304225010424>

- Kalyon, A., & Özyürek, D. (2017). Investigation of the effect of different heat treatments on wear behavior of AA7075 alloy. *Acta Physica Polonica A*, 131(1), 150-152.
- Karaaslan, A., Kaya, I., & Atapek, H. (2007). Effect of aging temperature and of retrogression treatment time on the microstructure and mechanical properties of alloy AA 7075. *Metal Science and Heat Treatment*, 49(9), 443-447.
- Kibar, E. (2010). 7075 alüminyum alaşımlarına uygulanan RRA ısıt işlemlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Li, R., Liu, T., Su, R., & Qu, Y. (2018). Microstructure and mechanical properties of spray-formed 7075 alloy during retrogression. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(9), 4437-4443. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3606-1>
- Naeem, H. T., & Mohammed, K. S. (2013). Retrogression and re-aging of aluminum alloys (AA 7075) containing nickel. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 8(4).
- Özer, G., & Karaaslan, A. (2017). Properties of AA7075 aluminum alloy in aging and retrogression and reaging process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(11), 2357-2362. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60261-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60261-9)
- Özyürek, D., Yılmaz, R., & Kibar, E. (2012). RRA işleminde yeniden çözeltiye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının çekme dayanımına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 193-203.
- Rokni, M. R., Widener, C. A., Champagne, V. K., Crawford, G. A., & Nutt, S. R. (2017). The effects of heat treatment on 7075 Al cold spray deposits. *Surface and Coatings Technology*, 310, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.10.064>
- Şenel, M. C. (2020). Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen saf Al ve Al-B4C, Al-Al2O3 kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 783-795. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.689359>
- Şenel, M. C., & Gürbüz, M. (2020). Mikron altı boyutlu alümina katkısının ve soğuk deformasyon işleminin üretilen alüminyum kompozit yapının mekanik özellikleri ve mikroyapısına etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 76-85. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.528780>
- Şimşek, İ., Yıldırım, M., Özyürek, D., & Tunçay, T. (2018). AA7075 alaşımının T6 ısıt işleminde yaşlandırma süresinin aşınma davranışı üzerine etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(1), 42-49.
- Xiao, Y. P., Pan, Q. L., Li, W. B., Liu, X. Y., & He, Y. B. (2011). Influence of retrogression and re-aging treatment on corrosion behaviour of an Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials & Design*, 32(4), 2149-2156. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.036>
- Yılmaz, R., Özyürek, D., & Kibar, E. (2012). Yeniden çözeltiye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının sertlik ve aşınma davranışlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 429-438.

## Assessment of photovoltaic module temperature estimation for four years with four different software

*Dört yıllık fotovoltaik modül sıcaklık tahmininin dört farklı yazılımla değerlendirilmesi*

Doga TOLGAY<sup>\*1,2,3</sup> , Muhammet Samet YAKUT<sup>2,3</sup> , Talat OZDEN<sup>3,4</sup> , Bulent G. AKINOGLU<sup>1,3,5</sup> 

<sup>1</sup>Middle East Technical University (METU), Faculty of Arts and Science, Department of Physics, 06800, Ankara

<sup>2</sup>Middle East Technical University (METU), Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 06800, Ankara

<sup>3</sup>The Center for Solar Energy Research and Applications (ODTU-GUNAM), Middle East Technical University (METU), 06800, Ankara

<sup>4</sup>Gumushane University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, 29100, Gumushane

<sup>5</sup>Middle East Technical University (METU), Earth System Science Program, 06800, Ankara

• Received: 01.04.2022

• Accepted: 21.10.2022

### Abstract

The software used today, on the estimation of module temperature of photovoltaic systems, seem very important to be analyzed. These estimates are crucial in future techno-economic and environmentally friendly analyses of the systems to reach better achievements for future generations. This is very important to reach lifetime analyses of long-term feasibility to find out payback time and the leveled cost of energy. The present work is based on this issue, to test the module temperature estimation formulas used by four commonly used software models, and to determine the most suitable software for temperature analyses of five different photovoltaic modules in Middle Anatolia. Outdoor truthful long-term testing is the main realistic approach to reach fundamental contemplations. After an introductory basic knowledge, the main materials and methods are discussed to enlighten the analysis. The main methodology is given and further prospects are enlightened. Four well-known software are analyzed using four years of outdoor testing of five different photovoltaic modules. Measured ambient temperature and solar irradiance are used in the categorization of the software estimation performances. PV\*SOL appears to be superior at low irradiance and ambient temperature, whereas Helioscope appears to be superior overall.

**Keywords:** Photovoltaic module temperature, PV correlations, Solar cell, Solar energy, Temperature estimation

### Öz

Günümüzde kullanılan fotovoltaik sistemlerde modül sıcaklığını tahminleme yazılımlarının analiz edilmesi çok önemlidir. Bu tahminler ileriye yönelik tekno-ekonomik ve çevre duyarlı analizler için gelecek nesiller için daha kazanımlı olacaktır. Mevcut çalışma, bu konuyla ilgili olarak, yaygın kullanılan dört yazılım modeli tarafından kullanılan modül sıcaklık tahmin formüllerini test etmek ve Orta Anadolu'da beş farklı fotovoltaik modülün sıcaklık analizleri için en uygun yazılımı belirlemektir. Açık alanda yapılan tutarlı ve uzun dönemli testler, temel sonuçlara ulaşmak için en gerçekçi yaklaşımdır. Giriş bölümünde temel bilgilerin ardından, analize ışık tutacak temel materyal ve yöntemler tartışılmaktadır. Ana metodoloji verilmekte ve sonuçlar sunulmaktadır. Dört iyi bilinen yazılım, beş farklı fotovoltaik modülün dört yıllık açık alan testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Yazılım tahmin performanslarının sınıflandırılmasında ortam sıcaklığı ve güneş ışınımı kullanılmıştır. PV\*SOL, düşük ışınım ve ortam sıcaklığında üstün görünürken, Helioscope genel olarak daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fotovoltaik modül sıcaklığı, PV korelasyonları, Güneş hücresi, Güneş enerjisi, Sıcaklık tahmini

\* Doga TOLGAY; doga.tolgay@mail.utoronto.ca

## 1. Introduction

The problems with the Earth's environment are mainly due to the use of conventional energy sources. The increasing demand for energy while co-saving the Planet drives the motion for the adaptation of clean and sustainable energy sources. Renewable energy sources such as hydro, wind, and solar seem the world's new energy supply. As of 2010, the total installed renewable energy capacity was 1.2 TW; in 2019, it was 2.5 TW, which is doubled in 9 years at an increasing pace. In 2019 the installed Solar photovoltaics was around 580 GW, whereas this number was simply 40 GW in 2010 ([International Renewable Energy Agency, 2020](#)).

The photovoltaic installation capacity will continue exponentially to increase all over the world. Therefore, comprehensive testing of the PV performance in outdoor conditions is crucial to get the best efficiency and yield. R/D on PV and the operating temperature of PV modules seem very important as it affects both the panels' efficiency and their degradation rates. This issue of degradation rates is still heavily studied, especially in new next-generation solar cell systems ([Ozden, Akinoglu, et al., 2018](#)). It should also be noted that the operation of PV modules under outdoor conditions in diverse climates results in different performance outcomes ([Ozden, Carr, et al., 2020](#)).

The efficiency of the modules varies seasonally due to variation of a plane-of array (POA) irradiance, ambient temperature, and wind speed. It was demonstrated that the performances of thin-film modules vary seasonally depending on the light and temperature exposure ([Nikolaeva-Dimitrova et al., 2010](#)). ([J. Ye et al., 2012](#)) observed the seasonal efficiency for a-Si single-junction, Monocrystalline Silicon and Micromorph cells vary. Both modules attained their highest efficiencies during the Monsoon season when module temperatures attain their minimum values due to seasonal variations and heavy rainfall. They observed that relative changes in monthly outdoor efficiency within the year were around 3.1%, 2.7%, and 1.6% for mono-Si, micromorph, and a-Si, respectively. Moreover, dust accumulation in summer makes the efficiency more prone to diminish in summer compared with winter. ([Jha & Tripathy, 2019](#)) indicated that the efficiency reduction in summer is 7.5% whereas, in winter, the efficiency reduction is 4.9% and also analyzed the thermal behavior of the modules using a 3D computational model based on the finite element method.

Most of the energy incident from the Sun is either not absorbed effectively or not converted to produce photocurrent. Non-absorbed photons and electrons excited to high levels in the conduction band produce heat in their relaxation. The heat generation within the cell reduces the efficiency of the modules by creating hot carriers. It is observed that 72% of incident energy was converted into heat, causing an increase adversely in the cell temperature rather than creating a usable form of energy ([Shen et al., 2020](#)). It is well known that the results of the power output and module temperature are inversely related ([Dubey et al., 2013](#)). Furthermore, ([Radziemska, 2003](#)) observed that the output power change is  $-0.65 \text{ \%}/\text{K}$  which affects the change in efficiency as  $-0.08 \text{ \%}/\text{K}$  according to the experiments conducted on the crystalline silicon solar cell. ([Rahman et al., 2015](#)) observed that  $-0.06 \text{ \%}/\text{°C}$  change in efficiency for the monocrystalline PV module.

([Aly et al., 2019](#)) demonstrated the variation of the cell temperature concerning the ambient temperature, POA irradiance, and wind speed. The variation of operating cell temperature seems linear with respect to the ambient temperature up to POA irradiance of  $800 \text{ W}/\text{m}^2$ . On the other hand, the change in cell temperature is outlined to be hyperbolic with respect to wind speed variations. However, not only the wind speed but also the wind direction and tilt angle are the other two critical parameters for the module temperature analysis ([Tuncel et al., 2020](#)). ([Jaszczur et al., 2019](#)) demonstrated the importance of the tilt angle by analyzing the temperature distribution within the cell for several inclinations. It was observed that polycrystalline-silicon PV modules attained their highest temperature when it was parallel to the surface, whereas when the angle is  $15^\circ$  the module temperature was lower, because of the unavailability of cooling due to wind when inclination was zero.

The correlation between the module temperature and POA irradiance is also linked to the technology of the module ([Atse et al., 2017](#)). Different modules react diversely in outdoor conditions. ([Z. Ye et al., 2013](#)) analyzed the module temperature of sixteen different PV modules, manufactured using four different technologies, and observed that although the value of module temperature was varying, the trends were relatively similar. They stated that the difference between the module and the ambient temperature starts to increase as the ambient temperature increases, having the poly-Si concrete solar cell had the least

temperature difference between ambient and module temperatures, whereas the highest difference was attained at the  $\mu$ -Si module.

In our previous works (Ozden, Tolgay, et al., 2018, 2020) it is observed that the module temperature could reach above 60 °C in a moderate climate in the middle of Anatolia, Ankara. In our previous study (Ozden, Tolgay, et al., 2020), all analyses were conducted on ten different module temperature estimations schemes without specifically considering the effect of ambient temperature, solar irradiance, and their seasonal variations. It is concluded that both intrinsic and extrinsic parameters should be considered to estimate the module temperature accurately. The ambient temperature, wind speed, and irradiance are the most used parameters with form-based heat and wind coefficients. The difference between our previous study and this study is previously ten correlation equations are used and two of them are found to be perform better than others, whereas in this study the most commonly used four software is analyzed by considering different weather conditions separately. The two best equations are proposed by (King et al., 2004) and (Skoplaki et al., 2008).

To reach accurately the estimation schemes which is very important for long-term techno-economic analysis (Karaveli et al., 2018; Ozden, et al., 2020)) to find out truthfully the efficiency and yield the software in hand as: HOMER, Helioscope, PVsyst, and PV\*SOL (Folsom Labs, 2019; HOMER Software, 2019; PVsyst, 2019; Valentin Software, 2019) are detailly studied. The present work comprehensively achieves to be as an original stand work in PV temperatures with the temperature estimation formulas developed by several authors (Duffie et al., 1985; Faiman, 2008; King et al., 2004; Skoplaki et al., 2008).

This study, starting from the methodology, compares the module temperatures obtained in outdoor conditions using the four most utilized software as stated above. We obtained essential data on meteorological and systems properties measurements for four years. The data and the methodology we integrated are gathered in the cold and semi-arid climate of Ankara, Turkey. We believe that the works in the present research and the methodology will firmly clarify the outdoor testing of the behavior of the module temperatures to inform the investors and researchers by giving clear findings. This study's novelty is that the 16 different weather categories are studied to determine the most suitable temperature estimation for four different software.

The importance of module temperature estimation lies in the fact that software uses these estimations to predict the yield and efficiency of modules. Accurately predicted module temperature will present more authentic estimations for the performance of photovoltaic modules. Additionally, this paper aims to determine the better-correlated procedure for each weather category and temperature estimation formula for five-module types in Ankara, which leads to the construction of a feasible and trustworthy techno-economic analysis. In this study, the ambient temperature and incoming solar irradiance values are also evaluated to analyze and discuss the module temperature estimation schemes. Considering that this study is done in the Middle Anatolia, our results are expected to be valid for the "Csb" Koppen climate classified regions.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Description sites and modules

The tested PV modules are located on the rooftop of the Department of Physics, METU in Ankara, which is in the Central Anatolia Region of Turkey. The exact location of latitude and longitude of our outdoor test platform are 39.9° N and 32.8° E. The altitude of the platform is 929 m, and modules are mounted with a tilt angle of 32° tilt and 0° azimuth angle so facing directly South. Figure 1 is the picture of the outdoor installations of the tested modules. The modules were installed in April 2012, and the tested modules have been operating since. However, this research will consider the data taken out between January 2017 and December 2020.

We investigated five different types of PV modules in this study which are Copper Indium Selenide (CIS), Monocrystalline Silicon (Mono-Si), Polycrystalline Silicon (Poly-Si), amorphous silicon ( $\mu$ -Si/a-Si), and Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT) structures (Figure 1). Technical details of the PV modules investigated are presented in Table 1. The values are taken from the datasheets given by the companies producing the modules. Mono-Si, Poly-Si, and HIT modules have mono- and poly-crystalline silicon



structures, whereas the other two are composed of thin-film PV of different compositions. All modules are cleaned once a week.



**Figure 1.** Configuration of ODTÜ-GÜNAM outdoor test facility (a) and tested modules – 1: CIS, 2: Poly-Si, 3: Mono-Si, 4:  $\mu\text{c-Si/a-Si}$ , 5: HIT (b)

**Table 1.** Module nameplate values

Module Types	$P_{MAX}$ [W]	$V_{OC}$ [V]	$I_{SC}$ [A]	$V_{MPP}$ [V]	$I_{MPP}$ [A]	$\eta$ [%]	$\beta_{STC}$ [%/°C]	$T_{m,NOCT}$ [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
<b>CIS</b>	130.0	59.50	3.28	44.90	2.90	12.3	-0.39	40	1.05
<b>Mono-Si</b>	160.0	43.70	5.06	35.30	4.58	12.5	--**	--**	1.28
<b>Poly-Si</b>	130.0	21.70	8.18	17.80	7.30	12.7	-0.45*	46	1.02
<b><math>\mu\text{c-Si / a-Si}</math></b>	128.0	59.80	3.45	45.40	2.82	9.1	-0.24	44	1.40
<b>HIT</b>	230.0	42.30	7.22	34.30	6.71	16.5	-0.30	45	1.39

\* The parameter unit is %/K. \*\* There is no datasheet for this module. Therefore, some results are missing.

The climate of Middle Anatolia can be defined within the Köppen – Geiger climate classification system (Peel et al., 2007; Rubel et al., 2017) as a semi-arid desert. The average ambient temperature is given for four years as 14.8 °C. The highest and lowest daily temperatures are recorded as 39.8 °C and -6.1 °C on 3 July 2017 and 3 January 2017, respectively. Further information about the measured meteorological climatic parameters and highest, lowest, and average values of solar irradiance values are tabulated in Table 2. These measurements are taken using a weather station installed on the ODTÜ-GÜNAM outdoor test facility.

The module and ambient temperature, solar irradiation, and electrical performance were recorded via a PV analyzer. The average values of the data were recorded every ten minutes. T-type thermocouples were used in the measurement of ambient temperature, and solar irradiation was measured by a high precision secondary standard Kipp & Zonnen pyranometer. The thermocouples were fixed to the middle of the backside of the PV modules. As an exception, the temperature sensor of the  $\mu\text{c-Si/a-Si}$  module was set close to its junction box, which is in the middle of the top of the backside (Ozden, Tolgay, et al., 2018).

Ambient temperature, relative humidity, precipitation, solar irradiance, and both speed and direction of the wind were measured by using the meteorological station. The station and PV analyzer recorded and stored the averaged data every ten minutes. The pyranometer and meteorological station were located at the top of the roof, and incoming solar radiation and wind speed were not obstructed by any other nearby elements.

**Table 2.** Meteorological statistics

	2017	2018	2019	2020
<b>T<sub>amb,average</sub> [°C]</b>	14.41	15.49	14.82	15.29
<b>T<sub>amb,highest</sub> [°C]</b>	39.85 (3 July)	36.63 (17 August)	38 (14 August)	40.67 (3 September)
<b>T<sub>amb,lowest</sub> [°C]</b>	-6.11 (3 January)	-5.22 (27 December)	-5.04 (9 January)	-1.59 (17 January)
<b>Precipitation Average [mm]</b>	0.061	0.118	0.079	0.067
<b>Precipitation Highest [mm]</b>	155.6	202.2	288	245.2
<b>Precipitation Lowest [mm]</b>	0	0	0	0
<b>I<sub>t,average</sub> [W/m<sup>2</sup>]</b>	211.39	210.84	200.24	225.9
<b>I<sub>t,highest</sub> [W/m<sup>2</sup>]</b>	1381.1 (7 May)	1404.5 (19 January)	1350.4 (4 July)	1273.6 (6 April)
<b>I<sub>t,lowest</sub> [W/m<sup>2</sup>]</b>	-7.73 (3 August)	-9.6 (10 June)	-6.93 (15 August)	-9.93 (8 October)
<b>V<sub>wind,average</sub> [m/s]</b>	0.96	0.89	0.85	0.84
<b>V<sub>wind,highest</sub> [m/s]</b>	12.1	13	11.6	13
<b>V<sub>wind,lowest</sub> [m/s]</b>	0	0	0	0

### 2.3. Methods

**Table 3.** Temperature models used by four different software

Equation #	Correlation	Software
1	$T_c = \frac{T_a + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left( \frac{G_T}{G_{NOCT}} \right) \left[ 1 - \frac{\eta_{STC}(1 - \alpha_p T_{c,STC})}{\tau \alpha} \right]}{1 + (T_{c,NOCT} - T_a) \left( \frac{G_T}{G_{NOCT}} \right) \left( \frac{\alpha_p \eta_{STC}}{\tau \alpha} \right)}$	HOMER
2	$T_c = G_T (e^{a+b*WS}) + T_a$	Helioscope
3	$T_c = T_a + G_T * \frac{\alpha(1 - \eta_{STC})}{U_0 + U_1 * WS}$	PVsyst
4	$T_c = T_a + k * \frac{G_T}{G_{NOCT}}$	PV*SOL

Three of the given temperature models include many parameters. For explanations of these parameters, one can refer to the Nomenclature, whereas some of the parameters are taken from different references as explained below. Equations (1) and (3),  $\eta_{STC}$  refers to the efficiency of a module at standard test conditions, and  $\alpha_p$  is the temperature coefficient. Both  $\eta_{STC}$  and  $\alpha_p$  are taken from the datasheets of the PV modules. In addition to this, in equation (1),  $\tau \alpha$  is taken as 0.9 (Eckstein, 1990; Sandnes & Rekstad, 2002).  $a$  and  $b$  in equation (2) are empirically determined parameters, and they depend on the module type. In other words,  $a$  and  $b$  are taken as -3.97 and -0.0594 for glass/cell/glass & open rack module structure and, -3.56 and -0.075 for other modules which are composed of glass/cell/polymer sheet & open rack (King et al., 2004). The wind speed in equation (2) is fixed at 10 m in height. To convert our wind speed measurements to 10 m reference height, the following law is used (Twidell & Weir, 2015):

$$\frac{WS}{WS_{ref}} = \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^n \quad (5)$$

in which  $n$  refers to friction coefficient which depends on the topography of the test site. According to Bañuelos-Ruedas et al. it is taken as 0.3 because the topography of our test site can be described as a small town with some trees and shrubs (Bañuelos-Ruedas et al., 2010).  $z_{ref}$ ,  $z$ , and  $WS_{ref}$  are reference heights measured from the ground of the outdoor test platform, 10 m, and wind speed at the outdoor test platform.



$U_0$  and  $U_1$  in equation (3) are the thermal coefficients describing the effect of the solar radiation on PV cell temperature, and the cooling effect of the wind, respectively (Koehl et al., 2011). They are taken as 23.09 and 3.11 for the CIS module while for other modules they are taken as 25 and 6.84 (Faiman, 2008; Koehl et al., 2011).

According to PV\*SOL documentation (Valentin Software, 2019),  $k$  strongly depends on the installation type of PV modules. Since PV modules in the test site can be considered as free-standing installation,  $k$  is taken as 20 for all PV modules.

The module temperature calculation for the Mono-Si module using the Homer temperature estimation formula requires knowledge of the datasheet values of this module. The unavailability of this information resulted in the missing values in Table 5.

In the present work, the effects of ambient temperature and solar irradiance are considered in detail. Since this study aims to obtain how close the temperature models estimate the cell temperature under different conditions, 16 different categories are generated according to different ambient temperature and solar irradiation intervals. The details about the contents of these categories are supplied in Table 4.

**Table 4.** Description of categories

	$0 \leq I_t < 300$	$300 \leq I_t < 700$	$700 \leq I_t < 900$	$900 \leq I_t$
$T_{amb} < 0$	C1	C5	C9	C13
$0 \leq T_{amb} < 10$	C2	C6	C10	C14
$10 \leq T_{amb} < 25$	C3	C7	C11	C15
$25 \leq T_{amb}$	C4	C8	C12	C16

The main thermal parameter is the difference between the estimated and measured module temperature

$$\Delta T_i = T_{estimated,i} - T_{measured,i} \quad (6)$$

where  $i$  is just an indexing number,  $T_{estimated,i}$  and  $T_{measured,i}$  are the estimated module temperature by the methodology and measured module temperature in our outdoor test facility, respectively.

Error calculation is needed to understand how good temperature models are estimating the module temperature. Root mean squared error (RMSE) and mean bias error (MBE) methods are used to obtain error values. These two statistical errors are the main parameters to determine the accuracy of estimation schemes of the methodologies (Akinoglu, 1991). Although both RMSE and MBE are concerned with the deviations between estimated and measured module temperature values, their focus is different. RMSE focuses on the wild deviations between estimated and measured values, and more sensitive to high deviations than the MBE, whereas MBE measures over or under-estimations. These two error calculation methods can be expressed as follows:

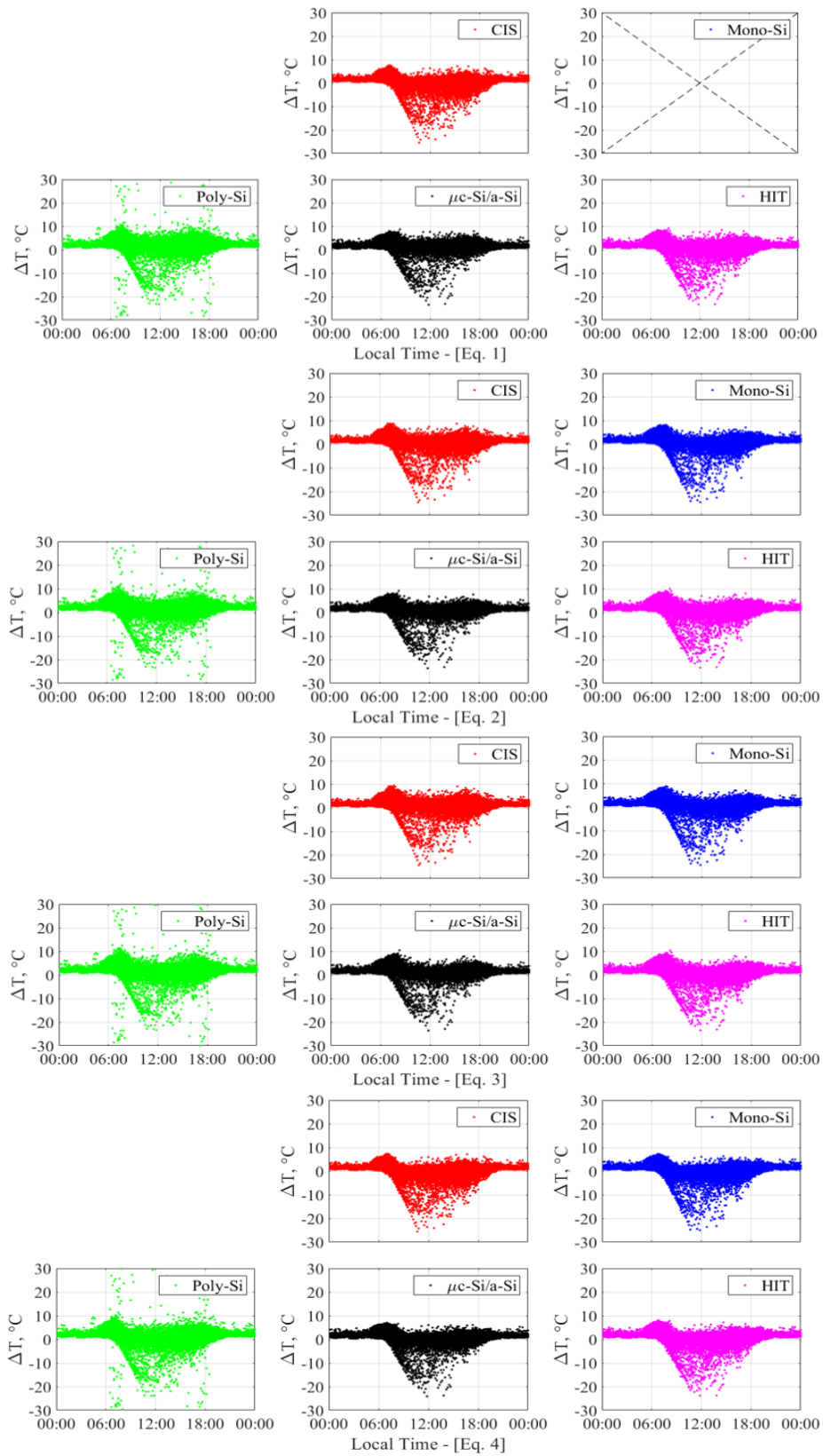
$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_i \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta T_i)^2} \quad (8)$$

where  $N$  denotes the total number of data and,  $i$  is just an indexing number.

### 3. Results and discussion

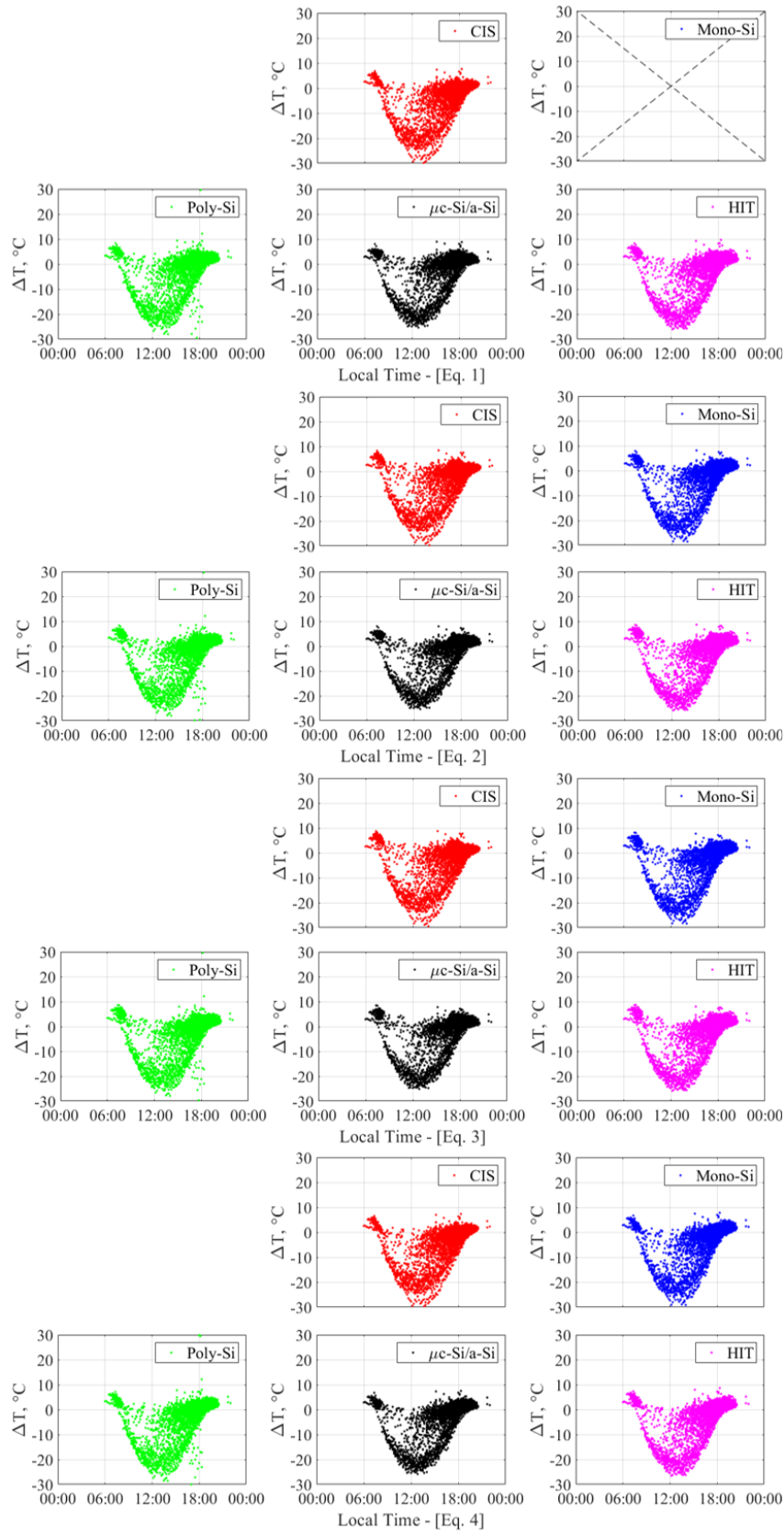
Estimation of the above-mentioned parameters is only possible with the correct assessment of the module temperatures. Implicit and explicit parameters are being used by temperature estimation formulas. The former involves the heat transfer coefficients, thermal loss coefficients, thermal and physical properties, and maximum efficiency whereas, the latter contains the incoming irradiance and ambient temperature.



**Figure 2.** Results of category 3 [Irradiation:  $0 \leq I_t < 300 \text{ W/m}^2$ , Temperature:  $10 \leq T_{\text{amb}} < 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ] for Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3 and Eq. 4

Deviations are measured by considering equation (6), if the  $\Delta T$  is positive, the software overestimates the module temperature, whereas if  $\Delta T$  is negative, the module temperature is underestimated. The deviations are plotted and categorized according to the categories listed in Table 4. For each category, there exist four

graph groups that correspond to the specific equation. By considering all results, the deviations between the estimated and measured temperature can reach up to  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figures 2 and 3).



**Figure 3.** Results of category 4 [Irradiation:  $0 \leq I_t < 300\text{ W/m}^2$ , Temperature:  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{amb}$ ] for Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3 and Eq. 4

Results demonstrate that for different meteorological conditions, the reaction of the modules considerably alters. The software that made the best estimations by considering RMSE and MBE for different categories was listed in Table 5 a, b, c, and d. Table 5 is categorized according to Table 4. Every category has the names of the five methodologies of module temperature estimation in the first column. The first four blocks of Table 5 part a are for the irradiance range of 0 - 300 W/m<sup>2</sup> and the latter blocks of b, c, and d are for the irradiance value ranges of 300 - 700 W/m<sup>2</sup>, 700-900 W/m<sup>2</sup>, and larger than 900 W/m<sup>2</sup>, respectively. As also can be observed that each block of benches is for the module temperature ranges of  $T_{amb} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb}$ . The green-colored boxes are the better estimation schemes while the reds are the weaker.

It can be determined that for the lower irradiance values of 0-300 W/m<sup>2</sup> the methodology of PV\*SOL is better up to module temperatures of 25 °C. However, larger than 25 °C, PV\*SOL is the weakest for the three types of modules and still weak for the other two. This suggests that this methodology is weaker for quite higher ranges of module temperatures which can be attributed to its development stage of the utilized measured values to construct the formalism. PVsyst has rather better values for CIS type modules, but it resembles the weakest estimations in general for this small range of irradiance values (0 - 300 W/m<sup>2</sup>). However, we should note that for this range, the better results are interestingly evenly distributed within the methodologies under discussion. The results of our analyses show that, as can be observed to some extent, the weaker and better methodologies are rather evenly distributed for higher irradiance values. Except for this determination for PV\*SOL is the unique temperature range of  $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the irradiance values larger than 900 W/m<sup>2</sup> (Table 5.d). Although this can be attributed to the extent of the evaluated data in hand, it can also be thought to be the better estimation scheme of this methodology for a rather smaller range of  $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . However, also should be stated to be under discussion is the increasing weaker estimation of PV\*SOL since it still quite better estimation schemes at lower irradiance values (see the parts b and c of Table 5).

Every model uses solar radiation flux on module plane ( $G_T$ ), Helioscope and PVsyst are considering the relation between it with module parameter and wind speed, whereas HOMER does not include wind speed as a parameter in its model. On the other hand for the PV\*SOL,  $G_T$  and installation coefficient (k) are multiplicative factors with each other. This emphasizes the direct effect of installation type on the estimated temperature. As wind speed increases the overall effect of the  $G_T$  decreases in Helioscope and PVsyst, suggesting these two parameters cannot be considered separately. Although PVsyst and Helioscope have similar estimations under high irradiances, the latter model offers a closer estimation below 700 W/m<sup>2</sup> in Table 5. At low irradiance, the best estimations are done by PV\*SOL that does not use wind speed or module parameters. This hints the utilization of the wind speed or module parameters can result in a deviation between estimation and measurement at low irradiance. Nonetheless, at high irradiance values, the module parameters and wind speed decrease the errors in estimations. The importance of the parameters depends on the module technology and requires future investigations.

An important remark that we obtained on the presented results is quite a good evaluation of the methodologies widely used by the investors and researchers. In this discussion, we also need to add that, for the higher solar irradiance larger than 300 W/m<sup>2</sup>, the tabulated results should be carefully handled for future investigations.

But a final note is that for the larger values of solar irradiance, the methodology used by Helioscope is better than a general consideration.

**Table 5.** The best/worst estimations of methods for MBE and RMSE values for various categories solar irradiance vs temperature (a, b, c and d); values of the green colored boxes are better, and reds are weaker.**(a) Irradiance: 0 – 300 W/m<sup>2</sup>**

		CIS	Mono-Si	Poly-Si	µc-Si/a-Si	HIT		
$T_{amb} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	<b>C1</b>							
	Homer	MBE	1.64	--	3.04	2.18	1.73	
		RMSE	2.38	--	3.91	2.85	3.68	
	Helioscope	MBE	2.11	1.11	2.99	2.11	1.77	
		RMSE	2.86	3.59	3.90	2.80	3.72	
	PVsyst	MBE	2.25	1.17	3.04	2.23	1.74	
		RMSE	3.03	3.64	3.97	2.99	3.74	
	PV*SOL	MBE	1.56	0.76	2.63	1.75	1.41	
		RMSE	2.32	3.54	3.61	2.39	3.57	
	$0 \leq T_{amb} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	<b>C2</b>						
		Homer	MBE	1.12	--	2.74	1.97	1.89
			RMSE	2.21	--	3.66	2.64	2.84
Helioscope		MBE	1.74	1.55	2.67	1.87	1.94	
		RMSE	2.59	2.60	3.62	2.59	2.91	
PVsyst		MBE	1.93	1.64	2.74	2.05	1.92	
		RMSE	2.77	2.70	3.72	2.80	2.94	
PV*SOL		MBE	1.00	1.07	2.18	1.39	1.45	
		RMSE	2.18	2.37	3.29	2.21	2.60	
$10 \leq T_{amb} < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		<b>C3</b>						
		Homer	MBE	0.94	--	2.52	2.02	2.06
			RMSE	2.78	--	6.60	3.07	3.26
	Helioscope	MBE	1.66	1.63	2.37	1.87	2.07	
		RMSE	3.07	3.03	6.56	2.99	3.32	
	PVsyst	MBE	1.89	1.70	2.44	2.05	2.02	
		RMSE	3.23	3.14	6.62	3.18	3.35	
	PV*SOL	MBE	0.78	1.06	1.81	1.30	1.50	
		RMSE	2.77	2.82	6.39	2.69	3.00	
	$25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb}$	<b>C4</b>						
		Homer	MBE	-2.01	--	-0.16	-0.16	-0.18
			RMSE	6.15	--	6.40	5.95	6.14
Helioscope		MBE	-1.37	-0.72	-0.50	-0.49	-0.33	
		RMSE	6.00	6.37	6.40	5.93	6.14	
PVsyst		MBE	-1.16	-0.77	-0.55	-0.42	-0.50	
		RMSE	5.97	6.38	6.41	5.95	6.15	
PV*SOL		MBE	-2.20	-1.19	-0.97	-0.96	-0.8	
		RMSE	6.21	6.41	6.43	5.94	6.14	

**(b) Irradiance: 300 – 700 W/m<sup>2</sup>**

		CIS	Mono-Si	Poly-Si	µc-Si/a-Si	HIT	
$T_{amb} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	<b>C5</b>						
	Homer	MBE	0.23	--	4.24	6.54	4.19
		RMSE	4.50	--	5.54	7.17	5.38
	Helioscope	MBE	3.00	2.00	3.07	5.28	3.72
		RMSE	5.10	3.74	4.54	5.98	4.90
	PVsyst	MBE	3.93	2.04	3.08	5.76	3.23
		RMSE	5.70	3.99	4.76	6.71	4.77
	PV*SOL	MBE	-0.41	0.05	1.12	3.32	1.77
		RMSE	4.55	3.53	3.79	4.31	3.86
	$0 \leq T_{amb} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	<b>C6</b>					
Homer		MBE	-0.97	--	3.18	4.11	2.52
		RMSE	4.20	--	4.84	5.05	4.23
Helioscope		MBE	2.42	1.31	2.59	3.48	2.68
		RMSE	4.43	3.48	4.30	4.42	4.21
PVsyst		MBE	3.51	1.69	2.95	4.37	2.47
		RMSE	5.13	3.89	4.74	5.38	4.31
PV*SOL		MBE	-1.68	-1.37	-0.08	0.79	-0.01
		RMSE	4.46	3.85	3.80	3.05	3.51

		<b>C7</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>	
		MBE	RMSE						
<b>10 ≤ T<sub>amb</sub> &lt; 25 °C</b>	Homer	MBE		-1.60	--	2.46	3.09	1.77	
		RMSE		4.04	--	9.34	4.26	3.74	
	Helioscope	MBE		1.72	0.51	1.65	2.29	1.75	
		RMSE		3.84	3.20	9.06	3.46	3.62	
	PV <sub>syst</sub>	MBE		2.79	0.76	1.87	3.05	1.40	
		RMSE		4.46	3.50	9.17	4.22	3.70	
	PV*SOL	MBE		-2.41	-2.15	-0.99	-0.37	-0.91	
		RMSE		4.46	4.10	9.12	2.96	3.5	
			<b>C8</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>
	<b>25 °C &lt; T<sub>amb</sub></b>	Homer	MBE		-1.99	--	2.18	3.10	1.76
RMSE				4.17	--	4.67	4.38	3.73	
Helioscope		MBE		1.04	0.20	0.82	1.81	1.24	
		RMSE		3.65	3.19	4.03	3.27	3.29	
PV <sub>syst</sub>		MBE		2.01	0.06	0.66	2.17	0.52	
		RMSE		4.10	3.37	4.16	3.63	3.26	
PV*SOL		MBE		-2.91	-2.16	-1.54	-0.56	-1.12	
		RMSE		4.7	4.13	4.47	3.14	3.53	

**(c) Irradiance: 700 – 900 W/m<sup>2</sup>**

		<b>C9</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>	
		MBE	RMSE						
<b>T<sub>amb</sub> &lt; 0 °C</b>	Homer	MBE		-4.40	--	2.50	8.57	2.51	
		RMSE		7.95	--	6.00	9.18	5.88	
	Helioscope	MBE		-0.07	-1.28	-0.01	5.97	1.23	
		RMSE		5.25	4.28	3.97	6.32	3.86	
	PV <sub>syst</sub>	MBE		1.36	-1.72	-0.49	6.27	-0.07	
		RMSE		5.26	4.22	3.81	6.81	3.39	
	PV*SOL	MBE		-5.58	-4.24	-2.97	3.01	-1.73	
		RMSE		8.68	7.12	6.30	4.48	5.68	
			<b>C10</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>
	<b>0 ≤ T<sub>amb</sub> &lt; 10 °C</b>	Homer	MBE		-2.61	--	3.04	5.63	2.20
RMSE				6.10	--	5.81	7.08	4.88	
Helioscope		MBE		2.58	0.20	1.48	4.05	1.91	
		RMSE		5.45	3.77	4.35	5.26	3.93	
PV <sub>syst</sub>		MBE		4.25	0.43	1.67	5.09	1.21	
		RMSE		6.42	4.1	4.71	6.33	3.89	
PV*SOL		MBE		-3.86	-3.81	-2.52	0.04	-2.10	
		RMSE		6.73	6.01	5.52	4.23	4.81	
		<b>C11</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>	
<b>10 ≤ T<sub>amb</sub> &lt; 25 °C</b>		Homer	MBE		-3.18	--	2.27	4.33	1.63
	RMSE			5.77	--	6.39	5.80	4.40	
	Helioscope	MBE		2.03	-0.47	0.68	2.84	1.37	
		RMSE		4.67	3.78	5.47	4.05	3.73	
	PV <sub>syst</sub>	MBE		3.71	-0.23	0.87	3.9	0.66	
		RMSE		5.62	4.07	5.68	5.07	3.84	
	PV*SOL	MBE		-4.56	-4.64	-3.46	-1.33	-2.80	
		RMSE		6.63	6.41	6.91	4.06	4.96	
			<b>C12</b>		<b>CIS</b>	<b>Mono-Si</b>	<b>Poly-Si</b>	<b>μc-Si/a-Si</b>	<b>HIT</b>
	<b>25 °C &lt; T<sub>amb</sub></b>	Homer	MBE		-2.61	--	2.58	4.40	2.03
RMSE				5.09	--	6.30	5.60	4.15	
Helioscope		MBE		2.15	-0.37	0.41	2.40	1.22	
		RMSE		4.5	3.40	5.43	3.61	3.27	
PV <sub>syst</sub>		MBE		3.69	-0.60	0.14	2.97	0.08	
		RMSE		5.44	3.70	5.61	4.21	3.28	
PV*SOL		MBE		-4.13	-4.16	-3.38	-1.41	-2.57	
		RMSE		6.02	5.73	6.67	3.73	4.45	

**(d) Irradiance: > 900 W/m<sup>2</sup>**

		CIS	Mono-Si	Poly-Si	μc-Si/a-Si	HIT	
0 ≤ T <sub>amb</sub> < 10T <sub>amb</sub> < 0 °C	<b>C13</b>						
	Homer	MBE	-1.46	--	6.72	13.15	7.20
		RMSE	5.58	--	7.56	13.29	7.78
	Helioscope	MBE	0.96	-0.86	0.45	6.81	2.48
		RMSE	4.11	2.41	2.32	7.60	3.20
	PVsyst	MBE	2.12	-2.92	-1.65	5.47	-0.43
		RMSE	4.49	3.74	2.87	6.63	2.20
	PV*SOL	MBE	-2.95	-1.37	-0.06	6.30	1.97
		RMSE	6.13	3.7	3.47	6.63	3.54
	<b>C14</b>						
	Homer	MBE	1.79	--	8.39	11.41	6.78
		RMSE	8.90	--	12.22	13.9	10.70
Helioscope	MBE	6.88	3.15	4.81	7.84	4.82	
	RMSE	11.37	8.77	9.64	11.02	9.19	
PVsyst	MBE	8.67	2.57	4.18	8.18	3.16	
	RMSE	12.72	8.84	9.63	11.70	8.55	
PV*SOL	MBE	0.16	-0.36	1.29	4.32	1.30	
	RMSE	8.59	8.13	8.39	8.52	7.89	
10 ≤ T <sub>amb</sub> < 25 °C	<b>C15</b>						
	Homer	MBE	-2.71	--	3.79	6.35	2.28
		RMSE	6.46	--	7.64	7.71	5.48
	Helioscope	MBE	3.00	-0.54	0.91	3.64	1.08
		RMSE	6.15	4.83	6.25	4.94	4.56
	PVsyst	MBE	4.87	-0.84	0.54	4.29	-0.35
		RMSE	7.32	5.35	6.6	5.79	4.89
	PV*SOL	MBE	-4.49	-4.93	-3.47	-0.76	-3.31
		RMSE	7.39	7.27	7.46	4.38	5.98
	<b>C16</b>						
	Homer	MBE	-2.87	--	2.97	5.42	2.38
		RMSE	5.77	--	6.80	6.57	4.73
Helioscope	MBE	2.74	-0.65	0.02	2.74	1.14	
	RMSE	5.28	3.78	5.67	3.89	3.54	
PVsyst	MBE	4.55	-1.13	-0.51	3.22	-0.45	
	RMSE	6.45	4.19	5.88	4.46	3.64	
PV*SOL	MBE	-4.78	-5.10	-4.43	-1.73	-3.31	
	RMSE	6.92	6.68	7.53	4.09	5.25	
25 °C < T <sub>amb</sub>	<b>C13</b>						
	Homer	MBE	-1.46	--	6.72	13.15	7.20
		RMSE	5.58	--	7.56	13.29	7.78
	Helioscope	MBE	0.96	-0.86	0.45	6.81	2.48
		RMSE	4.11	2.41	2.32	7.60	3.20
	PVsyst	MBE	2.12	-2.92	-1.65	5.47	-0.43
		RMSE	4.49	3.74	2.87	6.63	2.20
	PV*SOL	MBE	-2.95	-1.37	-0.06	6.30	1.97
		RMSE	6.13	3.7	3.47	6.63	3.54
	<b>C14</b>						
	Homer	MBE	1.79	--	8.39	11.41	6.78
		RMSE	8.90	--	12.22	13.9	10.70
Helioscope	MBE	6.88	3.15	4.81	7.84	4.82	
	RMSE	11.37	8.77	9.64	11.02	9.19	
PVsyst	MBE	8.67	2.57	4.18	8.18	3.16	
	RMSE	12.72	8.84	9.63	11.70	8.55	
PV*SOL	MBE	0.16	-0.36	1.29	4.32	1.30	
	RMSE	8.59	8.13	8.39	8.52	7.89	
<b>C15</b>							
Homer	MBE	-2.71	--	3.79	6.35	2.28	
	RMSE	6.46	--	7.64	7.71	5.48	
Helioscope	MBE	3.00	-0.54	0.91	3.64	1.08	
	RMSE	6.15	4.83	6.25	4.94	4.56	
PVsyst	MBE	4.87	-0.84	0.54	4.29	-0.35	
	RMSE	7.32	5.35	6.6	5.79	4.89	
PV*SOL	MBE	-4.49	-4.93	-3.47	-0.76	-3.31	
	RMSE	7.39	7.27	7.46	4.38	5.98	
<b>C16</b>							
Homer	MBE	-2.87	--	2.97	5.42	2.38	
	RMSE	5.77	--	6.80	6.57	4.73	
Helioscope	MBE	2.74	-0.65	0.02	2.74	1.14	
	RMSE	5.28	3.78	5.67	3.89	3.54	
PVsyst	MBE	4.55	-1.13	-0.51	3.22	-0.45	
	RMSE	6.45	4.19	5.88	4.46	3.64	
PV*SOL	MBE	-4.78	-5.10	-4.43	-1.73	-3.31	
	RMSE	6.92	6.68	7.53	4.09	5.25	

**4. Conclusions**

In the present research article, the main consideration is PV module temperature. Four years of experimental investigations are inter-correlated with recent empirical/analytical estimations that are heavily used in international software. The main results showed that the module temperature values together with the incident solar irradiance are very effective in the performance of the module temperature estimations schemes. As the temperature and solar irradiance values increase other models become better, showing the situation that the derived methodologies are mainly climate/location dependent. It can be concluded that equation 4 (PV\*SOL) is better at low irradiance and ambient temperature values, while equation 2 (Helioscope) seems better overall. All these results are explained in detail.

Temperature differences between estimated and observed temperatures range between -30 °C and +30 °C (Figures. 2 and 3). The results show that the deviation of the module temperature varies significantly depending on the climatic circumstances. In different categories, the deviation between measured and estimated module temperature varies highly. For high-irradiance categories, Helioscope estimations of Poly-Si module temperature are highly correlated with the measurements. For category 9 the MBE deviation is only -0.01 and for category 16 the MBE deviation is 0.02.

The temperature estimation formula used by Homer software highly deviated for high irradiance values for μc-Si/a-Si module. For category 13 and category 14 and both the MBE and RMSE values attained > 11 RMSE and MBE values, meaning that the deviation is very high and the formula consistently over-estimates the μc-Si/a-Si module temperature.



Although the MBE estimations of PV\*SOL for low irradiance categories are low compared with other software's still the RMSE estimations can reach up to +6.39 in category 3 for Poly-Si, pointing that the deviation between the estimated and measured temperatures is too high at some time instants.

This research highlights the prospect of the present Solar Energy investments and gives very important clues to future achievements. Further research should be on the experimental and theoretical/analytical of solar energy on PV for a better renewable energy future.

## 5. Nomenclature

$\alpha$	Empirically-determined coefficient establishing the upper limit for module temperature at low wind speeds and high solar irradiance ( <i>dimensionless</i> )	$T_{amb}$	Ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\alpha$	Absorptance coefficient ( <i>dimensionless</i> )	$T_{a,NOCT}$	Ambient temperature at NOCT ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\alpha_p$	Temperature coefficient of power [ $\%/^{\circ}\text{C}$ ]	$T_{a,average}$	Average ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$b$	Empirically-determined coefficient establishing the rate at which module temperature drops as wind speed increases ( $\text{s/m}$ )	$T_{a,highest}$	Highest ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\eta_{STC}$	Efficiency at STC ( <i>dimensionless</i> )	$T_{a,lowest}$	Lowest ambient Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$G_{NOCT}$	Irradiance at NOCT ( $\text{W/m}^2$ )	$T_c$	Cell temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$G_t$	Solar radiation flux on module plane ( $\text{W/m}^2$ )	$T_{c,NOCT}$	Cell temperature at NOCT ( $^{\circ}\text{C}$ )
$G_{t,average}$	Average solar radiation flux on module plane ( $\text{W/m}^2$ )	$T_{c,STC}$	Cell temperature at standard test conditions ( $^{\circ}\text{C}$ )
$G_{t,highest}$	Highest solar radiation flux on module plane ( $\text{W/m}^2$ )	$U_0, U_1$	A coefficient describing the effect of the radiation on the module temperature ( $\text{W/m}^2^{\circ}\text{C}$ ), A coefficient describing the cooling by the wind ( $\text{Ws/m}^3^{\circ}\text{C}$ )
$k$	Installation Coefficient ( $^{\circ}\text{C}$ )	$WS$	Wind speed ( $\text{m/s}$ )
$p_{average}$	Average precipitation ( $\text{mm}$ )	$WS_{average}$	Average wind speed ( $\text{m/s}$ )
$p_{highest}$	Highest precipitation ( $\text{mm}$ )	$WS_{highest}$	Highest wind speed ( $\text{m/s}$ )
$\tau$	Transmittance coefficient ( <i>dimensionless</i> )	$I_t$	Irradiation ( $\text{W/m}^2$ )

## Acknowledgments

The authors would like to thank to Rasit Turan and Harun Tanik. The authors acknowledge the support given by Turkey Presidency of Strategy and Budget for constructing the outdoor testing facility [BAP-08.11.2015K121200]. Thanks to all the participants of ODTÜ-GÜNAM for establishing a scientific incorporation structure. The authors thank the editor and referees for their valuable feedback during the review and evaluation phase of the article.

## Author contribution

T.O., D.T., and M.S.Y did necessary maintenance operations for proper operation of solar panels. B.G.A. and T.O. planned and supervised the work, and D.T. and M.S.Y. did the calculations and plots for all software models. D.T. and M.S.Y wrote the introduction section, and B.G.A. and T.O. processed the data. All writers are contributed to the analysis, whereas D.T. and M.S.Y drafted the manuscript. B.G.A., T.O. depicted the results and worked on the manuscript. All authors discussed the results and commented on the manuscript.

## Declaration of ethical code

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

## Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Akinoglu, B. G. (1991). A review of sunshine-based models used to estimate monthly average global solar radiation. *Renewable Energy*, 1(3–4), 479–497. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(91\)90061-S](https://doi.org/10.1016/0960-1481(91)90061-S)
- Aly, S. P., Ahzi, S., & Barth, N. (2019). Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 200(September 2018), 109948. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.109948>
- Atse, L., Waal, A. C. de, Schropp, R. E. I., Faaij, A. P. C., & Sark, W. G. J. H. M. van. (2017). Comprehensive characterisation and analysis of PV module performance under real operating conditions. *Progress In Photovoltaics: Research and Applications*, 25(2), 218–232. <https://doi.org/10.1002/pip.2848>
- Bañuelos-Ruedas, F., Angeles-Camacho, C., & Rios-Marcuello, S. (2010). Analysis and validation of the methodology used in the extrapolation of wind speed data at different heights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2383–2391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.001>
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N., & Seshadri, B. (2013). Temperature dependent photovoltaic ( PV ) efficiency and its effect on PV production in the world a review. *Energy Procedia*, 33, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.072>
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., & McGowan, J. (1985). *Solar engineering of thermal processes*. <https://doi.org/10.1119/1.14178>
- Eckstein, J. H. (1990). *Detailed modelling of photovoltaic system components*. University of Wisconsin-Madison.
- Faiman, D. (2008). *Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules*. <https://doi.org/10.1002/pip.813>
- Folsom Labs. (2019). *HelioScope software*. <https://www.helioscope.com/>
- HOMER software. (2019). <https://www.homerenergy.com/>
- International renewable energy agency. (2020). *Renewable Capacity Statistics 2020*. <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
- Jaszczur, M., Teneta, J., Hassan, Q., Majewska, E., & Hanus, R. (2019). An experimental and numerical investigation of photovoltaic module temperature under varying environmental conditions. *Heat Transfer Engineering*, 42(3–4), 354–367. <https://doi.org/10.1080/01457632.2019.1699306>
- Jha, A., & Tripathy, P. P. (2019). Heat transfer modeling and performance evaluation of photovoltaic system in different seasonal and climatic conditions. *Renewable Energy*, 135, 856–865. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.032>
- Karaveli, A. B., Ozden, T., & Akinoglu, B. G. (2018). Determining photovoltaic module performance and comparisons. *PVCon 2018 - International Conference on Photovoltaic Science and Technologies*, 18–22. <https://doi.org/10.1109/PVCon.2018.8523868>
- King, D. L., Boyson, W. E., & Kratochvil, J. A. (2004). Photovoltaic array performance model. In *Sandia Report No. 2004-3535* (Vol. 8, Issue November). <https://doi.org/10.2172/919131>
- Koehl, M., Heck, M., Wiesmeier, S., & Wirth, J. (2011). Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(7), 1638–1646. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.01.020>
- Nikolaeva-Dimitrova, M., Kenny, R. P., Dunlop, E. D., & Pravattoni, M. (2010). Seasonal variations on energy yield of a-Si, hybrid, and crystalline Si PV modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 18(5), 311–320. <https://doi.org/10.1002/pip.918>
- Ozden, T., Akinoglu, B. G., & Kurtz, S. (2018). Performance and degradation analyses of two different pv modules in central anatolia. *PVCon 2018 - International Conference on Photovoltaic Science and Technologies*, 18–21. <https://doi.org/10.1109/PVCon.2018.8523880>

- Ozden, T., Carr, A. J., Geerligs, B. (L. J.), Turan, R., & Akinoglu, B. G. (2020). One-year performance evaluation of two newly developed back-contact solar modules in two different climates. *Renewable Energy*, 145, 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.045>
- Ozden, T., Karaveli, A., & Akinoglu, B. (2020). Fotovoltaik sistemlerde performans hesaplama modellerinin Ankara (Orta Anadolu) için karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, 18, 54–60. <https://doi.org/10.31590/ejosat.653272>
- Ozden, T., Tolgay, D., & Akinoglu, B. G. (2018). Daily and monthly module temperature variation for 9 different modules. *PVCon 2018 - International Conference on Photovoltaic Science and Technologies*. <https://doi.org/10.1109/PVCon.2018.8523878>
- Ozden, T., Tolgay, D., Yakut, M. S., & Akinoglu, B. G. (2020). An extended analysis of the models to estimate photovoltaic module temperature. *Turkish Journal of Engineering*, 4(4), 183–196. <https://doi.org/10.31127/tuje.639378>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- PVsystem. (2019). *PVsystem PV Software*. <https://www.pvsystem.com>
- Radziemska, E. (2003). The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28, 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00015-0)
- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067>
- Ross, R. G., & Smokler, M. I. (1986). *Electricity from photovoltaic solar cells: Flat-Plate Solar Array Project final report*. [https://www2.jpl.nasa.gov/adv\\_tech/photovol/ppr\\_86-90/FSA%20Final%20Rpt%20VII%20-%20Encapsulation.pdf](https://www2.jpl.nasa.gov/adv_tech/photovol/ppr_86-90/FSA%20Final%20Rpt%20VII%20-%20Encapsulation.pdf)
- Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., & Auer, I. (2017). The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800-2100. *Meteorologische Zeitschrift*, 26(2), 115–125. <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0816>
- Sandnes, B., & Rekstad, J. (2002). A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. *Solar Energy*, 72(1), 63–73. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00091-3)
- Shen, L., Li, Z., & Ma, T. (2020). Analysis of the power loss and quantification of the energy distribution in PV module. *Applied Energy*, 260(November 2019), 114333. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114333>
- Skoplaki, E., Boudouvis, A. G., & Palyvos, J. A. (2008). A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1393–1402. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.05.016>
- Tuncel, B., Ozden, T., Balog, R. S., & Akinoglu, B. G. (2020). Dynamic thermal modelling of PV performance and effect of heat capacity on the module temperature. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22(August), 100754. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100754>
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources* (3rd Edition, Ed.). Taylor Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315766416>
- Valentin software. (2019). *PV\*SOL*. <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
- Ye, J., Reindl, T., & Luther, J. (2012). Seasonal variation of PV module performance in tropical regions. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2406–2410. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2012.6318082>
- Ye, Z., Nobre, A., Reindl, T., Luther, J., & Reise, C. (2013). On PV module temperatures in tropical regions. *Solar Energy*, 88, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.11.001>

## Study on dynamic modelling and vibration analysis of single-link flexible manipulator

*Tek serbestlik dereceli esnek manipülatörün dinamik modellenmesi ve titreşim analizi üzerine çalışma*

Mehmet UYAR \*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt

• Received: 02.12.2021

• Accepted: 21.10.2022

### Abstract

In this study, SimMechanics-based dynamic modeling and vibration analysis of a single-link flexible manipulator are studied. A flexible beam model is set up for modeling the manipulator. Transient analysis is performed to obtain the endpoint acceleration vibration responses of the manipulator moved with different motion profiles. Both the experimental and simulation acceleration results are presented for different cases. The root means square (RMS) values of the acceleration responses are calculated to evaluate the compatibility performance in verifying the simulation results with the experimental results. It has been observed that the results match each other successfully for different cases. The reliability of the SimMechanics-based dynamic modeling method of manipulators is discussed with the experimental results.

**Keywords:** Dynamic modeling, Flexible beam block, Single-link flexible manipulator, Vibration analysis

### Öz

*Bu çalışmada, tek bağlantılı esnek manipülatörün SimMechanics tabanlı dinamik modellemesi ve titreşim analizi çalışılır. Manipülatörün modellenmesi için bir esnek kiriş modeli kurulur. Farklı hareket eğrileri ile hareket ettirilen manipülatörün uç nokta ivme titreşim tepkilerini elde etmek için geçici durum analizi gerçekleştirilir. Farklı durumlar için hem deneysel hem de simülasyon ivme sonuçları sunulur. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçları ile doğrulanmasındaki uyumluluk performansını değerlendirmek için ivme cevaplarının ortalama karekök (RMS) değerleri hesaplanmıştır. Sonuçların birbirleriyle farklı durumlar için başarılı bir şekilde eşleştiği gözlemlenmiştir. Manipülatörlerin SimMechanics tabanlı dinamik modelleme yönteminin güvenilirliği, deneysel sonuçlarla ele alınmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Dinamik modelleme, Esnek kiriş bloğu, Tek serbestlik dereceli esnek manipülatör, Titreşim analizi

## 1. Introduction

Robot arms use commonly in manufacturing applications for their advantages, such as short cycle time and high speed (Mariappan & Veerabathiran 2016). Robot manipulators are designed rigidly to achieve high precision, flexibility, and productivity. In order to plan the endpoint motion of robot arms and realize the position control, it is an important step to correctly design the dynamic modeling of robot manipulators. Various methods are used for the modeling and dynamic analysis of robot arms. Researchers use analytical approaches such as Newton-Euler and Euler-Lagrange methods to construct dynamic models of flexible structures. In addition, as it is known, commercial applications such as ANSYS and MATLAB/Simulink provide the opportunity to numerically model and dynamically analyze robot manipulators. For numerical analysis, Simscape based on MATLAB/Simulink is an essential toolbox used for modeling and simulation of mechanical, thermal, and fluid systems. It provides to simulate dynamically with rigid and flexible modeling of mechanical systems on the basis of a 3D model. With the proposed method, various studies on rigid robotic applications have been carried out by researchers and are summarized.

The mechanical design, dynamic analysis, and controller design of the parallel and SCARA manipulator designed with SimMechanics and CAD methods are compared (Mariappan & Veerabathiran, 2016; Tlale & Zhang, 2005). Gaber et al. (Gaber et al., 2016) developed an interface in MATLAB to animate the model and perform the position control of a 6-DOF robot arm. The designed interface is provided for communication to perform the robot control by exchanging information with the controller. With a similar approach, West et al. (West et al., 2016) developed a mechanism for the numerical modeling of a robot manipulator constructed from 7-DOF hydraulic systems and estimation of unknown parameters using a genetic algorithm. Joint torques of the dynamic model of a 5-DOF robot arm designed for use in an electric arc furnace are simulated by Esmacili et al. (Esmacili & Saadat, 2020). A mathematical model of a multi-link snake robot with an additional part with 6-DOF on its tail is created by Malayjerdi and Akbarzadeh (Malayjerdi & Akbarzadeh, 2019), and the detailed dynamic and kinematic analyses are obtained analytically. Dynamic equations are verified with the SimMechanics model. In Ref. (Azmoun et al., 2019), Azmoun et al. developed a dynamic model of a 4-DOF parallel robot arm that perform pick and place operation at SimMechanics. The inverse kinematics problem has been confirmed analytically, and the simulation results are compared with PID and Sliding-mode controllers. Wang et al. (Wang et al., 2017) derived a dynamic model for position control of a 3D robot arm through dependent parameters and then presented a linear model based on SimMechanics.

SimMechanics-based modeling method is also widely used in biological studies. In another study, Stevanović and Rašuo (Stevanović & Rašuo, 2017) reported a SimMechanics-based mathematical model of a 3-DOF biological robot. In addition, a moving dynamic analysis of the mechanism is carried out. The biological arm model is modeled with a simplified 3-DOF robotic arm (Umar & Bakar, 2014). The mathematical dynamic equations of robot arms are established, and then the simulated dynamic model using computerized algorithms is compared with the SimMechanics model. For flexible structures, dynamic modeling and performing vibration analyzes of flexible structures with the FE method are widely studied. Modeling and simulation of a flexible beam are studied with both ANSYS and SimMechanics-based flexible beam element model (Uyar, 2021). Controlled and uncontrolled vibration responses are presented comparatively.

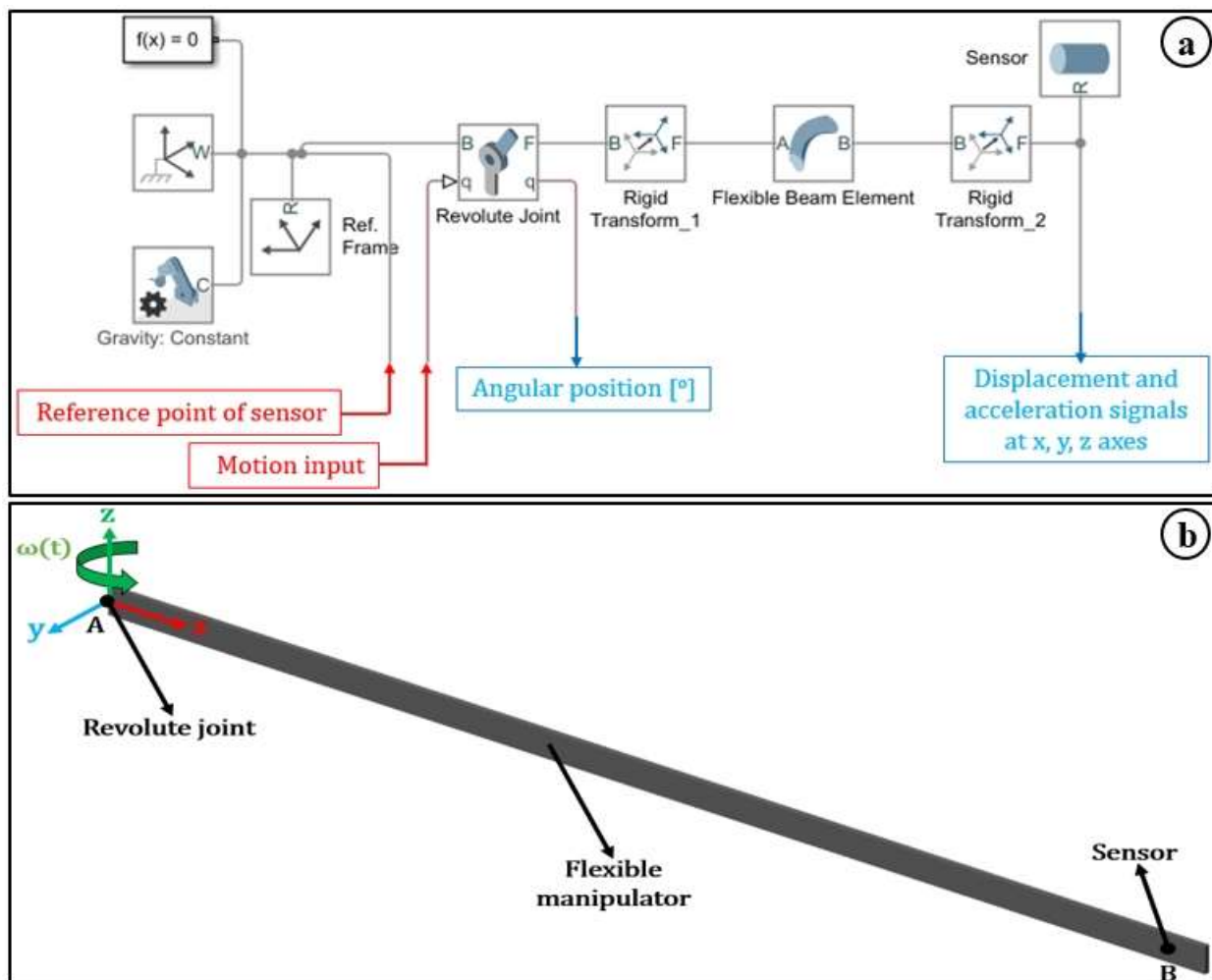
For mechanical systems, the overhead crane model is modeled by Win et al. (Win et al., 2013) using SimMechanics, and an LQR controller is applied to the system to prevent skidding. Using the experimental model of the system and the mean square root error, the most appropriate mathematical model is presented.

Studies on the modeling of SimMechanics-based robot manipulators are described above. In the studies, it was observed that modeling and dynamic analyzes on rigid robot arms were carried out. Dynamic modeling of flexible robot manipulators is a challenging process since the flexibility of flexible robot arms requires vibrations at the endpoint and position control. Therefore, various control methods are used for reducing endpoint vibrations and trajectory tracking of robot manipulators. Various control methods such as feed-forward compensation control (Abou Elyazed et al., 2016), proportional-integration-derivative (PID) control (Mailah et al., 2005), Sliding-Mode controller (Ansari-Rad et al., 2019; Azmoun et al., 2019), adaptive control (Boukattaya et al., 2011), and advance control methods (Hirukawa et al., 2007; Lavretsky & Wise, 2013; Tsay et al., 2010) have been reported to be applied in robot manipulators. In order to increase the applicability of the control method to the system, the accuracy of the dynamic model of the system is

important for experimental and analytical validation. In the reference work (Malgaca & Uyar, 2019), authors built the finite element model of the flexible composite manipulator in ANSYS and performed vibration analysis. The PID control is studied for the endpoint vibration control. Although simple control methods such as PID control can be applied to the finite element analysis, modern control methods cannot be applied. The use of the SimMechanics modeling approach in the dynamic modeling of flexible robot manipulators is an important advantage in terms of applying different control methods analytically. In this study, the dynamic modeling of a flexible manipulator is modeled and analyzed in MATLAB/Simulink version 2021a based on SimMechanics. Then, the vibration analysis of the proposed model is compared with experimental studies. The evaluation of modeling and vibration analysis in the paper is organized as follows: firstly, dynamic modeling and a 3D solid model of the flexible manipulator are developed by using a block diagram and also, motion curves are determined to move the manipulator; secondly, an experimental system is built to compare the experiments with the simulation results; thirdly, the experimental and simulation results for discussion are presented and evaluated for different motion curves; and finally, the conclusions obtained from results in the paper are exhibited.

## 2. Dynamic modeling

SimMechanics is an important part of MATLAB/Simulink to model and to simulate the dynamic model with the dynamic forces and torques. In this section, the block diagram and dynamic 3D model of the FM are shown as the mechanical model in SimMechanics given in Figure 1.



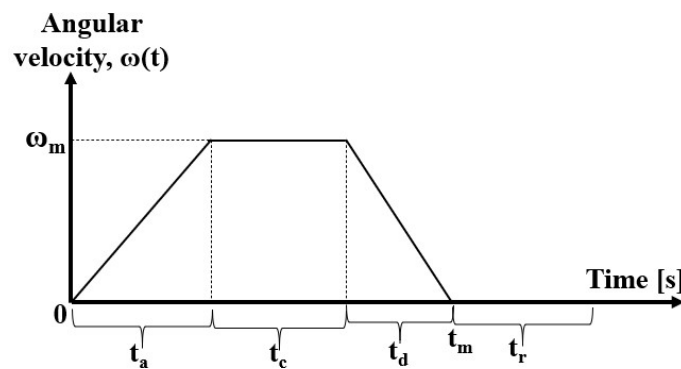
**Figure 1.** a) block diagram, and b) 3D model based on SimMechanics

Figure 1 indicates the block diagram and 3D model of FM. In order to create the simulation model, a flexible beam element defined in a general coordinate system is used. The flexible beam element is connected to the reference frame and the revolute joint element, which is assigned to move the manipulator. Reference frame

is determined at the A point in the coordinate system. A rigid transform element is utilized to determine the sensor and actuator positions. Rigid transform 1 is used to define the position for the revolute joint at A point, while rigid transform 2 is utilized for the position of the acceleration sensor at B point. The position of the sensor is chosen as 630 mm from the root and the acceleration sensor is used to measure the acceleration signals in three directions (at x, y, z axes in the coordinate system). The sensor mass is defined as  $M_p=0.054$  kg at the endpoint of the FM because of the weight of the acceleration sensor used in the experiment. Also, the revolute joint element in the system is utilized to measure the angular position since the angular position information in degree is obtained as a system output in the rotating joint element.

For material and physical properties, the dimension of the FM is selected as  $3.2 \times 20 \times 640$  mm<sup>3</sup>, while its material is steel with the modulus of elasticity  $E=210$  GPa and density of  $7750$  kg/m<sup>3</sup>. Damping is defined in the flexible beam model to confirm the simulation results with the experiment. Here, system damping is used as damping ratio of  $0.0002$  obtained from the experimental acceleration response (Rao, 2014).

In order to move the FM, the angular velocity curve given in Figure 2 is created with time and motion parameters.

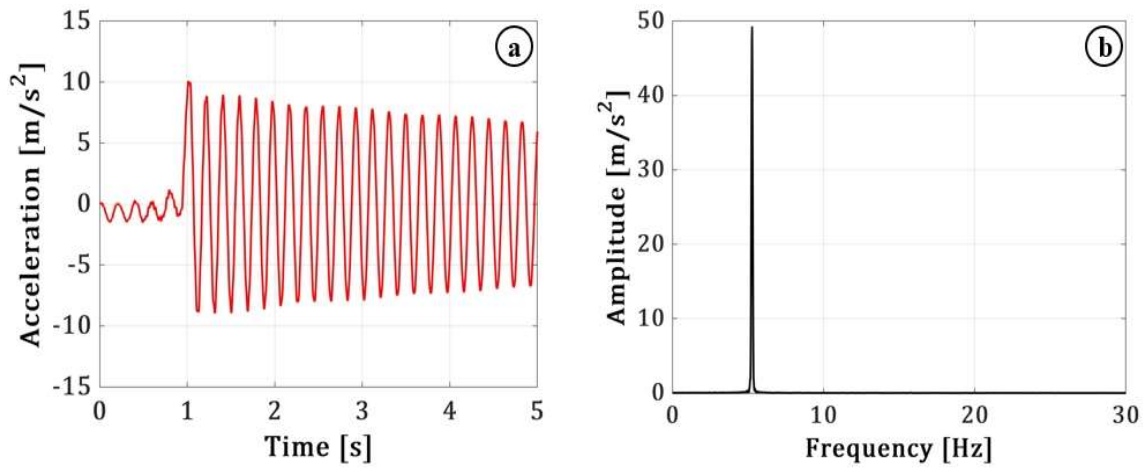


**Figure 2.** Angular velocity curve

The motion curve is selected as a trapezoidal velocity profile which consists of four parts: acceleration, constant, deceleration, and residual, separately. As seen from Figure 2,  $t_a$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ , and  $t_r$  motion parameters are represented as acceleration, constant, deceleration and residual time parameters, respectively.  $t_m$  is the motion time.  $\omega_m$  denotes the maximum angular velocity. Time parameters are selected in seconds while  $\omega_m$  is in rad/s. Motion and time parameters are determined as described in Refs. (Malgaca et al., 2017; Malgaca & Uyar, 2019).

To find the motion and time parameters, the frequencies of the FM are used. Modal analysis is achieved to obtain the natural frequencies of the FM. Experimentally, natural frequencies are found with the experimental modal analysis by obtaining the frequency-amplitude plot from the free vibration responses at the tip point, and, in simulation, natural frequencies are calculated by using the time responses obtained from SimMechanics. After the Fast Fourier Transform (FFT) is applied to the free vibration responses obtained from the experiment. Experimental vibration and frequency response is shown in Figure 3.





**Figure 3.** a) vibration and b) frequency responses

Modal analysis results for first natural frequencies are calculated as 5.23 Hz for the experiment and 5.23 Hz for the simulation, respectively. As seen from modal analysis results, it is observed that the results of the experimental and simulation natural frequencies are successfully matched well. The accuracy of the SimMechanics model is experimentally confirmed with the modal analysis results for the first natural frequency.

Undamped natural frequency results are utilized to determine the motion parameters as described in Ref.(Malgaca & Uyar, 2019). In the vibration analysis of FM, three different stopping positions for the trapezoidal motion curve are defined as 10, 30 and 60 degrees. Motion time is taken as  $t_m=1$  s. Motion and time parameters are calculated as listed in Table 1.

**Table 1.** Motion parameters for trapezoidal velocity curve

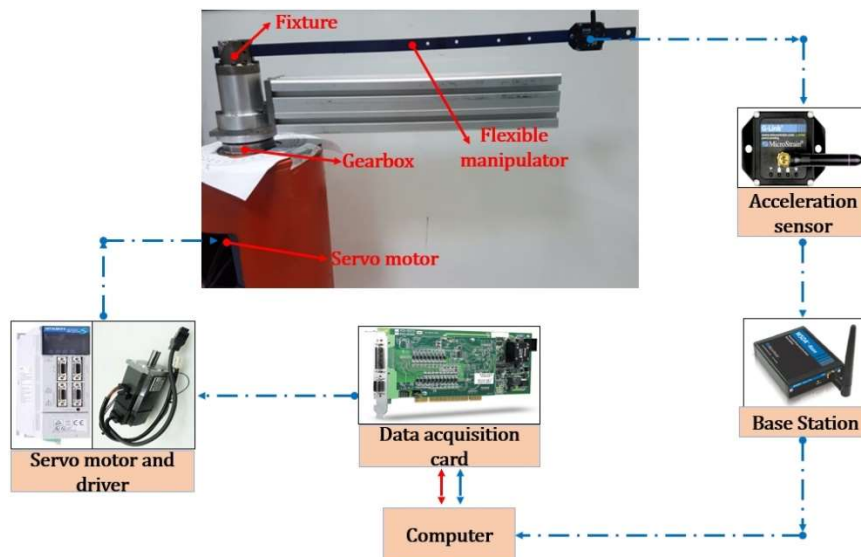
Motion curves	$\theta$ [°]	$t_a$ [s]	$t_d$ [s]	$t_m$ [s]	$\omega_{max}$ [rad/s]
C <sub>1A</sub>		0.7131	0.0956		
C <sub>1B</sub>		0.6175	0.1912		
C <sub>1C</sub>	10	0.5219	0.2868	1	0.2930
C <sub>1D</sub>		0.4263	0.3824		
C <sub>1E</sub>		0.3307	0.4780		
C <sub>2A</sub>		0.7131	0.0950		
C <sub>2B</sub>		0.6175	0.1912		
C <sub>2C</sub>	30	0.5219	0.2868	1	0.8791
C <sub>2D</sub>		0.4263	0.3824		
C <sub>2E</sub>		0.3307	0.4780		
C <sub>3A</sub>		0.7131	0.0950		
C <sub>3B</sub>		0.6175	0.1912		
C <sub>3C</sub>	60	0.5219	0.2868	1	1.7582
C <sub>3D</sub>		0.4263	0.3824		
C <sub>3E</sub>		0.3307	0.4780		

In Table 1, time and motion parameters are given for three stopping positions of the trapezoidal velocity curve. Motion curve is applied to the revolute joint element to move the manipulator in simulation and to drive the manipulator by using the servo motor and driver in the experiment.

### 3. Experimental system

In this study, the experimental set-up is used to verify the simulation results based on SimMechanics as shown in Figure 4.





**Figure 4.** Experimental and measurement system

In the experimental and measurement system, there is a single-link flexible manipulator, an acceleration sensor and base station, a data acquisition card (DAQ), a personal computer (PC), a servo motor, and driver. The acceleration sensor providing wireless-based data communication is located at a distance of 20 mm from the tip point of the FM. The Servo motor and driver of Mitsubishi Electric company with 200 W are used in the experiment. The servo motor is connected to the FM with the gearbox via a Fixture. The gearbox of Harmonic Drive company is utilized with a gear ratio of 100 for the servo motor. In order to drive the FM, the motion card of Adlink PCI-8366 which is communicated with the servo driver in serial by the SSCNET network, is used. And, motion card is programmed by using Visual Basic (VB) commands. VB program is prepared to create the motion profile. In the VB program, pulses are produced by using the velocity values corresponding to each time step by the time and motion parameters of the trapezoidal motion profile given in Table 1. The pulses generated to move the manipulator are sent synchronously to the servo driver via VB. The servo driver and motor are connected to each other with SSNET communication protocol.

During the movement of the manipulator, vibrations occur at the endpoint, which is considered the free point. The endpoint acceleration signals are measured synchronously with the wireless accelerometer. Acceleration data is transmitted to the base station by the wireless communication protocol. After the data is processed, the acceleration signals are transmitted to the computer via the WSDA base station and then recorded to the PC via the Node Commander program of Microstrain company. The sampling frequency of the sensor is selected as 512 Hz and signals are filtered with a cut-off frequency of 20 Hz by using the low-pass Butterworth filter.

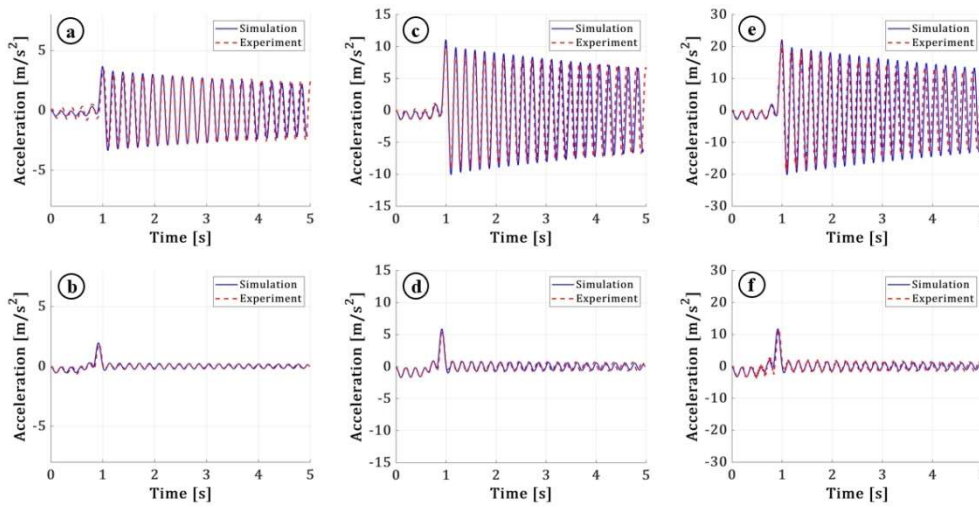
The FM moves from a rest position at  $t=0$  s to a stopping position at  $t=t_m$ . After completing the movement of FM, the residual section begins at  $t=t_m$  and completes at  $t=t_r$ . For three different motion curves, acceleration signals at the endpoint of the FM are obtained during the time from the rest position to the residual position.

#### 4. Results and discussions

The experimental and simulation results are obtained for three different motion curves. For motion time  $t_m=1$  s, example vibration responses for  $C_{1A-1B}$ ,  $C_{2A-2B}$  and  $C_{3A-3B}$  motion curves are shown in Figure 5.

Figure 5 presents the experimental and simulation results for example motion curves. When the acceleration responses are examined, it is clear that the acceleration amplitudes are high at  $t_m=1$  s when the manipulator completes its movement. While the endpoint acceleration responses are obtained, the vibration responses of the manipulator are obtained by subtracting the rigid body motion curve from the flexible body motion curve. Therefore, it is obvious that high amplitude acceleration vibration responses are obtained in the stopping position due to the inertia of the manipulator. As seen from Figure 5, the vibration amplitudes for the motion profile  $C_1$  vibrate with a maximum and a minimum of approximately  $\pm 4$  m/s<sup>2</sup>, while these values

for  $C_2$ ,  $C_3$  are maximum  $\pm 12 \text{ m/s}^2$ , and  $\pm 24 \text{ m/s}^2$ , respectively. It is clear that maximum vibration amplitudes are obtained for  $C_{1A}$ ,  $C_{2A}$  and  $C_{3A}$  in all three different cases.



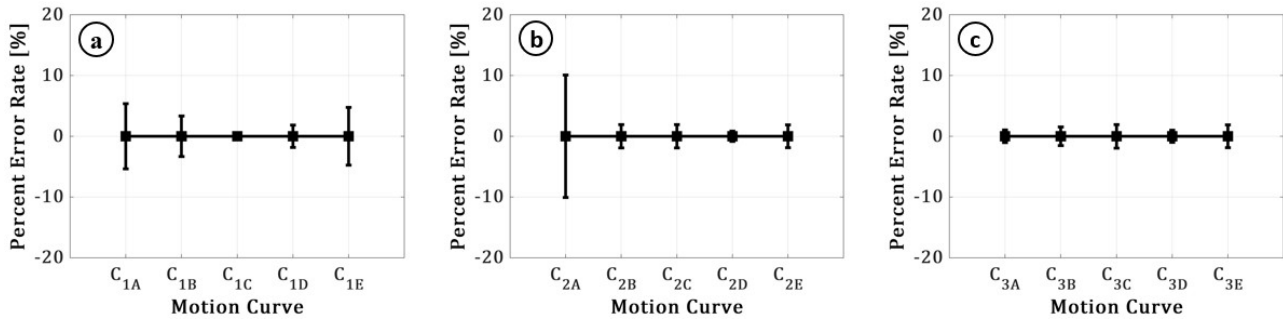
**Figure 5.** Vibration time responses for a-b)  $C_{1A-1B}$ , c-d)  $C_{2A-2B}$ , and e-f)  $C_{3A-3B}$

As seen from Figure 5, it is observed that experimental and simulation vibration responses matched each other well in motion profiles with both maximum and minimum vibration amplitudes. For all cases, root means square (RMS) values of the acceleration responses are computed in order to find the Prediction Error Criteria (PEC) which is a criterion that checks the compatibility of the reference model for a specific model. The reference model is selected as experimental studies while the specific model is defined as simulation method based on SimMechanics. In this study, PEC is determined by the Percent Error Rate (PER) of the RMS values of the acceleration responses in the experiment and simulation. RMS values are calculated for the experimental and simulation results and listed in Table 2.

**Table 2.** RMS values

Motion curves	RMS Values [ $\text{m/s}^2$ ]	
	Simulation	Experiment
$C_{1A}$	1.5235	1.4417
$C_{1B}$	0.2124	0.1618
$C_{1C}$	0.6546	0.6485
$C_{1D}$	0.3308	0.3587
$C_{1E}$	0.6795	0.6073
$C_{2A}$	4.2101	3.7849
$C_{2B}$	0.6878	0.6078
$C_{2C}$	1.5822	1.5015
$C_{2D}$	0.7832	0.7480
$C_{2E}$	1.4314	1.3527
$C_{3A}$	6.8244	6.7530
$C_{3B}$	1.2474	1.1427
$C_{3C}$	3.0072	2.8751
$C_{3D}$	1.5211	1.4532
$C_{3E}$	2.7267	2.5978

In Table 2, RMS values are presented to evaluate PER values of experimental and simulation results. For PER values, RMS values for experimental vibration responses are considered as reference values. For three different motion curves, PER values are calculated and presented in Figure 6.



**Figure 6.** Percent error rates of RMS values for a) C<sub>1A-E</sub>, b) C<sub>2A-E</sub>, and c) C<sub>3A-E</sub>

Figure 6 shows PER values of all motion curves for the simulation and experimental studies. For C<sub>1A-E</sub>, PER values are found as 5.36%, 3.32%, 0.40%, 1.83%, and 4.74%, respectively.

While the maximum PER value for C<sub>2A</sub> is obtained as 10.10%, it is also observed that it is the highest PER value for all cases, and when all motion curves are compared, the minimum PER values are found for the C<sub>3</sub> motion curves according to the other motion curves. For all cases of the C<sub>3</sub> motion curve, the experimental results are successfully matched well with the simulation vibration responses. If the 10% value of PER is accepted as the reference value for the accuracy of the simulation model, it has been observed that the simulation model is in good agreement with the experiments for all velocity profiles. Briefly, the proposed modeling method based on SimMechanics is verified with the experiments for three different stopping positions and five different motion curves for each position.

## 5. Conclusions

In this work, the dynamic modeling of a single-link flexible manipulator is investigated in order to confirm the proposed modeling method with experimental studies. The simulation model based on SimMechanics is designed in MATLAB/Simulink. Motion curves for different stopping positions are defined to move the manipulator. Acceleration vibration responses at the endpoint of the FM are obtained with simulations and experiments. The simulation results are successfully verified with experiments. Also, the proposed method for different stopping positions and cases is supported by experimental results.

The accuracy of the modeling approach of the SimMechanics-based dynamic modeling method is increased by experimental studies. Therefore, since the simulation and experimental vibration results are successfully matched with each other, the proposed method leads to its use in mechanical systems such as flexible manipulators. It is advantageous to use the proposed approach in obtaining dynamic models of complex structures that are analytically modeled. Moreover, while control methods applied to finite element analysis are limited in commercial applications such as ANSYS, different and modern control methods can be applied to dynamic models in MATLAB.

## Acknowledgement

The author expresses his special thanks to Dokuz Eylül University for giving support to experimental studies.

## Author contribution

Mehmet UYAR: Research concept/design, experimentation, data analysis, processing, literature search, drafting manuscript, critical revision, and final version of the manuscript.

## Declaration of ethical code

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

## Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

## References

- Abou Elyazed, M. M., Mabrouk, M. H., Elnor, M. A., & Mahgoub, H. M. (2016). Trajectory Planning of Five Dof Manipulator: Dynamic Feed Forward Controller Over Computed Torque Controller. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 17(17th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, pp. 1–14), Military Technical College. <https://doi.org/10.21608/amme.2016.35381>
- Ansari-Rad, S., Kalhor, A., & Araabi, B. N. (2019). Partial identification and control of MIMO systems via switching linear reduced-order models under weak stimulations. *Evolving Systems*, 10(2), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s12530-017-9214-8>
- Azmoun, M., Rouhollahi, A., Masouleh, M. T., & Kalhor, A. (2019). Kinematics and Control of a 4-DOF Delta Parallel Manipulator. *Proceedings of the 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics, IcRoM 2018, IcRoM*, 494–500. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657618>
- Boukattaya, M., Damak, T., & Jallouli, M. (2011). Robust adaptive control for mobile manipulators. *International Journal of Automation and Computing*, 8(1), 8–13. <https://doi.org/10.1007/s11633-010-0548-y>
- Esmaeili, M., & Saadat, M. (2020). Path Planning and Control of an Industrial Robot Used for Opening Tap Hole of an Electric Arc Furnace. *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, 9(4), 5–14.
- Gaber, A. N. A., Rezek, S. F., & El Gamal, H. A. (2016). Design and Position Control of Arm Manipulator ; Experimentally and in MATLAB SimMechanics. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5(08), 352–359.
- Hirukawa, T., Komada, S., & Hirai, J. (2007). Image feature based navigation of nonholonomic mobile robots with active camera. *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 2502–2506. <https://doi.org/10.1109/SICE.2007.4421411>
- Lavretsky, E., & Wise, K. A. (2013). Robust adaptive control. In *Advanced Textbooks in Control and Signal Processing* (pp. 317–353). Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4396-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4396-3_11)
- Mailah, M., Pitowarno, E., & Jamaluddin, H. (2005). Robust motion control for mobile manipulator using resolved acceleration and proportional-integral active force control. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2(2), 14. <https://doi.org/10.5772/5794>
- Malayjerdi, M., & Akbarzadeh, A. (2019). Analytical modeling of a 3-D snake robot based on sidewinding locomotion. *International Journal of Dynamics and Control*, 7(1), 83–93. <https://doi.org/10.1007/s40435-018-0441-z>
- Malgaca, L., & Uyar, M. (2019). Hybrid vibration control of a flexible composite box cross-sectional manipulator with piezoelectric actuators. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107278. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107278>
- Malgaca, L., Uyar, M., & Yavuz, S. (2017). Active Vibration Suppression of a Single-link Smart Flexible Manipulator. *International Journal of Natural and Engineering Sciences (IJNES)*, 11(1), 13–19.
- Mariappan, S. M., & Veerabathiran, A. (2016). Modelling and simulation of multi spindle drilling redundant SCARA robot using SolidWorks and MATLAB/SimMechanics. *Revista Facultad de Ingenieria*, 81, 63–72. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n81a06>
- Rao, S. S. (2014). Mechanical Vibrations. In *Design Engineer's Reference Guide* (pp. 109–164). CRC press. <https://doi.org/10.1201/b16660-10>
- Stevanović, I., & Rašuo, B. (2017). Development of a miniature robot based on experience inspired by nature. *FME Transactions*, 45(1), 189–197. <https://doi.org/10.5937/fmet1701189S>
- Tlale, N. S., & Zhang, P. (2005). Teaching the design of parallel manipulators and their controllers implementing MATLAB, simulink, simMechanics and CAD. *International Journal of Engineering Education*, 21(5), 838–845.

- Tsay, T. J., Lai, Y. F., & Hsiao, Y. L. (2010). Material handling of a mobile manipulator using an eye-in-hand vision system. *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2010 - Conference Proceedings*, 4743–4748. <https://doi.org/10.1109/IROS.2010.5649578>
- Umar, S. N. H., & Bakar, E. A. (2014). Study on trajectory motion and computational analysis of robot manipulator. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 67(1). <https://doi.org/10.11113/jt.v67.2206>
- Uyar, M. (2021). Modeling and Vibration Suppression of a Flexible Structure in SimMechanics. *European Journal of Science and Technology*, 28, 766–770. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1011316>
- Wang, W., Yang, P.-H., Wang, S.-P., & Xu, L. (2017). The 3D Arm Modeling and Position Control. *2017 International Conference on Manufacturing Engineering and Intelligent Materials (ICMEIM 2017)*, 362–369. <https://doi.org/10.2991/icmeim-17.2017.61>
- West, C., Montazeri, A., Monk, S. D., & Taylor, C. J. (2016). A genetic algorithm approach for parameter optimization of a 7DOF robotic manipulator. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1261–1266. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.688>
- Win, T. M., Hisketh, T., & Eaton, R. (2013). Simmechanics Visualization of Experimental Model Overhead Crane, Its Linearization And Reference Tracking-Lqr Control. *International Journal of Chaos, Control, Modelling and Simulation*, 2(3), 1–16. <https://doi.org/10.5121/ijccms.2013.2301>

## First report of qnr and *bla*<sub>VIM-4-like</sub> producing clinical *Alcaligenes faecalis* isolated in Türkiye

*Türkiye'den izole edilen qnr ve bla<sub>VIM-4-like</sub> üreten klinik Alcaligenes faecalis'in ilk raporu*

Esmâ AKYILDIZ<sup>1,a</sup> , Ayşegül SARAL SARIYER<sup>2,b</sup> , Tuba KÖSE<sup>3,c</sup> , Mikail ARSLAN<sup>3,d</sup> ,  
Fatih Şaban BERİŞ<sup>4,e</sup> , Azer ÖZAD DÜZGÜN<sup>\*5,f</sup> 

<sup>1</sup>Department of Medical Services and Techniques, Health Services Vocational High School, Gumushane University, Gumushane, Türkiye.

<sup>2</sup>Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Artvin Coruh University, Artvin, Turkey.

<sup>3</sup>Microbiology Laboratory, Fatih State Hospital, Trabzon, Türkiye.

<sup>4</sup>Department of Biology, Faculty of art and sciences, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey.

<sup>5</sup>Department of Genetics and Bioengineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Gumushane University, Gümüşhane, Türkiye

• Received: 23.09.2022

• Accepted: 04.11.2022

### Abstract

The study set out to look at the clinical strain of *A. faecalis*'s antibiotic susceptibility pattern. Both biochemical and molecular approaches were used to identify *A. faecalis*. The VITEK compact system was used to analyze the strain's antibiotic susceptibility profile. The use of PCR was evaluated to determine the presence of resistance genes. It was also determined whether resistance determinants could be transferred. It was determined that *A. faecalis* showed resistance to imipenem, cefepime, ceftazidime, gentamicin, amikacin, netilmicin, tobramycin, ciprofloxacin, and levofloxacin. The *bla*<sub>VIM-4-like</sub> gene was present in this strain, according to the results of the PCR and DNA sequencing studies. In contrast to VIM-4, this *bla*<sub>VIM-4-like</sub> gene showed one amino acid change (Ala265Val). Filter-mating experiments showed that the *bla*<sub>VIM-4-like</sub> gene cannot be transferred from *A. faecalis* to *E. coli*. In this study, This research, demonstrated the presence of the *bla*<sub>VIM-4-like</sub> gene for the first time in *A. faecalis* from Turkey.

**Keywords:** *A. faecalis*, qnrB, VIM-4

### Öz

Çalışmanın amacı, *A. faecalis* klinik suşunun antibiyotik duyarlılık paterninin araştırmaktır. *A. faecalis* hem biyokimyasal hem de moleküler yöntemlerle tanımlanmıştır. VITEK kompakt sistemi, suşun antibiyotik duyarlılık profilini analiz etmek için kullanıldı. Direnç genlerinin belirlenmesi, PCR yöntemi kullanılarak değerlendirildi. Ayrıca, direnç belirleyicilerinin aktarılabilirliği araştırıldı. *A. faecalis*'in imipenem, sefepim, seftazidim, gentamisin, amikasin, netilmisin, tobramisin, siprofloksasin ve levofloksasine direnç gösterdiği belirlendi. PCR ve DNA dizi analizleri, bu suşun *bla*<sub>VIM-4</sub> benzeri gene sahip olduğunu ortaya çıkardı. Bu *bla*<sub>VIM-4-like</sub> gen, VIM-4'e kıyasla bir amino asit ikamesi (Ala265Val) sergiledi. Filtre eşleştirme deneyleri, *bla*<sub>VIM-4-like</sub> genin *A. faecalis*'ten *E. coli*'ye aktarılamayacağını gösterdi. Bu çalışmada, Türkiye'den *A. faecalis*'te ilk kez *bla*<sub>VIM-4-like</sub> genin varlığı ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** *A. faecalis*, qnrB, VIM-4

\*f Azer Özad Düzgün; azerozad@windowslive.com

## 1. Introduction

Gram-negative, aerobic, rod-shaped *Alcaligenes faecalis* bacteria are found in soil and water. They are oxidase, catalase, and citrate positive. (Pereira et al., 2000; Khajuria et al., 2013). *A. faecalis* can cause dangerous opportunistic infections and is also present in the microbiome of humans. (Pereira et al., 2000). This organism often causes nosocomial infections including sporadic endocarditis, meningitis, chronic otitis, urinary tract infections, infantile gastroenteritis, pyelonephritis, bacteremia, peritonitis, endophthalmitis, nosocomial pseudobacteremia, and abscesses (Tena et al., 2015; Kavuncuoglu et al., 2010; Khokhar et al., 2002; Ashwath & Katner, 2005) and is usually seen in immunocompromised hosts (Tena et al., 2015).

*A. faecalis* is typically not susceptible to aminoglycosides, chloramphenicol, or tetracyclines; however, it is susceptible to trimethoprim/sulfamethoxazole (TMP-SMX). Moreover, it is usually susceptible to  $\beta$ -lactams such as ureidopenicillin, ticarcillin-clavulanic acid, cephalosporins, and carbapenems (Wisplinghoff, 2017). Aminoglycoside resistance may occur in strains by different mechanisms. One of which is the inactivation or modification of aminoglycosides (Doi et al., 2016). Aminoglycoside phosphotransferase encoding genes; *strA*, *strB*, *aphA6* (Mantengoli & Rossolini, 2005), aminoglycoside nucleotidyltransferase encoding gene; *ANT (2'')-Ia* (Al Laham et al., 2017), aminoglycoside acetyltransferase encoding genes; *aacA4* (Al Laham et al., 2017), *aac(3)-II* (Hidalgo del Río, 2014), *aac(6')-I* (Dubois et al., 2006), *Aac-6'-Ib-cr* (De Paiva, 2015), *AAC(3)-II-b* (Hidalgo del Río, 2014), and aminoglycoside adenylyltransferase encoding genes; *aadA2* (Adelowo & Fagade, 2012), *aadB* (Al Laham et al., 2017), *aadA11* (Agersø & Sandvang, 2005), *aadA1* (Barlow et al., 2008) were found in *A. faecalis*. Five class integrons have been identified to date and these genetic structures play major role in spreading antibiotic resistance genes (Cury et al., 2016). Class I and Class II integrons were found in *A. faecalis*. *aadB-bla<sub>VIM-2</sub>-dfrA34-aacA4-dfrB5* (Al Laham et al., 2017), *aadA2-sul-1B-qacE $\Delta$ 1-F* (Adelowo & Fagade, 2012), *aadA11-dfrA1* (Agersø & Sandvang, 2005), and *aadA1* (Barlow et al., 2008) gene cassette arrays with integrase I gene were identified in this bacteria.  $\beta$ -lactamases are enzymes found in various bacterial species that can inactivate chemical compounds like penicillins.  $\beta$ -Lactamases are composed of Class A, B, C and D (Bush, 2018).  $\beta$ -lactamases production is one of the most important causes of multidrug resistance among bacteria. (Bush, 2010). Class A  $\beta$ -lactamase PER-1 (Mantengoli & Rossolini, 2005), TEM-21 (Dubois et al., 2006), SHV (Adesoji & Ogunjobi, 2016), CTX-M1 (Zeynudin et al., 2018) and class B metallo  $\beta$ -lactamase VIM-4 (Al Laham et al., 2017), VIM-2 (Al Laham et al., 2017), VIM-6 (Khajuria et al., 2013), NDM-1 (Wang et al., 2013), IMP-1 coding genes have been reported in *A. faecalis*. Efflux of the drug are cellular formations that provide resistance to antibiotics. More than 40 genes (tet-genes) encoding tetracycline resistance have been characterized to date, and most of them encode membrane-associated efflux proteins (Møller et al., 2016). The second most common tetracycline resistance flow pump, *tetA* (Møller et al., 2016) was reported in *A. faecalis* isolates. Fluoroquinolones are potent, antibiotics for the cure of severe or resistant infections. However, resistance to fluoroquinolones has been developing in recent years and causes problems in clinical settings. Plasmid-mediated quinolone resistance (PMQR) genes cause resistance to fluoroquinolones. The first report of this gene is the presence of the *qnrA* gene on the plasmid in *K. pneumoniae*. (Redgrave et al., 2014). Fluoroquinolones resistant *A. faecalis* isolates have been reported in Angola (Filipe et al., 2017).

In this paper, it was focused to determine the antibiotic resistance pattern and analyze the transferability of the resistance in *A. faecalis* isolated from the urine sample of a patient in Trabzon Fatih State Hospital in Türkiye.

## 2. Material and method

### 2.1. Bacterial strain and antimicrobial susceptibility test

From urine cultures taken in 2017 at Trabzon Fatih State Hospital, an *A. faecalis* clinical strain was identified. Utilizing the VITEK system 2 Compact automated system (biomerieux, France), the strain's biochemistry was identified, and tests for antibiotic susceptibility were run.

The results were verified using 16S rDNA (Primers 27F: AGAGTTTGATCMTGGCTCAG, 1492R GGYTACCTTGTTACGACTT used in 16S rDNA). Antibiotic susceptibility testing was conducted using cefepime, aztreonam, piperacillin, ceftazidime, imipenem, meropenem, amikacin, gentamicin, netilmicin, tobramycin, ciprofloxacin, and colistin. The results were assessed in accordance with the EUCAST 2017 guidelines (EUCAST, 2017).



## 2.2. Total DNA isolation

The isolate was inoculated into 3 ml of antibiotic-free Luria-Bertani (LB) medium and incubated overnight at 37°C for 16 hours. The sample's DNA was extracted from the bacterial culture using the boiling procedure. A 1 minute, 10,000 rpm centrifugation was performed on 1 ml of the culture. After discarding the supernatant and washing the pellet once in 1 mL of sterile water, the pellet was given another 1 mL of sterile water. The suspension was centrifuged for 10 minutes at a speed of 13000 rpm after boiling it for 10 minutes at 100 °C. The supernatant was stored for use in PCR after centrifugation (Çiçek et al., 2013).

## 2.3. Detection of antibiotic resistance genes and integrons by PCR

*bla*<sub>OXA-23</sub>, *bla*<sub>OXA-24</sub>, *bla*<sub>OXA-48</sub>, *bla*<sub>OXA-58</sub>, *bla*<sub>VIM</sub>, *bla*<sub>VEB</sub>, *bla*<sub>GIM</sub>, *bla*<sub>PER</sub>, *bla*<sub>IMP</sub>, *bla*<sub>GES</sub>, *bla*<sub>TEM</sub>, *bla*<sub>SHV</sub>, *bla*<sub>CTXM-1</sub>, *bla*<sub>CTXM-2</sub>, *bla*<sub>NDM</sub>, *bla*<sub>SIM</sub>, *qnrA*, *qnrB*, *qnrS*, *aac6-Ib* and integrons primers used in the PCR reaction (Table 1). Reaction buffer (5 µL), MgCl<sub>2</sub> (3 µL 25 mM), dNTP (1 µL 4 mM), primers 10mM (1 µL), genomic DNA (5 µL), and GO Taq polymerase (1 U) were prepared to a final volume of 50 microliters. PCR products were run on an ethidium bromide-containing 1% agarose gel and then visualized using UV light and the outcomes were assessed in light of the positive controls' molecular weights, which were discovered to include antibiotic resistance genes in earlier investigations.

**Table 1.** Primers Used in Polymerase Chain Reaction

Primer	5'-3'	References
<i>bla</i> <sub>OXA-48</sub>	F: TTGGTGGCATCGATTATCGG R: AGCACTTCTTTTGTGATGGC	Iraz et al., 2014
<i>bla</i> <sub>OXA-23</sub>	F: GATCGGATTGGAGAACCAGA R: ATTTCTGACCGCATTTCAT	Woodford et al., 2006
<i>bla</i> <sub>OXA-24</sub>	F: GGTTAGTTGGCCCCCTTAAA R: AGTTGAGCGAAAAGGGGATT	Woodford et al.,2006
<i>bla</i> <sub>OXA-58</sub>	F: AAGTATTGGGGCTTGTGCTG R: CCCCTCTGCGCTCTACATAC	Woodford et al.,2006
<i>bla</i> <sub>GES</sub>	F: ATGCGCTTCATTCACGCAC R: CTATTTGTCCGTGCTCAGGA	Moubareck et al.,2009
<i>bla</i> <sub>VEB</sub>	F:ATTCCCGATGCAAAGCGT R: TTATTCCGGAAGTCCCTGT	Moubareck et al., 2009
<i>bla</i> <sub>PER-2</sub>	F: ATGAATGTCATCACAAAATG R: TCAATCCGGACTCACT	Celenza et al.,2006
<i>bla</i> <sub>IMP</sub>	F: CATGGTTTGGTGGTTCTTGT R: ATAATTTGGCGGACTTTGGC	Jeon et al.,2005
<i>bla</i> <sub>VIM</sub>	F: ATTGGTCTATTTGACCGCGTC R: TGCTACTCAACGACTGAGCG	Jeon et al.,2005
<i>bla</i> <sub>NDM-1</sub>	F: GAGATTGCCGAGCGACTTG R: CGAATGTCTGGCAGCACACTT	Cicek et al.,2014
<i>qnrS</i>	F: ACGACATTCGTCAACTGCAA R: TCTAAACCGTCGAGTTCGGCG	Vasilaki et al.,2008; Cattoir et al.,2007
<i>qnrA</i>	F: AGAGGATTTCTCACGCCAGG R: CCAGGCACAGATCTTGAC	Vasilaki et al.,2008
<i>qnrB</i>	F: GGMATHGAAATTCGCCACTG R: TTTGCGYGYCGCCAGTCGAA	Cattoir et al.,2007
<i>bla</i> <sub>TEM</sub>	F: AGTATTCAACATTTYCGTGT R: TAATCAGTGAGGCACCTATCTC	Copur Cicek et al.,2013a
<i>bla</i> <sub>SHV</sub>	F: ATGCGTTATATTCGCCTGTG R: TTAGCGTTGCCAGTGCTC	Copur Cicek et al.,2013a
<i>bla</i> <sub>CTX-M1</sub>	F: GCGTGATAACCACTTCACCTC R: TGAAGTAAGTGACCAGAATC	Copur Cicek et al.,2013a
<i>bla</i> <sub>CTX-M2</sub>	F: TGATACCACCACGCCGCTC R: TATTGCATCAGAAAACCGTGGG	Copur Cicek et al.,2013a
<i>bla</i> <sub>GIM</sub>	F: TCGACACACCTTGGTCTGAA R: AACTTCCAACCTTGCCATGC	Ellington vd., 2007; Woodford 2010
<i>bla</i> <sub>SIM</sub>	F: TACAAGGGATTTCGGCATCG R: TAATGGCCTGTTCCCATGTG	Ellington et al.,2007; Woodford 2010
<i>int1</i>	F: ACATGTGATGGCGACGCACGA R: ATTTCTGTCTGGCTGGCGA	Copur Cicek et al.,2013b
<i>int2</i>	F: CACGGATATGCGACAAAAGGT R: GTAGCAAACGAGTGACGAAATG	Copur Cicek et al.,2013b

## 2.4. Cloning of *bla*<sub>VIM-type</sub> Metallo-Beta Lactamase Gene

A cloning experiment was performed to detect genes encoding *bla*<sub>VIM-like</sub> in our strain. Ligation experiment was performed according to the guide in the kit (pGEM®-T Easy Vector Systems, A1360). Ligation Product was transferred to *E. coli* DH5a strain and DNA isolation was performed from positive plasmids obtained after transformation. All plasmid DNAs were sent to Sentegen (Ankara) for DNA sequence analysis. Sequence results were evaluated using the CLUSTAL W and BLAST bioinformatics programs. The DNA sequence was uploaded to GenBank.

## 2.5. Transferability of antibiotic resistance by conjugation

The resistance transfer test was carried out using conjugation experiments. (Rice et al., 1990). Equal amounts of the donor (*A. faecalis*) and receiver (*E. coli* K-12 strain J53-2) bacteria were planted in antibiotic-free Luria-Bertani media before being cultured at 37°C for 20 hours. After incubation, transconjugants were identified using Eosin-Methylene Blue (EMB) agar.

## 3. Results and discussion

*A. faecalis* was isolated from urine culture. Both molecular and biochemical techniques were used to identify isolated *A. faecalis*. The isolate underwent a VITEK test for antibiotic susceptibility, and the outcomes were assessed in accordance with EUCAST 2017 (EUCAST 2017). The isolate was positive for resistance to ceftazidime, cefepime, imipenem, amikacin, gentamicin, netilmicin, tobramycin, ciprofloxacin, and levofloxacin in the antibiotic susceptibility test. The strain was found to be moderately sensitive to aztreonam and meropenem. Additionally, piperacillin and colistin were effective against *A. faecalis*. (Table 2). PCR was used to check for  $\beta$ lactamase genes (*bla*<sub>OXA-23</sub>, *bla*<sub>OXA-24</sub>, *bla*<sub>OXA-48</sub>, *bla*<sub>OXA-58</sub>, *bla*<sub>VIM</sub>, *bla*<sub>VEB</sub>, *bla*<sub>GIM</sub>, *bla*<sub>PER</sub>, *bla*<sub>IMP</sub>, *bla*<sub>GES</sub>, *bla*<sub>TEM</sub>, *bla*<sub>SHV</sub>, *bla*<sub>CTXM-1</sub>, *bla*<sub>CTXM-2</sub>, *bla*<sub>NDM</sub>, *bla*<sub>SIM</sub>), quinolone resistance genes (*qnrA*, *qnrB* and *qnrS*) and Class I and II integrons. The strain was found to carry the *qnrB* (Figure 1). The isolate was also class I integron positive.

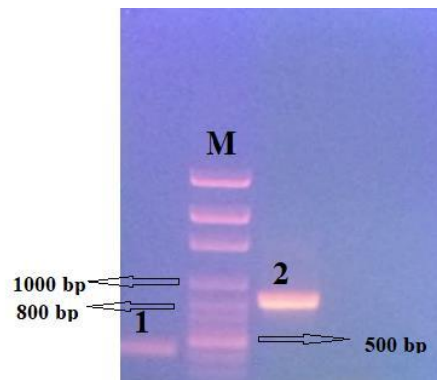
**Table 2.** Antibiotic susceptibility profile of *A. faecalis*

Antibiotics	MIC ( $\mu$ g/mL)	R/S/I
Piperacillin	16	S
Ceftazidime	$\geq 64$	R
Cefepime	$\geq 32$	R
Aztreonam	16	I
Imipenem	$\geq 16$	R
Meropenem	8	I
Amikacin	$\geq 64$	R
Gentamicin	8	R
Netilmicin	$\geq 32$	R

R/S/I values were evaluated according to EUCAST.

(R:Resistant, S: sensitive, I: moderately sensitive)

Among the  $\beta$ lactamase resistance genes investigated, the strain carried only VIM-type metallo- $\beta$  lactamase (Figure 1). After being cloned into the pGEMT, the *bla*<sub>VIM</sub> gene was forwarded for sequencing analysis. The sequence result showed that this gene was 99% similar *bla*<sub>VIM-4</sub>. A single amino acid was found to be different between VIM-like and VIM-4. (A265V). Therefore, this VIM-like was found to be the new VIM variant and it is named to VIM-4-like. The nucleotide sequence of the VIM-4-like was uploaded to the Genebank (accession number: MN792829).



**Figure 1.** PCR gel image of samples (1:qnrB, M: Marker, 2 :VIM)

Conjugation experiments were performed between *A. faecalis* and *E.coli* K-12 strain J53-2 and no transconjugant was obtained.

The gram-negative, oxidase-positive, rod-shaped *A. faecalis* is classified as an environmental bacterium and rarely causes clinically important infections in humans (Kahveci et al., 2011). The most frequent reason for technical failure in peritoneal dialysis (PD) is likely peritonitis, a major side effect of PD. 16% of individuals with PD die as a result of this infection (Szeto et al., 2011). *A. faecalis* peritonitis was reported in two cases of PD from Türkiye. These patients recovered under antimicrobial therapy alone, and catheter removal was not necessary. (Kavuncuoglu et al., 2010; Kahveci et al., 2011).

*A. faecalis* that was resistant to carbapenems, polymyxins, and even tigecycline was isolated in the blood culture of a 60-year-old female patient with a history of diabetes mellitus and hypertension in the ICU of a hospital in Bangladesh (Hasan et al., 2019). Skin and soft tissue infections from the University of Guadalajara Hospital (Spain) were examined and *A. faecalis* was isolated from five patients. As a result of this study, it was reported that in particular, post-operative patients and individuals with vascular disorders should be aware of this organism's potential pathogenicity (Tena et al., 2015).

In this study, *A. faecalis* that was resistant to ceftazidime, cefepime, imipenem, amikacin, gentamicin, netilmicin, tobramycin, ciprofloxacin, and levofloxacin was isolated from a flaxide tetraplasy patient in Türkiye.

Fluoroquinolone (ciprofloxacin, levofloxacin), cephalosporin (cefepime, ceftazidime, cefotaxime), aminoglycoside (gentamisin, tobramycin), carbapenem (imipenem, meropenem), penicillin (ampicillin, piperacillin),  $\beta$ -lactam/ $\beta$ -lactamase inhibitor combination (amoxicillin-clavulanate, piperacillin-tazobactam), aztreonam, trimethoprim-sulfamethoxazole, chloramphenicol, tetracycline resistance has been observed in different *A. faecalis* isolates from Angola, Bangladesh, Spain (Filipe et al., 2017; Hasan et al., 2019; Tena et al., 2015).

Because quinolones are frequently used to treat urinary tract infections, there has been an increase in quinolone resistance. Many distinct enterobacterial species, including *K. pneumoniae*, *Enterobacter* spp., *E. coli*, and *Salmonella enterica* isolates, have been identified to carry the genes *qnrA*, *qnrB*, and *qnrS*. (Poirel et al., 2012). *qnrB* genes are more common than other *qnr* genes. *A. faecalis* clinic isolate had *qnrB* found in this paper. The resistance of the strain to fluoroquinolones such as ciprofloxacin and levofloxacin may be associated with the presence of *qnrB*.

Five isolates carrying VIM from Gaza were found to be intermediate resistant or resistant to imipenem, but susceptible to meropenem except one isolate (Al Laham et al., 2017). Similar to this result, we determined that the isolate we studied was resistant to imipenem and intermediate resistant to meropenem. This is likely to be the result of the effect of the VIM type carbapenemase on carbapenem susceptibility profile. Because VIM type carbanemases have higher imipenem hydrolysis activities than those of meropenem (Al Laham et al., 2017).

By facilitating horizontal gene transfer between Gram-negative bacteria, integrons, one of the mobile element types referred to as natural gene capture systems in bacteria, are crucial in the spread of antibiotic

resistance. (Copur Çiçek et al., 2013). Using primers tailored to conserved areas, the presence of class I and class II integrons in the *A. faecalis* isolate was examined. It was discovered that the isolate only possessed a class I integron. This non-fermentative uncommon Gram negative bacterium had class I and class II integrons with various gene cassette arrays, and the origin of these integrons was chromosomal or plasmid. (Al Laham et al., 2017; Adelowo & Fagade, 2012; Agersø & Sandvang, 2005; Barlow et al., 2008). The presence of *aac6-Ib* gene in *A. faecalis* isolate which was resistant to the tested aminoglycoside antibiotics was investigated by PCR and the gene was not found. Another allele of aminoglycoside acetyltransferase or one of the other aminoglycoside modifying enzymes may cause aminoglycoside resistance in this strain. Only the subclass B1 metallo beta lactamase encoding *bla<sub>VIM</sub>* was detected among the investigated genes (*bla<sub>OXA-23</sub>*, *bla<sub>OXA-24</sub>*, *bla<sub>OXA-48</sub>*, *bla<sub>OXA-58</sub>*, *bla<sub>VIM</sub>*, *bla<sub>VEB</sub>*, *bla<sub>GIM</sub>*, *bla<sub>PER</sub>*, *bla<sub>IMP</sub>*, *bla<sub>GES</sub>*, *bla<sub>TEM</sub>*, *bla<sub>SHV</sub>*, *bla<sub>CTXM-1</sub>*, *bla<sub>CTXM-2</sub>*, *bla<sub>NDM</sub>*, *bla<sub>SIM</sub>*, *qnrA*, *qnrB*, *qnrS*) in *A. faecalis* isolate. The sequence result of *bla<sub>VIM</sub>* showed that this sequence was 99% differ from VIM-4 with one amino acid substitution (A265V). This amino acid exchange of VIM-type metallo  $\beta$ -lactamases has not previously been observed in *A. faecalis*. According to our knowledge, VIM-4-like with A265V amino acid substitution was found for the first time in *A. faecalis* in Türkiye. In previous studies, new allele of VIM type metallo  $\beta$ lactamases (VIM-5, VIM-38) have been reported in *P. aeruginosa* in Türkiye (Iraz et al., 2014). There was an amino acid difference between VIM-5 and VIM-38, which was A265V. Results of a study that characterized the kinetic and biochemical properties of VIM-5 and VIM-38 revealed that they had remarkably similar catalytic activities against  $\beta$ -lactam substrates (Makena et al., 2015).

In a study, the conjugation assay was performed using the clinical strain *A. faecalis* Af1930 (with *bla<sub>TEM-21</sub>* gene) as donor and azide resistant *Escherichia coli* C600, rifampicin and nalidixic acid resistant *E. coli* K12 or rifampicin resistant mutant *P. aeruginosa* ATCC 27853 strains as recipient. As a result of this study, ESBL producing transconjugant could not be obtained. In addition, the plasmid was isolated from Af1930 could not be transferred to *E. coli DH5 $\alpha$*  (Dubois et al., 2006). In another study, it was found that *tetA* and *int1* genes from *A. faecalis* can be transferred together to *Pseudomonas putida* by conjugation. *A. faecalis* with conjugative plasmid was isolated from manured soil and pigsty environment. This suggests that *A. faecalis* contribute to the horizontal transfer of resistance genes. (Agersø & Sandvang, 2005). As a result of our conjugation experiment using *A. faecalis* isolate harboring the VIM-4-like gene (as a donor) and *E. coli* strain (as a recipient), we could not obtain any transconjugate. These two results suggest that the *bla<sub>VIM-4-like</sub>* gene and other identified genes (*qnrB*, class I integron gene cassette) are of chromosomal origin. In contrast to our results, VIM-4 was found in integron originated from plasmid (Al Laham et al., 2017).

#### 4. Conclusions

In *A. faecalis* isolate derived from clinical sample, antibiotic resistance was identified. Although not regularly, infections brought on by *A. faecalis* isolates resistant to antibiotics have been documented from various parts of the world. *A. faecalis* has been shown to have  $\beta$ -lactamases such PER-1, TEM-21, SHV, CTX-M1, VIM-4, VIM-2, VIM-6, NDM-1, and IMP-1 that lead to  $\beta$ -lactam resistance. Our study is the first to document the existence of an *A. faecalis* isolate harboring VIM in Türkiye.

#### Acknowledgement

Under the project number 18.F5119.03.02, the Gümüşhane University Scientific Research Project Fund is funding this work.

#### Author contribution

Azer Özad Düzgün, Ayşegül Saral Sariyer and Esmâ Akyıldız carried out the experiment and wrote the manuscript with support from Fatih Şaban BERİŞ. Tuba Köse and Mikail Arslan collected the strains and performed antibiograms.

#### Declaration of ethical code

We hereby undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the

aforementioned penalties can be carried out under the heading "Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics".

Ethics Committee decision date; 08.11.2017 and number: 23618724

### Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

### References

- Adelowo, O.O., & Fagade, O.E. (2012). Phylogenetic characterization, antimicrobial susceptibilities, and mechanisms of resistance in bacteria isolates from a poultry waste-polluted river, southwestern Nigeria. *Turkish Journal of Biology*, 36:37-45. <https://doi.org/10.3906/biy-1010-145>
- Adesoji, A.T., & Ogunjobi, A.A. (2016). Detection of extended spectrum beta-lactamases resistance genes among bacteria isolated from selected drinking water distribution channels in southwestern Nigeria. *BioMed research international*, 7149295. <https://doi.org/10.1155/2016/7149295>.
- Agersø, Y., & Sandvang, D. (2005). Class I integrons and tetracycline resistance genes in *Alcaligenes*, *arthrobacter*, and *pseudomonas* spp. isolated from pigsties and manured soil. *Applied And Environmental Microbiology*, 71(12),7941-7. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.12.7941-7947.2005>.
- Al Laham, N., Chavda, K.D., Cienfuegos-Gallet, A.V., Kreiswirth, B.N., & Chen, L. (2017). Genomic characterization of vim metallo- $\beta$ -lactamase-producing *Alcaligenes faecalis* from Gaza, Palestine. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 61(11),e01499-17. <https://doi.org/10.1128/AAC.01499-17>.
- Ashwath, M.L., & Katner, H.P. (2005). Pancreatic abscess secondary to *Alcaligenes faecalis*. *The American Journal of the Medical Sciences*, 329(1),54-5. <https://doi.org/10.1097/00000441-200501000-00011>.
- Barlow, R.S, Fegan, N., & Gobius, K.S. (2008). A comparison of antibiotic resistance integrons in cattle from separate beef meat production systems at slaughter. *Journal of Applied Microbiology*, 104(3),651–58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03572.x>.
- Bush, K. (2010). Bench-to-bedside review: The role of beta-lactamases in antibiotic-resistant Gram-negative infections. *Critical Care*, 14(3),224. <https://doi.org/10.1186/cc8892>.
- Bush, K. (2018). Past and present perspectives on  $\beta$ -Lactamases. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 62:e01076-18. <https://doi.org/10.1128/AAC.01076-18>.
- Cattoir, V., Poirel, L., Rotimi, V., Soussy, C.J., & Nordmann, P. (2007). Multiplex PCR for detection of plasmid-mediated quinolone resistance qnr genes in ESBL-producing enterobacterial isolates, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 60(2),394-7. <https://doi.org/10.1093/jac/dkm204>.
- Celenza, G., Pellegrini, C., Caccamo, M., Segatore, B., Amicosante, G., & Perilli, M. (2006). Spread of *bla*<sub>CTX-M-type</sub> and *bla*<sub>PER-2</sub>  $\beta$ -lactamase genes in clinical isolates from Bolivian hospitals, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 57 (5), 975-8. <https://doi.org/10.1093/jac/dkl055>
- Cicek, A.C., Saral, A., Iraz, M., Ceylan, A., Duzgun, A.O., Peleg, A.Y., & Sandalli, C. (2014). OXA and GES-type  $\beta$ -lactamases predominate in extensively drug-resistant *Acinetobacter baumannii* isolates from a Turkish University Hospital. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(5),410-5. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12338>.
- Copur Cicek, A., Saral, A., Ozad Duzgun, A., Yasar, E., Cizmeci, Z., Balci, P.O., Sari, F., Firat, M., Altintop, Y.A., Ak, S., Caliskan, A., Yildiz, N., Sancaktar, M., Budak, E.E., Erturk, A., Ozgumus, O.B., & Sandalli, C. (2013). Nationwide study of *Escherichia coli* producing extended-spectrum  $\beta$ -lactamases TEM, SHV and CTX-M in Turkey, *The Journal of Antibiotics (Tokyo)*, 66(11),647-50. <https://doi.org/10.1038/ja.2013.72>.
- Cury, J., Jové, T., Touchon, M., Néron, B., & Rocha, E.P. (2016). Identification and analysis of integrons and cassette arrays in bacterial genomes, *Nucleic Acids Research*, 44(10),4539-50. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw319>
- Çiçek, A.Ç., Düzgün, A.Ö., Saral, A., Kayman, T., Çizmeci, Z., Balcı, P.Ö., Dal, T., Fırat, M., Tosun, İ., Alıntop, Y.A., Çalışkan, A., Yazıcı, Y., & Sandallı, C. (2013a). Detection of class I integron in *Acinetobacter baumannii*

isolates collected from nine hospitals in Turkey. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(9),743-7. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60149-5](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60149-5).

- Cicek, A. C., Saral, A., Duzgun, A. O., Cizmeci, Z., Kayman, T., Balci, P. O., Dal, T., Firat, M., Yazici, Y., Sancaktar, M., Ozgumus, O. B., & Sandalli, C. (2013b). Screening of Class 1 and Class 2 integrons in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa* collected from seven hospitals in Turkey: A multicenter study. *Open Journal of Medical Microbiology*, 3, 227-233. <https://doi.org/10.4236/ojmm.2013.34034>
- De Paiva, MC. (2015). Diversidade de bactérias, genes de resistência a quinolonas e abundância do gene intI1 em uma estação de tratamento de esgoto revelada por abordagens de cultivo e metagenômica (Doctorate, Universidade Federal de Minas Gerais).
- Doi, Y., Wachino, J.I., & Arakawa, Y. (2016). Aminoglycoside Resistance: The Emergence of Acquired 16S Ribosomal RNA Methyltransferases. *Infectious Disease Clinics of North America*, 30(2),523-537. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2016.02.011>.
- Dubois, V., Arpin, C., Coulanges, L., Andre, C., Noury, P., & Quentin, C. (2006). TEM-21 extended-spectrum  $\beta$ -lactamase in a clinical isolate of *Alcaligenes faecalis* from a nursing home. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 57(2),368-9. <https://doi.org/10.1093/jac/dki450>.
- Ellington, M.J., Kistler, J., Livermore, D.M., & Woodford, N. (2007). Multiplex PCR for rapid detection of genes encoding acquired metallo  $\beta$ -lactamases, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 59(2),321-2. <https://doi.org/10.1093/jac/dkl481>.
- EUCAST, (2017). The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters. Version 8.0, <http://www.eucast.org>.
- Filipe, M., Reimer, A., Matuschek, E., Paul, M., Pelkonen, T., & Riesbeck, K. (2017). Fluoroquinolone-Resistant *Alcaligenes faecalis* related to chronic suppurative otitis media, Angola. *Emerging Infectious Diseases*, 23(10):1740-1742. <https://doi.org/10.3201/eid2310.170268>.
- Hasan, M.J., Nizhu, L.N., & Rabbani, R. (2019). Bloodstream infection with pandrug-resistant *Alcaligenes faecalis* treated with double-dose of tigecycline. *IDCases*; 15;18:e00600. <https://doi.org/10.1016/j.idcr.2019.e00600>.
- Hidalgo del Río, L. (2014). Identification and characterization of an emergent aminoglycoside resistance mechanism the 16S rRNA methyltransferases (Doctorate, Memoria Para Optar Al Grado De Doctor)
- Iraz, M., Duzgun,A.O., Cicek, A.C., Bonnin, R.A., Ceylan, A., Saral, A., Nordmann, P., & Sandalli, C. (2014). Characterization of novel VIM carbapenemase, VIM-38, and first detection of GES-5 carbapenem-hydrolyzing  $\beta$ -lactamases in *Pseudomonas aeruginosa* in Turkey. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 78(3),292-4. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2013.12.003>.
- Jeon, B.C., Jeong, S.H., Bae, I.K., Kwon, S.B., Lee, K., Young, D., Lee, J.H., Song, J.S., & Lee, S.H. (2005). Investigation of a nosocomial outbreak of imipenem- resistant *Acinetobacter baumannii* producing the OXA-23  $\beta$ -lactamase in Korea. *Journal of Clinical Microbiology*, 43(5),2241-5. <https://doi.org/10.1128/JCM.43.5.2241-2245.2005>.
- Kahveci, A., Ascioglu, E., Tigen, E., Ari, E., Arikan, H., Odabasi, Z., & Ozener, C. (2011). Unusual causes of peritonitis in a peritoneal dialysis patient: *Alcaligenes faecalis* and *Pantoea agglomerans*. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*,10:12. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-10-12>.
- Kavuncuoglu, F., Unal, A., Oguzhan, N., Tokgoz, B., Oymak, O., & Utas, C. (2010). First reported case of *Alcaligenes faecalis* peritonitis. *Peritoneal Dialysis International*, 30(1),118-9. <https://doi.org/10.3747/pdi.2009.00058>.
- Khajuria, A., Praharaj, A.K., Kumar, M., & Grover, N. (2013). Emergence of VIM-6 metallo-beta-lactamase-producing *Alcaligenes faecalis* clinical isolates in a hospital in India. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 7(6),494-6. <https://doi.org/10.3855/jidc.3556>.
- Khokhar, D.S., Sethi, H.S., Kumar, H., Sudan, R., Sharma, N., & Nayak, N. (2002). Postkeratoplasty endophthalmitis by *Alcaligenes faecalis*. *Cornea*, 21(2),232-3. <https://doi.org/10.1097/00003226-200203000-00024>.
- Makena, A., Düzgün, A.Ö., Brem, J., McDonough, M.A., Rydzik, A.M., Abboud, M.I., Saral, A., Çiçek, A.Ç., Sandalli, C., & Schofield, C.J. (2015). Comparison of Verona Integron-Borne Metallo- $\beta$ -Lactamase (VIM) Variants

Reveals Differences in Stability and Inhibition Profiles. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 60(3),1377-84. <https://doi.org/10.1128/AAC.01768-15>.

- Mantengoli, E., & Rossolini, G.M. (2005). Tn5393d, a complex Tn5393 derivative carrying the PER-1 extended-spectrum beta-lactamase gene and other resistance determinants. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(8),3289-96. <https://doi.org/10.1128/AAC.49.8.3289-3296.2005>.
- Møller, T.S., Overgaard, M., Nielsen, S.S., Bortolaia, V., Sommer, M.O., Guardabassi, L., & Olsen, J.E. (2016). Relation between tetR and tetA expression in tetracycline resistant *Escherichia coli*. *BMC Microbiology*, 12;16:39. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0649-z>.
- Moubareck, C., Brémont, S., Conroy, M.C., Courvalin, P., & Lambert, T. (2009). GES-11, a novel integron-associated GES variant in *Acinetobacter baumannii*, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 53(8),3579-81. <https://doi.org/10.1128/AAC.00072-09>.
- Pereira, M., Perilli, M., Mantengoli, E., Luzzaro, F., Toniolo, A., Rossolini, G.M., & Amicosante, G. (2000). PER-1 extended-spectrum beta-lactamase production in an *Alcaligenes faecalis* clinical isolate resistant to expanded-spectrum cephalosporins and monobactams from a hospital in Northern Italy. *Microbial Drug Resistance*, 6(1),85-90. <https://doi.org/10.1089/mdr.2000.6.85>.
- Poirel, L., Cattoir, V., & Nordmann, P. (2012). Plasmid-mediated quinolone resistance; interactions between human, animal, and environmental ecologies. *Frontiers in Microbiology*, 2;3:24. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00024>.
- Redgrave, L.S., Sutton, S.B., Webber, M.A., & Piddock, L.J. (2014). Fluoroquinolone resistance: mechanisms, impact on bacteria, and role in evolutionary success. *Trends in Microbiology*, 22(8),438-45. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.04.007>.
- Rice, L.B., Willey, S.H., Papanicolaou, G.A., Medeiros, A.A., Eliopoulos, G.M., Moellering Jr, R.C., & Jacoby, G.A. (1990). Outbreak ceftazidime resistance caused by extended-spectrum  $\beta$  lactamases at Massachusetts chronic care facility. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 34(11),2193-9. <https://doi.org/10.1128/AAC.34.11.2193>.
- Szeto, C.C., Kwan, B.C., Chow, K.M., Pang, W.F., Kwong, V.W., Leung, C.B., & Li, P.K. (2011). Persistent symptomatic intra-abdominal collection after catheter removal for PD-related peritonitis. *Peritoneal Dialysis International*, 31(1),34-8. <https://doi.org/10.3747/pdi.2009.00185>.
- Tena, D., Fernández, C., & Lago, M.R. (2015). *Alcaligenes faecalis*: an unusual cause of skin and soft tissue infection. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 68(2),128-30. <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2014.164>.
- Wang, X., Liu, W., Zou, D., Li, X., Wei, X., Shang, W., Wang, Y., Li, H., Huan, Li, Y.W., He, X., Huang, L., & Yuan, J. (2013). High Rate of New Delhi Metallo- $\beta$ -Lactamase 1-Producing Bacterial Infection in China. *Clinical Infectious Diseases*, 56(1),161-2. <https://doi.org/10.1093/cid/cis782>.
- Woodford, N., Ellington, M.J., Coelho, J.M., Turton, J.F., Ward, M.E., Brown, S., Amyes, S.G., & Livermore, D.M. (2006). Multiplex PCR for genes encoding prevalent OXA carbapenemases in *Acinetobacter spp.* *International Journal of Antimicrobial Agents*, 27(4),351-3. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2006.01.004>.
- Wisplinghoff, H. (2017). *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.* and miscellaneous Gram-negative bacilli. In: *Infectious Diseases.e1572*: 1579-1599. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6285-8.00181-7>
- Woodford, N. (2010). Rapid Characterization of  $\beta$ -lactamases by multiplex PCR, In: Gillespie, S.H., McHugh T.D., editors, *Antibiotic Resistance Protocols*, 2th ed. London: Humana Press, Pp:181-92.
- Vasilaki, O., Ntokou, E., Ikonomidis, A., Sofianou, D., Frantidou, F., Alexiou-Daniel, S., Maniatis, A.N., & Pournaras, S. (2008). Emergence of the plasmid-mediated quinolone resistance gene qnrS1 in *Escherichia coli* isolates in Greece, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 52(8),2996-7. <https://doi.org/10.1128/AAC.00325-08>.
- Zeynudin, A., Pritsch, M., Schubert, S., Messerer, M., Liegl, G., Hoelscher, M., Belachew, T., & Wieser, A. (2018). Prevalence and antibiotic susceptibility pattern of CTX-M type extended-spectrum  $\beta$ -lactamases among clinical isolates of gram-negative bacilli in Jimma, Ethiopia. *BMC Infectious Diseases*, 18(1),524. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3436-7>.



## Bir yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetleri için bir geometrik süreç yaklaşımı

*A geometric process approximation for debugging and testing costs of a software product*

Mustafa Hilmi PEKALP\*<sup>1,a</sup> , Halil AYDOĞDU<sup>2,b</sup> 

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Aktüerya Bilimleri Bölümü, 06590, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 06100, Ankara, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 11.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 15.11.2022

### Öz

Bu çalışmada, bir yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetlerinin hesaplanması amacıyla geometrik süreç (GS) modeli ele alınacaktır. GS model varsayımı altında, yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetleri GS'nin birinci ve ikinci moment fonksiyonlarına bağlı olarak elde edilmektedir. Bu durumda, maliyetlerin hesaplanabilmesi için sürecin birinci ve ikinci moment fonksiyonlarının değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, moment fonksiyonlarının hesabı da hem GS'nin ilk olay zamanının dağılımına hem de model ve dağılım parametrelerinin tahminlerine bağlıdır. Bu çalışmada, gerçek zamanlı bir komut ve kontrol sisteminin 136 hata zamanını içeren veri kümesi için hata ayıklama ve test etme maliyetleri hesap edilecektir. İlgili veri kümesi için daha önceki çalışmalarda ilk olayın gerçekleşme zamanı gamma dağılımına sahip olan bir GS'nin model olarak önerilebileceği gösterilmiştir. Bu nedenle, gamma dağılımı varsayımı altında model parametrelerinin en çok olabirlik tahminleri elde edilmektedir. Model parametrelerinin tahmin değerleri kullanılarak GS'nin birinci ve ikinci moment fonksiyonları, bu fonksiyonlar için önerilen sayısal yöntemler yardımıyla hesaplanmaktadır. Son olarak, veri kümesi için hata ayıklama ve test etme maliyetleri elde edilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Geometrik süreç, Hata ayıklama maliyeti, Moment fonksiyonları, Test etme maliyeti

### Abstract

In this study, the geometric process (GP) model is considered in order to calculate the debugging and testing costs of a software product. Under the assumption of the GP model, the debugging and testing costs of the software product are obtained depending on the first and second moment functions of the GP. It is observed that the values of the first and second moment functions of the process must be known in order to calculate the debugging and testing costs. At the same time, the calculation of moment functions also depends on both the distribution of the first interarrival time of the GP and the estimates of the model and distribution parameters. In this study, the proposed debugging and testing costs are calculated for the data set containing 136 failure times of a real-time command and control system. For this dataset, it has been shown in previous studies that the GP with gamma distribution can be proposed as a model. Under gamma distribution assumption, the maximum likelihood estimates of the model parameters are obtained. Using the estimates of the model parameters, the first and second moment functions of the GP are calculated with the help of the numerical methods proposed for these functions. Finally, the debugging and testing costs are obtained for the data set.

**Keywords:** Geometric process, Debugging cost, Moment functions, Testing cost

\*a Mustafa Hilmi PEKALP; mpekalp@ankara.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Yazılım testi, yazılım ürünlerindeki hataların tespiti için kullanılan etkili ve gerekli bir yöntemdir. Ancak büyük bir yazılım programı içerisindeki tüm birimler üzerinde meydana gelebilecek hataların tespiti için gerçekleştirilen kapsamlı bir test etme işlemi pratik olmayabilir. Hata ayıklama ve test etme süreci hataları azaltırken, ürünün geliştirilmesi için katlanılması gereken maliyeti artıracaktır. Aslında, yazılım iyileştirme sürecinde belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra yazılım güvenilirliğini artırmak için yapılan ek çalışmalar hem maliyette hem de hata ayıklama zamanlarında üstel bir artışa neden olacaktır. Böyle durumlarda test etmeyi bırakma zamanlarının ya da ürünün piyasaya sürülme zamanlarının belirlenmesi önemli bir problem olarak değerlendirilir. Günümüze kadar araştırmacılar, birçok yazılım güvenilirliği modeli üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Model olarak homojen olmayan Poisson sürecinin kullanıldığı çalışma [Pham ve Zhang \(1997\)](#), Markov süreçlerinin kullanıldığı çalışma [Tokuno ve Yamada \(1999\)](#), Bayeşçi istatistiğin kullanıldığı çalışma [Pham ve Pham \(2000\)](#) ve klasik istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı çalışma [Gutjahr \(2015\)](#) literatürdeki önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Yazılım güvenilirliği üzerinde bu kadar yoğun bir araştırma yapılmış olmasına rağmen hata ayıklama ve test etme maliyetlerinin tahmin edilebilmesi ve ürünün hangi zamanda piyasaya sürüleceğinin belirlenmesi için uygulamaya yönelik daha gerçekçi yaklaşımların kullanıldığı model varsayımlarına hâlâ ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ilgili gereksinimi karşılayan, hem hata ayıklama hem de test etme maliyetleri için bir model olarak önerilen GS modeli ele alınacaktır. İlk kez Lam tarafından tanımlanan GS, olasılık ve uygulamalı istatistiğin birçok alanında kullanılan önemli bir sayma sürecidir.

### 1.1. Geometrik süreç

#### 1.1.1. Geometric process

**Tanım 1:**  $X_1$ , ilk olayın gerçekleşme zamanı ve  $X_k, (k - 1)$ . olay gerçekleştikten sonra  $k$ . olay gerçekleşinceye kadar geçen zamanı göstermek üzere  $\{a^{k-1}X_k, k = 1, 2, \dots\}$  birbirlerinden bağımsız ve aynı  $F_1$  dağılım fonksiyonuna sahip rasgele değişkenlerin bir dizisi olacak şekilde bir  $a > 0$  reel sayısı varsa  $\{X_k, k = 1, 2, \dots\}$  dizisi üzerine kurulu bir  $\{N(t), t \geq 0\}$  sayma sürecine  $a$  oranlı bir GS denir. Burada  $F_1$  ilk olayın gerçekleşme zamanının dağılım fonksiyonudur.

$\{N(t), t \geq 0\}$  sayma süreci  $a$  oranlı ve ilk olayın gerçekleşme zamanının dağılımı  $F_1$  olan bir GS olsun. GS'nin tanımına göre,  $X_k$  rasgele değişkeninin dağılım fonksiyonu, ilk olayın gerçekleşme zamanına ait dağılım fonksiyonu ile tek olarak belirlenir. Yani,  $F_k(x) = F_1(a^{k-1}x), k = 1, 2, \dots$ . Buradan  $a < 1$  için GS stokastik artan iken  $a > 1$  için stokastik azalandır sonucuna ulaşılır.  $a = 1$  iken GS bir yenileme süreci olur.

$\{N(t), t \geq 0\}$  sayma süreci  $a$  oran parametresi ile bir GS olmak üzere

$$M_1(t) = E(N(t)), t \geq 0 \quad (1)$$

ile tanımlanan  $M_1$  fonksiyonuna GS'nin ortalama değer fonksiyonu veya kısaca geometrik fonksiyon denir. Burada  $M_1(t), (0, t]$  aralığında gerçekleşen olayların ortalama sayısıdır.  $M_1$  geometrik fonksiyon dağılım fonksiyonlarının konvolüsyonlarına bağlı olarak

$$M_1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_1 * F_2 * \dots * F_k(t), t \geq 0 \quad (2)$$

biçiminde yazılabilir.  $M_1$  fonksiyonu için bir integral denklem, (1) ifadesinin ilk olay zamanı olan  $X_1$  rasgele değişkeni üzerinden koşullandırılması ile

$$M_1(t) = F(t) + \int_0^t M_1(a(t-x))dF(x), t \geq 0 \quad (3)$$

olarak elde edilir. GS modeli için diğer önemli bir karakteristik ise ikinci moment fonksiyonudur.  $\{N(t), t \geq 0\}$  sayma süreci  $a$  oran parametresi ile bir GS olmak üzere

$$M_2(t) = E(N^2(t)), t \geq 0 \quad (4)$$

ile tanımlanan  $M_2$  fonksiyonuna GS'nin ikinci moment fonksiyonu denir.  $M_2$  ikinci moment fonksiyonu dağılım fonksiyonlarının konvolüsyonlarına bağlı olarak

$$M_2(t) = 2 \sum_{k=1}^{\infty} k(F_1 * F_2 * \dots * F_k(t)) - \sum_{k=1}^{\infty} F_1 * F_2 * \dots * F_k(t), t \geq 0 \quad (5)$$

biçiminde yazılabilir. GS'nin ikinci moment fonksiyonunun sağladığı bir integral denklem aşğıdaki teorem ile verilir.

**Teorem 1:**  $\{N(t), t \geq 0\}$  sayma süreci  $a$  oranlı bir GS olsun. (4) ifadesinin ilk olay zamanı olan  $X_1$  rasgele değişkeni üzerinden koşullandırılması ile  $M_2$  ikinci moment fonksiyonu için

$$M_2(t) = 2M_1(t) - F(t) + \int_0^t M_2(a(t-x)) dF(x), t \geq 0 \quad (6)$$

integral denklemini elde edilir (Pekalp & Aydoğdu, 2018).

$a \leq 1$  için GS'nin her mertebeden momentleri sonlu olduğundan her  $t \geq 0$  için  $M_1(t)$  ve  $M_2(t)$  fonksiyonları sonludur.  $a > 1$  iken  $\theta = \inf\{x: F_1(x) > F_1(0)\}$  olmak üzere  $t > \frac{a\theta}{a-1}$  için  $M_1(t)$  ve  $M_2(t)$  fonksiyonları sonlu değildir (Lam, 2007).

## 1.2. Literatür taraması

### 1.2 Literature review

$M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarının (2) ve (5) denklemlerinde verilen dağılım fonksiyonlarının konvolüsyonlarına dayalı tanımları dikkate alındığında,  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarının analitik olarak elde edilemeyeceği görülmektedir. Bu nedenle bu fonksiyonların sayısal yöntemler yardımıyla hesaplanması gerekmektedir.  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarının hesabı için Aydoğdu ve Altındağ (2015) çalışmasında Monte Carlo tahmin yöntemine dayalı bir prosedür uygulanmıştır. Ancak bu yöntemin kullanışlı ve uygulaması kolay bir yöntem olmaması nedeniyle alternatif olarak yamuk integrasyon ve kuvvet serisi açılımı gibi yöntemler ilgili fonksiyonların (3) ve (6) ile verilen integral denklemlerinin sayısal çözümü için ele alınmıştır. Tang ve Lam (2007) çalışmasında  $M_1$  fonksiyonu için ve Pekalp ve Aydoğdu (2018) çalışmasında  $M_2$  fonksiyonu için yamuk integrasyon yöntemini uygulayarak integral denklemlerin çözümlerini vermişlerdir. GS'nin ilk olay zamanının dağılımı literatürde sıklıkla karşılaşılan üstel, gamma, Weibull ve lognormal gibi yaşam dağılımları arasından seçilerek yamuk integrasyon yöntemi örneklendirilmiş ve bununla birlikte üstel dağılım için Aydoğdu vd. (2013), Weibull dağılımı için Aydoğdu ve Karabulut (2014) ve gamma dağılımı için Pekalp ve Aydoğdu (2021),  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonların (3) ve (6) ile verilen integral denklemlerin kuvvet serisi açılımlarını elde etmişlerdir.

$\{N(t), t \geq 0\}$  sayma süreci  $a$  oranlı bir GS,  $E(X_1) = \mu$  ve  $Var(X_1) = \sigma^2$  olsun. Bu durumda  $E(X_k) = \frac{\mu}{a^{k-1}}$  ve  $Var(X_k) = \frac{\sigma^2}{a^{2(k-1)}}$ ,  $k = 1, 2, \dots$  olarak elde edilir. Açık ki  $a, \mu$  ve  $\sigma^2$  parametreleri GS modeli için üç önemli parametredir. Genellikle GS ile ilgili uygulamalarda bu parametrelerin tahmin problemleri ile karşılaşmaktadır. Üstel, gamma, Weibull ve lognormal dağılımlarından biri GS'nin ilk olay zamanının dağılımı olarak ele alınarak  $a, \mu$  ve  $\sigma^2$  parametrelerinin tahmin problemi kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Lam ve Chan (1998) çalışmasında, ilk olay zamanının lognormal dağılıma sahip olduğu varsayımı altında GS için istatistiksel çıkarım problemini ele almıştır. Chan vd. (2004) çalışmasında ilk olay zamanı gamma dağılımına sahip GS için istatistiksel çıkarım problemini incelemiştir. Aydoğdu vd. (2010) ilk olay zamanının Weibull dağılımına sahip olduğu varsayımı altında parametrelerin tahmin edicilerini elde etmişlerdir. Bahsi geçen tüm çalışmalarda araştırmacılar parametreler için en çok olabilirlik tahmin edicilerini önermişlerdir.

Parametre tahmin problemi literatürde sıklıkla kullanılan yaşam dağılımları varsayımları altında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca yukarıdaki ifadelerden de anlaşılacağı üzere GS modeli ilk olay zamanının dağılımı ile tek olarak belirlenmektedir. Bu nedenle, GS'den gelen bir veri kümesini en iyi şekilde temsil eden yaşam dağılımının hangisinin olduğunun belirlenmesi diğer önemli bir problem olarak ele alınabilir. Pekalp vd. (2022) çalışmasında GS ile uyumlu olduğu, yani GS'nin bir model olarak kullanılabildeği bilinen on veri kümesinin hangi dağılım ile en iyi şekilde temsil edileceğini araştırmak amacıyla olabilirlik oranına dayalı T-istatistiğini kullanmışlar ve GS için ilk olay zamanının dağılımını bu kritere göre belirlemişlerdir. Dağılımın belirlenmesinin ardından parametrelerin en çok olabilirlik tahmin değerlerini de hesaplamışlardır.

### 1.3. Motivasyon

#### 1.3 Motivation

Hata ayıklama ve test etme maliyetlerinin belirlenmesi için önerilen bir yazılım modelinin aşağıdaki soruları yazılım geliştirme uzmanları ve yöneticiler için cevaplamaya yardımcı olması beklenir: (1) Yazılım ürününün zamanında teslim edilebilmesi için kaynaklar nasıl kullanılmalıdır? (2) Yazılım geliştirme uzmanları ve yöneticiler ürünün piyasaya ne zaman sürüleceğinin belirlenmesi için yazılım testi aşamasından hangi bilgileri edinmelidir? Bu çalışmada, yukarıdaki soruları cevaplayabilecek bir yazılım modeli olan GS modeli ele alınacak ve böylece GS modeli altında, yazılımın piyasaya sürülmesi için belirlenecek optimal zamanın, toplam yazılım maliyeti kriterine göre değerlendirilmesi yapılacaktır. GS modelinin kullanılmasıyla geleneksel yazılım test etme yöntemlerinden farklı olarak, test aşamasında yazılım hatasının meydana gelmediği zaman bilgisi de model içerisine dâhil edilmiş olacaktır.

Çalışmanın içeriği şu şekilde tasarlanmıştır: 2. Bölümde bir yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetleri için ele alınan problemin ne olduğu ve bu probleme GS modeli ile nasıl bir çözüm sunulduğu verilecektir. 3. Bölümde önerilen maliyet fonksiyonlarının GS modeli altında nasıl hesaplandığına yönelik olarak adım adım uygulama süreci sunulacaktır. 4. Bölümde gerçek zamanlı bir komut ve kontrol sisteminin hata zamanlarını içeren veri kümesi için bir önceki bölümde verilen yöntem uygulanarak ilgili veri kümesi için maliyet fonksiyonları hesap edilecektir. Son bölümde ise çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılacaktır.

### 2. Problemin tanımı

#### 2 Problem description

Yazılım testi, yazılım ürünlerindeki hataları (arızaları) ortadan kaldırmak için güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir. Ancak, büyük bir yazılım programında kapsamlı bir hata ayıklama ve test etme işlemlerinin gerçekleştirilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu işlemler, yazılım ürünündeki hata içeriğini azaltmakta ancak aynı zamanda iyileştirme maliyetlerini de önemli ölçüde artırmaktadır. Aslında, yazılım ürünü belirli bir gelişim düzeyine ulaştıktan sonra, güvenilirliği artırmaya yönelik daha fazla çalışma yapmak, maliyet ve hata ayıklama süresinde çok daha fazla artışa neden olacaktır. Bu nedenle, hata ayıklama ve test etme işlemlerinin ne zaman durdurulacağını veya ürünün ne zaman piyasaya sürüleceğini belirlemek önemlidir (Pham & Wang, 2001). Pham ve Wang (2001) çalışmasında yazılım ürününde meydana gelen hata zamanlarını modellemek için  $a$  oran parametresiyle bir GS modeli  $\{N(t), t \geq 0\}$  önerilmektedir. Burada  $N(t)$ , her sabit  $t \geq 0$  için  $(0, t]$  aralığındaki yazılım hatalarının sayısını belirtir. Bu modelde yazılım hatasını düzeltme maliyetinin  $W_i = c_0 + (i - 1)U, i = 1, 2, \dots$  ile verilen bir rasgele değişken olduğu varsayılır. Burada  $c_0$  sabit bir maliyet değeri iken  $U$ , ortalaması  $c_1$  olan bir rasgele değişkendir. Ortadan kaldırılan veya düzeltilen hataların sayısı arttıkça bir yazılım hatasını düzeltme maliyeti de arttığından bu varsayımın makul olduğunu belirtmekte fayda vardır. Hata ayıklama ve test etme işlemlerinin sonraki aşamalarında ortaya çıkan bir yazılım hatasını düzeltmek zorlaşabilir. Bu durumda  $(0, t]$  aralığında beklenen toplam hata ayıklama maliyeti  $E\left(\sum_{i=1}^{N(t)} (c_0 + (i - 1)U)\right)$  ile verilir.  $N(t)$  rasgele değişkeni üzerinden koşullandırma ile bu maliyet  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarına bağlı olarak

$$C_1(t) = \frac{2c_0 - c_1}{2} M_1(t) + \frac{c_1}{2} M_2(t), t \geq 0 \quad (7)$$

biçiminde yazılabilir. Ayrıca, birim zaman başına test etme maliyetinin, ortalaması  $c_2$  olan bir rasgele değişken olduğunu varsayırsa  $t$  zamanına kadar beklenen toplam test etme ve hata ayıklama maliyeti

$$C_2(t) = tc_2 + C_1(t), t \geq 0 \quad (8)$$

ile verilir.

$C_1(t)$  ve  $C_2(t)$  maliyet fonksiyonlarını (7) ve (8) denklemlerinden hesaplamak için  $t$  zamanına kadar olan yazılım hatalarının sayısının gösteren  $N(t)$  rasgele değişkeninin birinci ve ikinci moment fonksiyonlarının, yani  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarının hesaplanması gerektiği açıktır. Bu fonksiyonların değerleri GS'nin ilk olay zamanının dağılımının belirlenmesiyle bazı önemli yaşam dağılımları için hesaplanabilir. Hesaplama prosedürü bir sonraki bölümde açıklanacaktır.

### 3. Hesaplama yöntemi

#### 3. Calculation procedure

$\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  veri kümesinin  $a$  oran parametresiyle bir GS'den geldiği varsayılınsın.  $C_1(t)$  ve  $C_2(t)$  maliyet fonksiyonlarını hesaplamak için aşağıdaki adımlar uygulanır:

Adım 1. Literatürde en çok karşılaşılan üstel, gamma, Weibull ve lognormal gibi önemli yaşam dağılımlarının, GS'nin ilk olay zamanının dağılımı olduğu varsayılarak  $a$  oran parametresinin ve dağılım parametrelerinin tahmin değerleri hesaplanır. Gamma dağılımı için [Chan vd. \(2004\)](#), Weibull dağılımı için [Aydoğdu vd. \(2010\)](#) ve lognormal dağılım için [Lam ve Chan \(1998\)](#) çalışmaları incelenebilir.

Adım 2. Parametrelerin tahmin değerlerinin kullanılmasıyla önerilen yaşam dağılımlarının olabilirlik fonksiyonları hesaplanır. Dağılımların karşılaştırılması amacıyla değerleri hesaplanan olabilirlik fonksiyonları oranlanır ve doğal logaritması alınarak T-istatistiğinin değeri bulunur. Bu değerin sıfırdan büyük olması pay kısmında verilen dağılımın aksi halde payda kısmında verilen dağılımın ele alınan veri kümesi için seğıilmesi gerektiğini ifade eder. Karşılaştırmalar sonucunda veri kümesini en iyi temsil eden dağılım belirlenir.

Adım 3. Bir önceki adımda belirlenen dağılım varsayımı altında  $a$  oran parametresinin ve dağılım parametrelerinin tahminleri bulunur.

Adım 4. Belirlenen dağılım göz önüne alınarak 1.Bölümde bahsedilen uygun hesaplama yöntemlerinden biriyle  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonları hesaplanır.

Adım 5. Verilen  $t, c_0, c_1$  ve  $c_2$  değerleri için  $C_1(t)$  ve  $C_2(t)$  maliyet fonksiyonları hesaplanır.

### 4. Gerçek veri uygulaması

#### 4. Real data application

Bu bölümde, bir yazılım ürününde meydana gelen hata zamanlarını içeren ve [Musa vd. \(1987\)](#) çalışmasında verilen veri kümesi ele alınmaktadır. Bu veri kümesi, gerçek zamanlı bir komut ve kontrol sisteminin 136 hata zamanını içermektedir. [Lam \(2007\)](#) çalışmasında bu veri kümesinin bir GS modeliyle modellenebileceğini ve GS modeline ait  $a$  oran parametresinin 1'den küçük olduğunu göstermiştir. şimdi bu veri kümesi için  $C_1(t)$  ve  $C_2(t)$  maliyet fonksiyonlarını hesaplamak amacıyla bir önceki bölümde verilen hesaplama prosedürünü uygulayalım: GS'nin ilk olay zamanının dağılımı üstel, gamma, Weibull ve lognormal dağılımları olarak seğıildiğinde GS'nin  $a$  oran parametresinin ve dağılım parametrelerinin tahmin değerleri bulunur. Elde edilen tahminler yardımıyla da bahsi geçen her bir dağılım durumu için olabilirlik fonksiyonlarının değerleri hesaplanır. Gamma dağılımına ait olabilirlik fonksiyonu değer; sırasıyla üstel, Weibull ve lognormal dağılımlarına ait olabilirlik fonksiyonlarının değerlerine oranlanır ve doğal logaritmaları alınarak olabilirlik oranına dayalı T-istatistiğinin değerleri sırasıyla 3.7343, 0.9483 ve 22.7349 olarak elde edilir ([Pekalp vd., 2022](#)). T-istatistiğinin değerleri göz önüne alındığında ilgili veri kümesinin şekil parametresi  $\alpha$  ve ölçek parametresi  $\beta$  olan gamma dağılımına sahip bir GS'den geldiği sonucuna ulaşılır. Bu durumda ilk olayın gerçekteşme zamanı  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleriyle gamma dağılımına sahip olan  $a$  oran parametrelili GS için parametrelerin en çok olabilirlik tahmin değerleri  $\hat{\alpha} = 0.9771$ ,  $\hat{\beta} = 0.7604$  ve  $\hat{a} = 123.7110$  olarak hesaplanır ([Pekalp vd., 2022](#)). İlk olay zamanının dağılımı gamma dağılımı olduğundan  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonları, [Pekalp ve Aydoğdu \(2021\)](#) çalışmasında önerilen kuvvet serisi açılımına göre hesaplanabilir. Parametrelerin tahmin değerlerinin [Pekalp ve Aydoğdu \(2021\)](#) çalışmasında önerilen kuvvet serisinde kullanılmasıyla verilen  $t = 20$  için  $M_1$  ve  $M_2$  fonksiyonlarının değerleri sırasıyla 0.3005 ve 0.4068 olarak bulunur.  $c_0 = 12.5, c_1 = 1$  ve  $c_2 = 1.2$  olarak alındığında  $C_1(t)$  ve  $C_2(t)$  maliyet fonksiyonları sırasıyla 4.1099 ve 28.1099 olarak hesaplanır. Açıkıtır ki, bu yazılım ürününün (0,20] aralığında beklenen toplam hata ayıklama maliyeti 4.1099 birim iken  $t = 20$  zamanına kadar beklenen toplam test etme ve hata ayıklama maliyeti 28.1099 birim olarak bulunmuştur. Yazılım geliştirme uzmanları ve yöneticiler hesaplanan bu maliyetleri, şirket bütçelerine göre yorumlayarak test etmeyi bırakma zamanlarının ya da ürünün piyasaya sürülme zamanlarının belirlenmesi problemlerini değerlendirebileceklerdir.

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Bu çalışmada bir yazılım ürününün hata ayıklama ve test etme maliyetlerinin belirlenmesi amacıyla  $a$  oran parametresi ile bir GS modeli ele alınmıştır. Yazılımın test edilmesi aşamasında bir hatayı düzeltme maliyetinin deterministik ve rasgele terim içeren parçalardan oluştuğu ve giderilen hata sayısı arttıkça hatayı düzeltme maliyetinin de arttığı varsayılmıştır. Bu varsayım, sonraki test aşamalarında tespit edilen bir hatayı düzeltmenin genellikle zor olabileceği gerçeğiyle doğrulanmaktadır. Hata ayıklama ve test etme maliyetleri GS modeli altında ayrı ayrı ele alınmış ve GS modelinin birinci ve ikinci moment fonksiyonlarına bağlı olarak elde edilmişlerdir. Böylece birinci ve ikinci moment fonksiyonlarının hesap edilmesiyle hata ayıklama ve test etme maliyetlerinin de hesap edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Gerçek zamanlı bir komut ve kontrol sisteminin 136 hata zamanını içeren veri kümesi için öncelikle GS'nin ilk olay zamanının belirlenmesi problemi ele alınarak, doğrulanana dağılım için model parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin değerleri bulunmuştur. Bu tahminler yardımıyla sürecin birinci ve ikinci moment fonksiyonları hesaplanarak ilgili veri kümesi için hata ayıklama ve test etme maliyetleri bulunmuştur. Maliyet fonksiyonlarının hesaplanması ile birlikte yazılım geliştirme uzmanları ve yöneticiler için yazılım ürününün zamanında teslim edilebilmesi ve piyasaya ne zaman sürüleceğinin belirlenmesi ile ilgili önemli bir değerlendirme aracı elde edilmiştir.

### Teşekkür / Katkı belirtme

#### Acknowledgement

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış/yapacak oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Hilmi PEKALP: Araştırma, Doğrulama, Yazılım, Orijinal Taslak Yazımı.  
Prof. Dr. Halil AYDOĞDU: İnceleme ve Düzenleme, Denetim/Gözlem/Tavsiye.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

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

Bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan ederiz.

### ıkar atışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Aydoğdu, H., & Altındağ, . (2015). Computation of the mean value and variance functions in geometric process, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 86 (5), 986-995.  
<https://doi.org/10.1080/00949655.2015.1047778>
- Aydoğdu, H., & Karabulut, İ. (2014). Power series expansions for the distribution and mean value function of a geometric process with Weibull interarrival times, *Naval Research Logistics*, 61, 599-603.  
<https://doi.org/10.1002/nav.21605>



- Aydoğdu, H., Karabulut İ., & Şen, E. (2013). On the exact distribution and mean value function of a geometric process with exponential interarrival times, *Statistics and Probability Letters*, 83, 2577-2582. <https://doi.org/10.1016/j.spl.2013.08.003>
- Aydoğdu, H., Őenođlu, B., & Kara, M. (2010). Parameter estimation in geometric process with Weibull distribution, *Applied Mathematics and Computation*, 217 (6), 2657-2665. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.08.003>
- Chan, J. S. K., Lam, Y., & Leung, D. Y. (2004). Statistical inference for geometric processes with gamma distributions, *Computational Statistics and Data Analysis*, 47 (3), 565-581. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2003.12.004>
- Gutjahr, W. J. (1995). Optimal test distributions for software failure cost estimation, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 21, 219-228, <https://doi.org/10.1109/32.372149>
- Lam, Y. (2007). *The Geometric Processes and Its Applications* (1st ed.). World Scientific.
- Lam, Y., & Chan, J. S. K. (1998). Statistical inference for geometric processes with lognormal distribution, *Computational Statistics and Data Analysis*, 27 (1), 99-112. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(97\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(97)00046-7)
- Musa, J. D., Iannino, A., & Okumoto, K. (1987). *Software Reliability: Measurement, Prediction, Application* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Pekalp, M. H., & Aydoğdu, H. (2018). An integral equation for the second moment function of a geometric process and its numerical solution, *Naval Research Logistics*, 65 (2):176-184. <https://doi.org/10.1002/nav.21791>
- Pekalp, M. H., & Aydoğdu, H. (2021). Power series expansions for the probability distribution, mean value and variance functions of a geometric process with gamma interarrival times, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 388, 113287. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113287>
- Pekalp, M. H., Aydoğdu, H., & Trkman, K.F. (2022). Discriminating between some lifetime distributions in geometric counting processes, *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 51 (3), 715-737. <https://doi.org/10.1080/03610918.2019.1657452>
- Pham, H., & Wang, H. (2001). A quasi-renewal process for software reliability and testing costs, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 31 (6), 623-631. <https://doi.org/10.1109/3468.983418>
- Pham, H., & Zhang, X. (1997). An NHPP software reliability model and its comparison, *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 4 (3), 269-282. <https://doi.org/10.1142/S0218539397000199>
- Pham, L., & Pham, H. (2000). Software reliability models with time-dependent hazard function based on Bayesian approach, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30 (1), 25-35. <https://doi.org/10.1109/3468.823478>
- Tang, Y., & Lam, Y. (2007). Numerical solution to an integral equation in geometric process, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 77, 549-560. <https://doi.org/10.1080/10629360600565343>
- Tokuno, K., & Yamada, S. (1999). Stochastic software safety/reliability measurement and its application, *Annals of Software Engineering*, 8, 123-145. <https://doi.org/10.1023/A:1018967011900>



## Uzaktan algılama ile fay çizgiselliklerinin belirlenmesi: Baklan Grabeni örneği

*Tracing fault lineaments by remote sensing: Baklan Graben's case*

Ali KAYA \*<sup>1</sup> , Serkan TOPALOĞLU<sup>2</sup>, Erdal AKYOL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli

<sup>2</sup>Karyap Ahşap Mobilya Dekorasyon, 20020, Denizli

• Geliş tarihi / Received: 15.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 15.10.2022

### Öz

Fayların belirlenmesi ve özelliklerinin ortaya konulması doğal afet risklerinin belirlenmesi, güvenli şehir altyapısı, büyük mühendislik yapılarının duraylılığı, yeraltı suları ile mineral zonlarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Faylar yeryüzünde belirgin çizgisel yapılar oluştururlar ve bunlar genellikle yüzeyden kolayca ayırt edilebilirler. Fayların tespit edilmesi, haritalanması ve ilgili saha çalışmaları oldukça emek yoğun çalışma gerektirmektedir. Saha çalışmalarının yoğunluğunu azaltmak ve daha geniş alandaki yapısal bütünlüğü algılamak için hava fotoğrafları, yükseklik haritaları ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Arazide sadece faylar değil, karayolu, demiryolu ve insan yapımı çit vb. karışık oluşturan birçok farklı çizgisel yapı bulunmaktadır. Bu çizgiselliklerin tespiti ve analizinde uzaktan algılama görüntüleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Landsat-7 (ETM+) uydu görüntülerinden yararlanılarak filtreleme, temel bileşenler analizi (TBA), bant oranlama, FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları görüntüleme, sonuç çizgisellik haritası ve otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemleriyle çizgisellik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar arazi çalışmalarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Yöntemlerle genel çizgisellik hatları ortak olarak belirlenebilirken, belirlenen nesne sayısında farklılık olduğu, yöntemlere göre çizgiselliğe ait nesne sayısının değiştiği ve en fazla nesne sayısının otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemi ile üretildiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Baklan grabeni, Fay çizgisellikleri, Landsat-7, Uzaktan algılama

### Abstract

Identifying faults and revealing their characteristics are of great importance in terms of determining natural disaster risks, safe city infrastructure, stability of large engineering structures, groundwater and mineral zones. Faults form distinctive linear structures on the earth and these are usually easily distinguishable from the surface. Identification, mapping and related field studies of faults require a labor-intensive work. Aerial photographs, digital elevation models and aerial images are used to reduce the intensity of fieldwork and to detect the structural integrity of the larger area. There are not only faults in the land, but also many different linear structures such as roads, railroads and man-made fences that form a contrast. Remote sensing images are widely used in the detection and analysis of these lineaments. In this study, lineament analyzes were carried out using filtering, principal component analysis (PCA), band ratio and false color composite displaying, result linearity map and automatic lineament extraction methods on Landsat-7 (ETM+) satellite images as the basis. The results obtained were compared with the data obtained from field studies.

**Keywords:** Baklan graben, Fault lineaments, Landsat-7, Remote sensing

\* Ali KAYA alikaya@pau.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Alp-Himalaya tektonik kuşağında bulunan Türkiye sismik olarak oldukça aktif bir bölgedir (Jackson, 1994). Buna bağlı olarak Ege bölgesinde özellikle graben yapılarının hâkim olduğu birçok tektonik yapı gözlenmektedir. Denizli’de bu sismik hareketliliğe bağlı olarak gelişen Büyük Menderes, Denizli, Acıgöl ve Baklan grabenleri yer almaktadır. Yoğun tektonik faaliyetlerin etkin olduğu bu bölgede fayların önemi oldukça ön plana çıkmaktadır.

Fayların belirlenmesi ve özelliklerinin ortaya konulması doğal afet risk analizlerinde, güvenli şehir altyapısı sistemlerinin planlanmasında, büyük mühendislik yapılarının duraylılığında, yeraltı suları ile mineral zonlarının tespitinde büyük önem taşımaktadır. Faylar yeryüzünde belirgin çizgisel yapılar şeklinde gözlenirler ve genellikle arazi gözlemleri ile tespit edilebilirler. Fayların tespit edilmesi, haritalanması ve ilgili saha çalışmaları oldukça emek yoğun çalışma gerektirmektedir. Son yıllarda, maliyetli ve uzun süreçler alan saha çalışmalarını en aza indirmek ve daha geniş alanlardaki yapısal özellikleri ortaya çıkarmak için hava fotoğrafları, sayısal yükseklik haritaları ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bu görüntüleri kullanarak çeşitli amaçlara yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Arazide sadece fay ve dere yataklarının yanı sıra, karayolu, demiryolu, enerji hatları ve çit vb. gibi insan yapımı karışıklık oluşturan birçok farklı çizgisel yapı bulunmaktadır. İnsanın bakış açısı gerçek olsun ya da olmasın çizgisellikleri ve kaynağını kolayca ayırt edebilir. Doğal ve/veya jeolojik gibi görünen çizgiselliklerin kaynağı çok farklı olabilir.

O’Leary vd. (1976) çizgiselliği doğrusal veya hafif eğri parçaların sıralanan ve çeşitli yeraltı yapılarını yansıtan haritalanabilir bir yüzeyin özelliği şeklinde tanımlamıştır. Uzun mesafelerde yeryüzünü kesen sürekli kırılma hatları çizgisellik oluşturur. Fayların doğrusal özelliği bir zıtlık oluşturur ve kolayca fark edilebilir. Ancak bu çizgiselliklerin tamamı jeolojik olmayıp karayolu, demiryolu ve tarım arazileri, çit gibi insan yapımı olabilir. Bunun dışında gölgeleme ile görüntüler olabilir ve fay çizgisi gibi görülebilirler. Tüm bu nedenlerle faz çizgilerinin arazide diğer yapılardan ayrılması gerekmektedir. İnsan gözü için oldukça sıradan olan bu işlem için çeşitli analiz yöntemleri gereklidir. Çizgisel yapıların belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır (Marghany & Hashim, 2010; Rahmana & Gloaguen, 2014).

Çizgiselliğin tespiti ve analizinde uydu görüntüleri ve sayısal yüksekli modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizgiselliklerin tespitine yönelik geçmişten günümüze hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, sayısal yükseklik haritalarından yararlanılmıştır. İlk hava görüntüsü 1858 yılında bir balondan çekildikten sonra (Baumann, 2014) büyük ilerleme kaydetmiş ve uydu teknolojisi ile bilinen noktaya ulaşmıştır. Görüntüler üzerindeki çizgisellikleri belirlemesi ile ilgili yapılan ilk uygulamalar, uzay çalışmalarında renk tonu farklılıklarından kaynaklanan yapıları tespit etmek için yapılmıştır (NASA, 2022).

Vanderbrug (1976), uydu görüntülerine uygulanabilecek üç yerel çizgisellik algılama algoritması üzerinde çalışmıştır. Bu çalışma Landsat 1 görüntülerinde arazideki çizgisel özelliklerin bilgisayarla tanınması (yarı otomatik yöntem) üzerinedir. Qari (1991) Landsat TM'nin litolojik ve yapısal çalışmalar için kullanılıp kullanılmayacağı üzerine çalışmış, görüntüler farklı litolojileri ve yapıları haritalamak için çeşitli görüntü işleme tekniklerini kullanmıştır. Suzen ve Toprak (1998) çeşitli filtreleme teknikleri kullanarak jeolojik amaçlar için haritalarda çizgisellik analizi yapmıştır. Bu çalışma, birbirine paralel fayların yoğun olduğu Orta Anadolu’da örnek olarak seçilen bir arazideki çizgisel yapıların hızlı bir şekilde belirlenmesine yöneliktir. Yazarlar kullandıkları örnekte tek bant girişli konumsal alan filtreleme yönteminin en başarılı olduğunu sonucuna varmışlardır. Kaya vd. (2004) Kuzey Anadolu fay zonunun Ganos bölümünde uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modeli kullanarak aktif bir fayın geometrisini izlemişlerdir. Çalışma ile fayın mevcut haritalarda olmadığı şekilde birçok parçadan oluştuğu belirlenmiştir. Joshi vd. (2013) Narmada-Son fayı üzerinde coğrafi bilgi sistemi destekli yaptıkları çalışmada konumsal değişimler gösteren tektonik yoğunluk belirlemişlerdir. Pour ve Hashim (2016) PALSAR verisi kullanarak Malezya yarımadasındaki jeolojik yapıların uzaktan algılama ile analizini yapmışlar ve ulaşılması zor alanlarda büyük tektonik yapılar ile metalik maden oluşumuna ilişkin bulgular elde etmişlerdir. Akgün vd. (2021) Doğu Anadolu fay zonunda aktif tektonik yapıların belirlenmesi amacıyla uzaktan algılama yöntemini kullanmışlardır. Çalışma ile tektonik hatların yanı sıra akarsu ötelenmeleri, basınç sırtları, çizgisel vadi gibi morfolojik özellikler ve litolojik sınırlar ayırt edilmiştir. Liu vd. (2021) Qianhe grabeninde segment iz ve çizgi algoritmalarını kullanarak

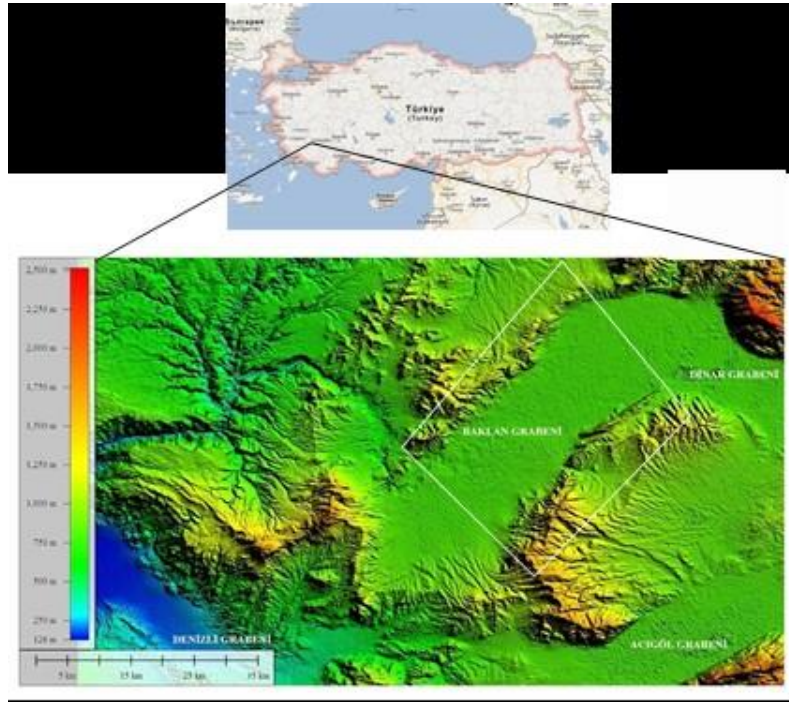
çizgisellikleri belirlemişler ve tektonik yapıları ortaya çıkarmada büyük potansiyeli olduğunu vurgulamışlardır. Kırşan (2021) Doğu Anadolu fayının Bingöl-Karlıova arasındaki bölgede uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik verileri kullanarak çizgisellik analizleri yapmış, ilkinin ikinciye göre daha düşük değerler verdiğini tespit etmiştir. Ayrıca çizgisellik analizi çalışmalarının çalıştıkları bölgede bilinmeyen diğer fay yapılarının ortaya çıkarılmasında yararlı olduğunu belirtmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre uzaktan algılama yöntemlerinin sonuçlara olumlu katkıları olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Landsat 7 uydu görüntüleri kullanılarak filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama ve FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları yöntemleriyle çizgisellik analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar arazi çalışmalarından elde edilen verilerle karşılaştırılarak yöntemlerin başarımı değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

İnceleme alanının bulunduğu Baklan grabeni KD-GB yönlü olup Baklan ile Çivril arasında uzanır ve yaklaşık 55 km uzunluğunda ve 10 km genişliğindedir. Baklan grabenini kuzeydoğusunda Dinar grabeni, güneybatısında Denizli grabeni ve güneydoğusunda Acıgöl grabeni ile sınırlanmıştır (Şekil 1). Gürbüz vd. (2012) çalışmalarında Batı Anadolu bölgesinin D-B, KB-GD ve KD-GB uzanımlı faylar ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. Baklan-Dinar grabeninin ters V şekilli geometrik yapısı, KD-GB uzanımlı Baklan grabeni ve KB-GD uzanımlı Dinar grabenlerinin birleştiği yerde oluşmuştur. Bu durumun ise Ege bölgesinin yapısal evrimini anlamada kritik öneme sahiptir. Grabenin geometrisi bölgede iki eksenli çekmenin hakim olduğunu göstermektedir (Temiz vd., 1997; Cihan vd., 2003). Acıgöl ve Burdur grabenlerinin eksenleri Baklan grabeninin eksenine güneyde paraleldir ve bu üç havza Dinar fayı ile ayrılmaktadır.



**Şekil 1.** İnceleme alanının yer bulduru haritası  
**Figure 1.** Location map of the study area

Uzun mesafelerde yeryüzünü kesen sürekli kırılma hatları çizgisellik oluşturur. Fayların doğrusal özelliği bir zıtlık oluşturur ve kolayca fark edilebilir. Ancak bu çizgiselliklerin tamamı jeolojik olmayıp karayolu, demiryolu ve tarım arazileri, çit gibi insan yapımı olabilir. Bunun dışında gölgeleme ile görüntüler olabilir ve fay çizgisi gibi görülebilirler. Tüm bu nedenlerle faz çizgilerinin arazide diğer yapılardan ayrılması gerekmektedir. İnsan gözü için oldukça sıradan olan bu işlem için çeşitli analiz yöntemleri gereklidir. Çizgisel yapıların belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır (Marghany & Hashim, 2010; Rahmana & Gloaguen, 2014). Bu çalışmada filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama, FCC (False Color Composite) bant kombinasyonları görüntüleme, sonuç çizgisellik haritası ve otomatik çizgisellik çıkarımı yöntemleri



kullanılmıştır. Çizgisellik analizinde USGS (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) tarafından ücretsiz olarak sağlanan 17.07.2002 tarihinde çalışma alanı üzerinde algılanmış bulutsuz (%0 cloud cover), SLC (Scan Line Corrector) hatası olmayan Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Landsat-7 uydu görüntüsü, 15m çözünürlüklü bir pankromatik bandla beraber, 30m çözünürlüklü görünür, yakın kızıl ötesi, kısa dalga kızılötesi bölgede (VNIR-SWIR) altı, 60m çözünürlüklü termal kızılötesi bölgede bir band içerir. Kullanılan uydu görüntüleri sistem tarafından radyometrik, atmosferik ve geometrik düzeltmesi yapılmış olarak L7 ETM+ C1 Level-2 şeklinde temin edilmiştir. Çizgisellik analizlerinde pankromatik band kullanılarak Gram-Schmidt spektral keskinleştirme yöntemi (Laben & Brower, 2000) ile 15 metreye pankeskinleştirilmiş VNIR-SWIR bandları kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

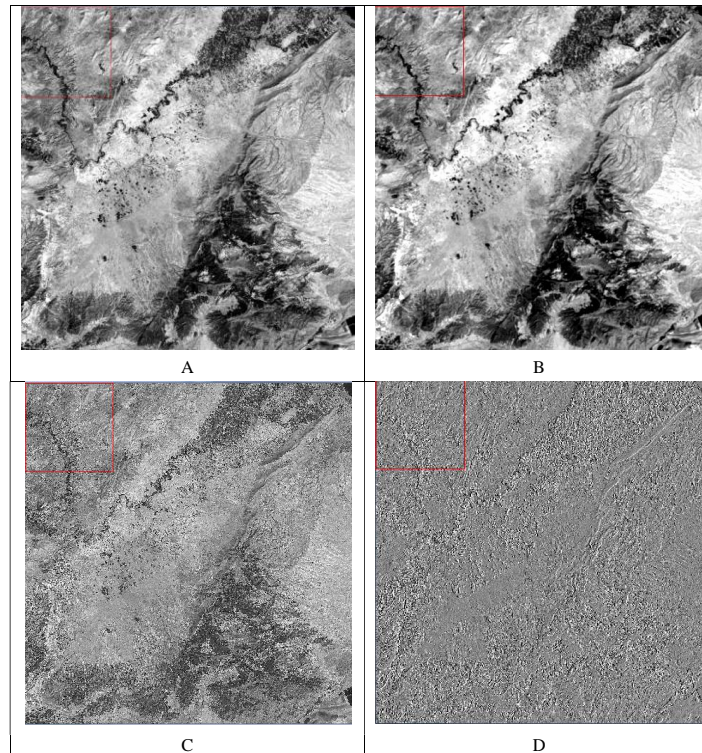
#### 3.1. Filtreleme tekniği

##### 3.1. Filtering technique

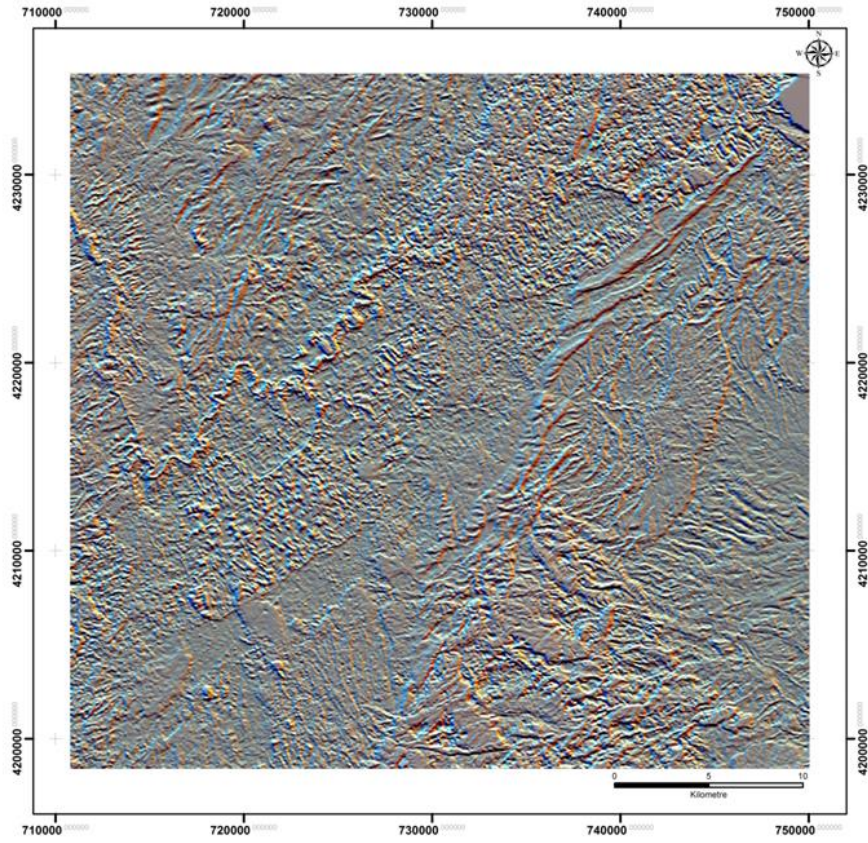
Filtreleme tekniklerinde genellikle kullanılan 3 yöntem vardır (Kouame vd. (1999)). Bunlar düşük geçirgen filtreler, yüksek geçirgen filtreler ve yönsel filtrelerdir. Düşük geçirgen filtreler görüntüdeki mekânsal detayları ortadan kaldırmak için kullanılırken, yüksek geçirgen filtreler görüntüdeki objeleri belirginleştirir ve keskinleştirir. Yönsel filtreler ise çizgisel objeleri belirginleştirmek için kullanılırlar (Şekil 2).

Bu çalışmada Landsat-7 ETM uydu görüntüsünün 5. bandına Kouame vd. (1999) ve Youan vd. (2008) tarafından geliştirilmiş 7\*7 matris uygulanarak K-G, KD-GB, D-B ve KB-GD olmak üzere dört ana yönde yönsel filtreleme işlemine tabii tutulmuş ve bu dört ana yönde filtrelenen görüntüler elde edilmiştir. Yönsel filtrelemeden sonra ArcGIS yazılımı kullanılarak otomatik çizgisellik haritaları oluşturulmuştur.

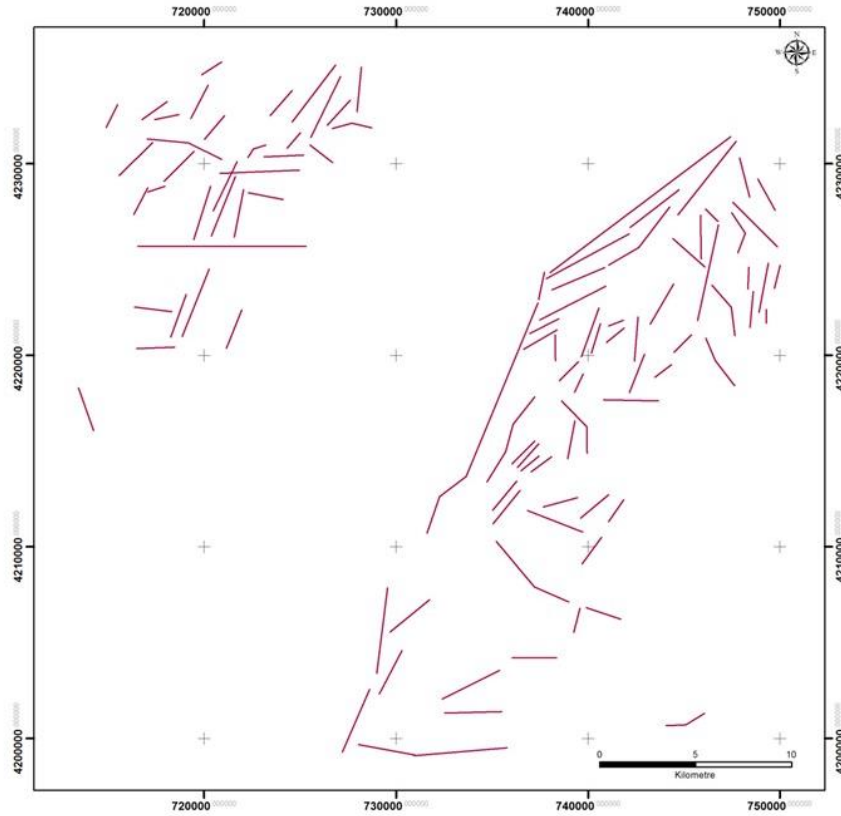
Yönsel filtreleme sonucu elde edilen görüntüler R(45°) G(0°) ve B(135°) olacak şekilde görüntü oluşturulmuş (Şekil 3) ve bunun üzerinden çizgisellik haritası elde edilmiştir (Şekil 4). Yönsel filtreleme sonucunda elde edilen çizgisellik haritasında 100 adet çizgisellik elde edilmiş olup bunların toplam uzunluğu 263.94 km'dir. Ortalama çizgisellik uzunluğu ise toplam 2.64 km'dir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası  
Figure 1. Location map of the study area



**Şekil 3.** Yönsel filtreleme sonucu elde edilen görüntü R (45°) G (0°) ve B (135°).  
**Figure 3.** The image of directional filtering is R (45°) G (0°) and B (135°)



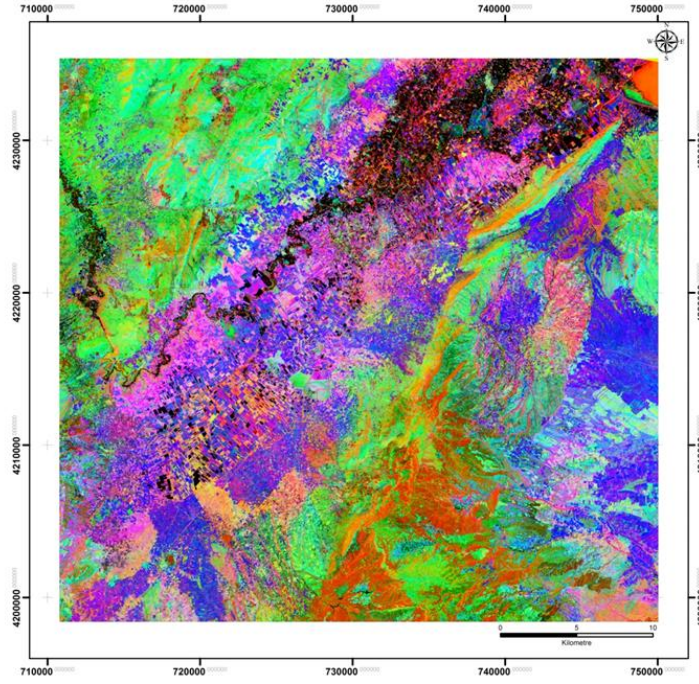
**Şekil 4.** Yönsel filtreleme sonucunda elde edilen çizgisellik haritası.  
**Figure 4.** Lineament map of directional filtering



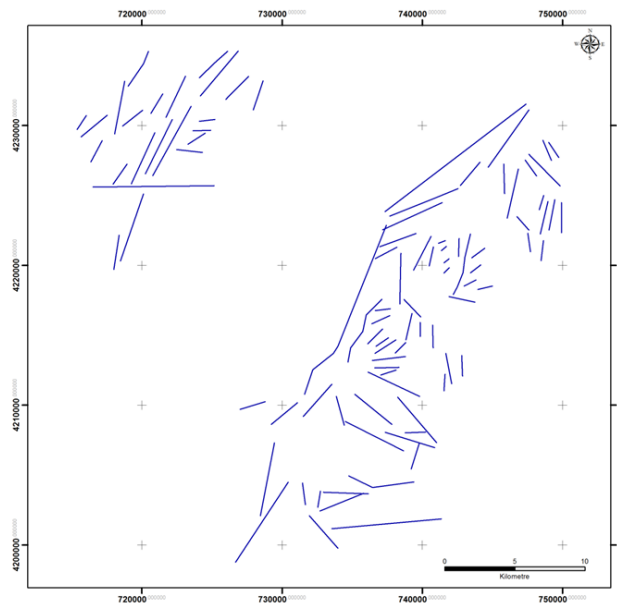
### 3.2. Temel bileşenler analizi

#### 3.2. Principal components analysis

Orijinal p değişkeninin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan yeni değişkenlerle ifade etme yöntemidir. Bu çalışmada Landsat ETM uydu görüntüsünden alınmış olan 6 bant üzerinden MultispecV32 yazılımı temel bileşenler analizi yapılmış ve çıkan istatistiksel değerler tespit edilmiştir. Temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen görüntü Şekil 5'te gösterilmiştir. Elde edilen ve toplam varyans değerlerinin %98.49'luk kısmını içeren ilk üç bileşen kullanılarak hazırlanan renk kombinasyonundan otomatik çizgisellik elde etmek için aynı yazılım kullanılarak çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 6). Elde edilen bu haritada 95 adet çizgisellik elde edilmiş olup toplam uzunlukları 262.26 km'dir. Ortalama çizgisellik 2.76 km'dir.



Şekil 5. Temel bileşenler analizi (PCA) uygulanmış görüntü  
Figure 5. Image after principal component analysis (PCA)



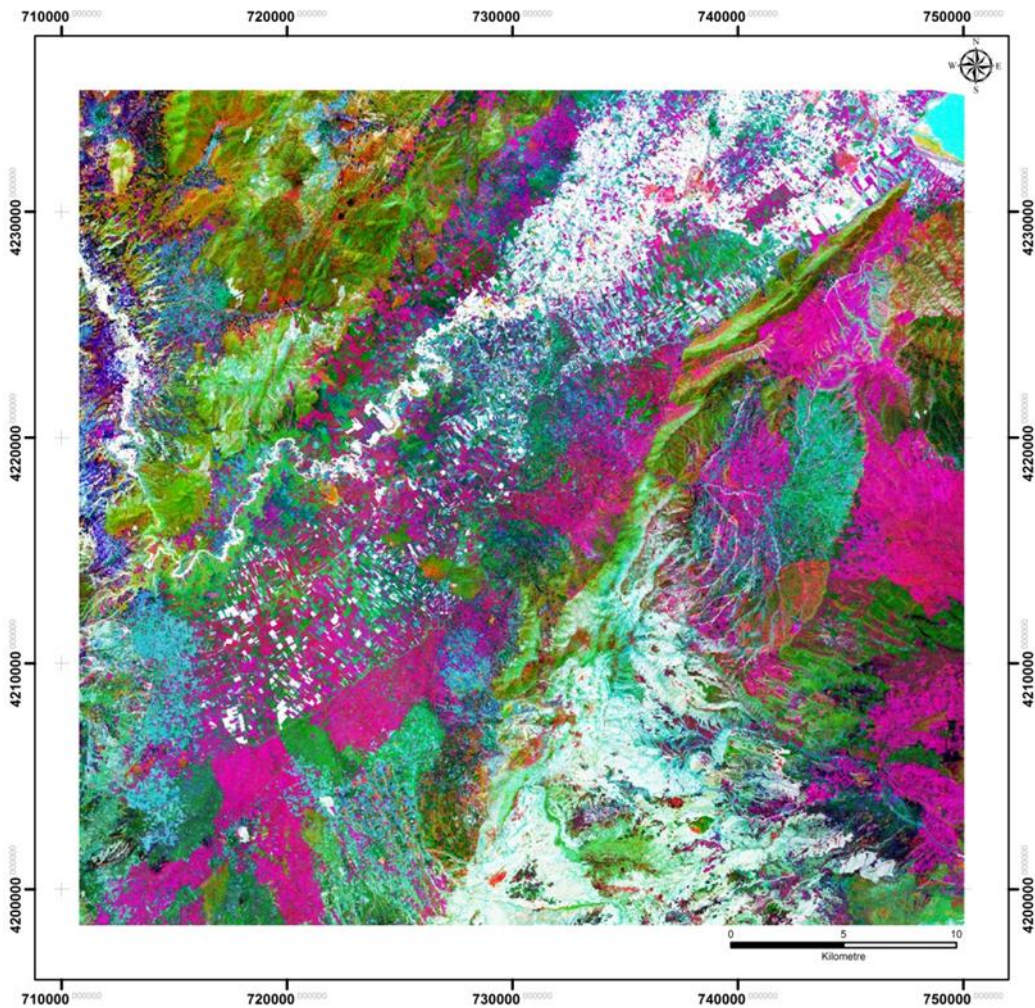
Şekil 6. Temel bileşenler analizinden elde edilen çizgisellik haritası.  
Figure 6. Lineament map after principal component analysis

### 3.3. Bant oranlama

#### 3.3. Band ratio

Bu yöntem jeolojik özellikleri ayırt etmede yaygın olarak kullanılmakta olup farklı bantlarda bulunan hücre değerlerinin birbirlerine bölünmesi işlemidir. Bu işlem topoğrafik etkilerden meydana gelen olumsuzlukları ve gölgelenmeyi ortadan kaldırmaktır (Lillesand & Keifer, 1999). Literatürdeki çalışmalarda 5/7 oranı hidroksil içeren minerallerin tanımlanabilmesi için kullanılmaktadır; bu mineraller faylar ve kırıklar boyunca suyun etkisini göstermektedir (Crippen, 1988). 2/3 oranı bitki örtüsünün yoğun olarak bulunduğu kesimleri diğer alanlardan ayırt etmek için 4/5 oranı ise yüksek derecede deformasyona uğramış kesimleri belirlemek için kullanılmaktadır. 4/5 oranlaması sonucunda deformasyona uğramış alanlar siyah ve koyu tonda izlenirler (Won-In & Charusiri, 2003). Bu çalışmada 5/7, 2/3, 4/5 bant oranları kullanılmıştır.

MultispecV32 yazılımı ile 5/7, 2/3 ve 4/5 bant oranları kullanılarak RGB renk kombinasyonu elde edilmiş (Şekil 7) ve çizgisellik haritası otomatik oluşturulmuştur (Şekil 8). Elde edilen çizgisellik haritasında 141 adet çizgisellik bulunmuş olup bunların toplam uzunluğu 297.21 km'dir. Bunların ortalama çizgisellik uzunluğu 2.11 km'dir.



Şekil 7. Bant oranlaması sonucu elde edilen görüntü.

*Figure 7. The image of band ratio*

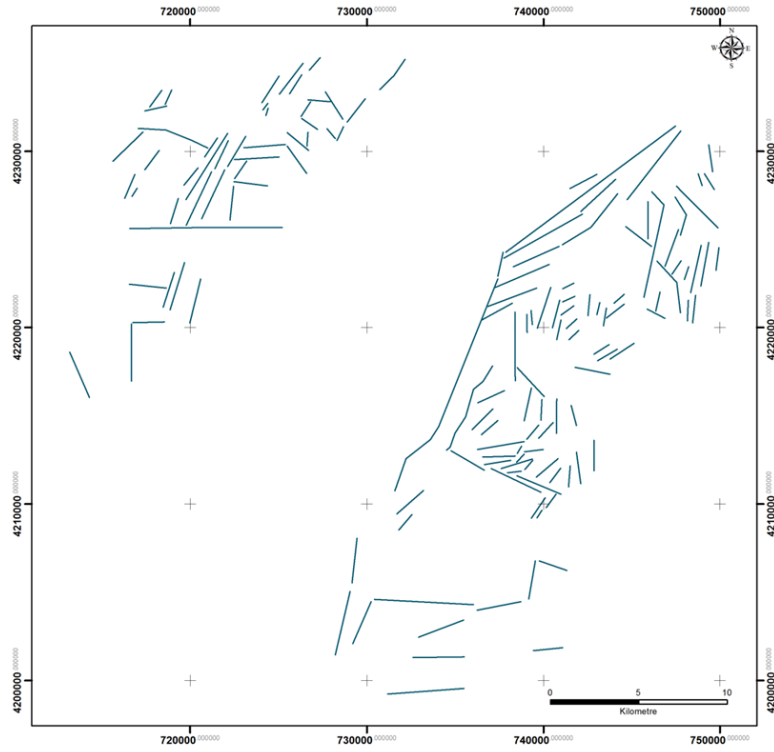
### 3.4. Bant kombinasyonları

#### 3.4. Band combinations

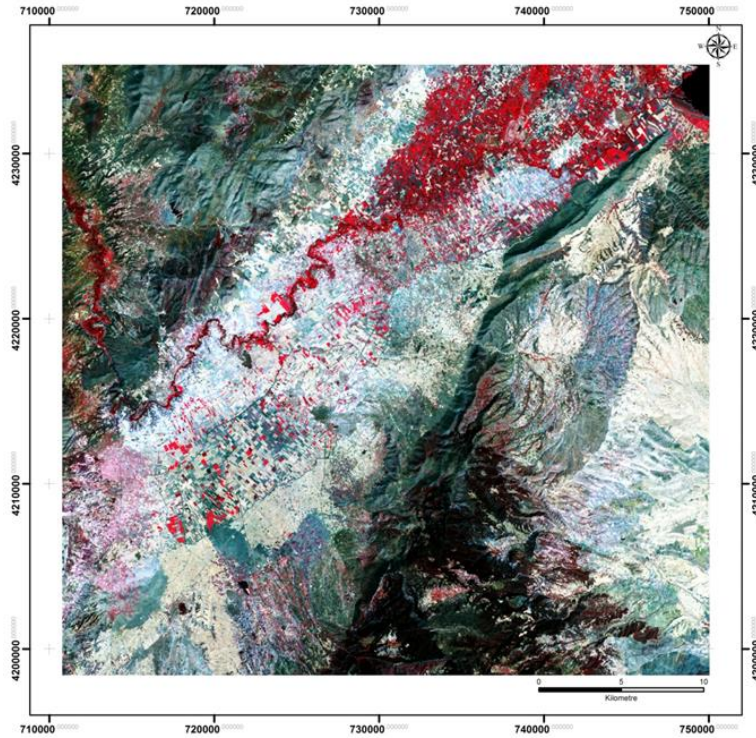
Bant kombinasyonları yöntemi çalışma alanına ait uydu görüntüsünün farklı bantlarının R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi) olacak şekilde çakıştırılması ile yapılır. Çizgiselliklerin belirlenebilmesi için Landsat ETM uydu görüntüsünün 2, 3 ve 4. bantlarının en iyi RGB kombinasyonu olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında



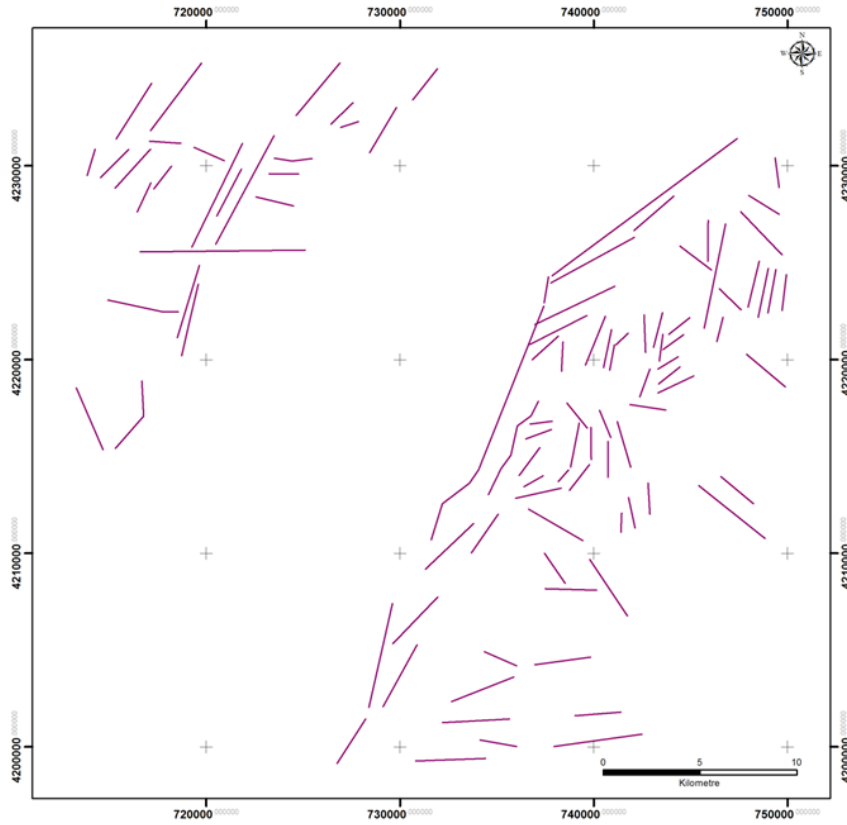
inceleme alanının yukarıda belirtilen RGB bant kombinasyonu oluşturulmuş (Şekil 9) ve çalışma alanındaki çizgisellikler elde edilmiştir (Şekil 10). Yapılan analizler sonucunda 99 adet çizgisellik bulunmuştur. Bu çizgiselliklerin toplam uzunluğu 273.39 km olup ortalama çizgisellik uzunluğu 2.76 km'dir.



**Şekil 8.** Bant oranlamasından elde edilen çizgisellik haritası  
*Figure 8. Lineament map after band ratio*



**Şekil 9.** Bant kombinasyonları sonucu elde edilen görüntü  
*Figure 9. The image of band combinations*



**Şekil 10.** Bant kombinasyonlarından elde edilen çizgisellik haritası  
**Figure 10.** Lineament map of band combinations

### 3.5. Sonuç çizgisellik haritası

#### 3.5. Result linearity map

Uydu görüntülerinden dört farklı çizgisellik çıkarım tekniği kullanılarak dört farklı çizgisellik haritası elde edilmiştir. Bu sonuçlar içerisinde çift olanlar ayıklanmış, aynı doğrultu üzerindeki birden fazla olan çizgiselliklerin en uzununu bırakılıp kısa olanları silinmiş ve birbirini tamamlayan çizgisellikler birleştirilmiştir (Şekil 11). Sonuç çizgisellik haritasında 144 adet çizgisellik belirlenmiş olup, bunların toplam uzunluğu 416.90 km'dir. Veriler arasında en uzun çizgisellik 13.65 km, en kısa çizgisellik ise 0.6 km'dir.

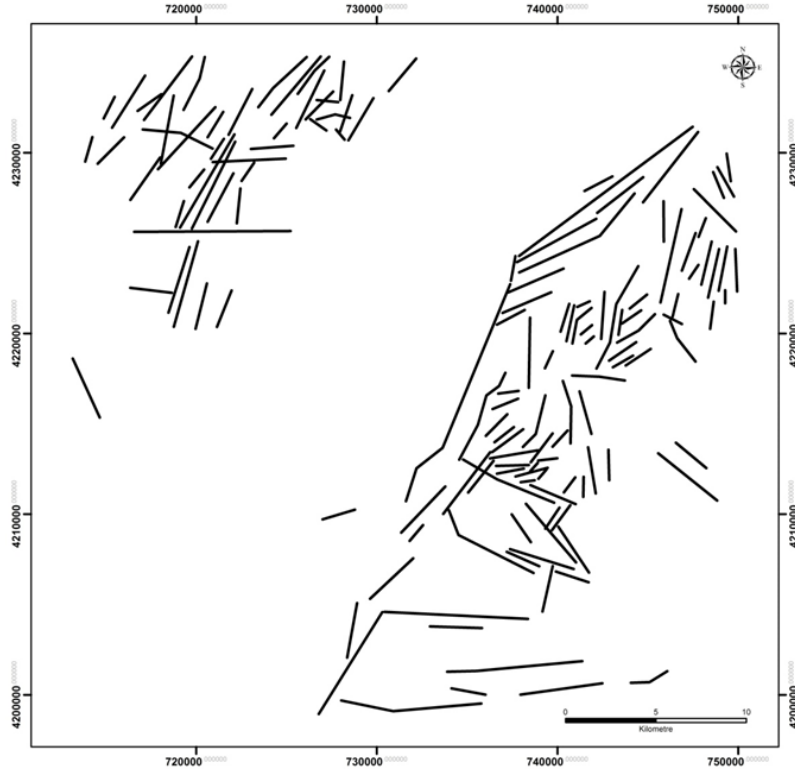
### 3.6. Otomatik çizgisellik çıkarımı

#### 3.6. Automatic lineament extraction

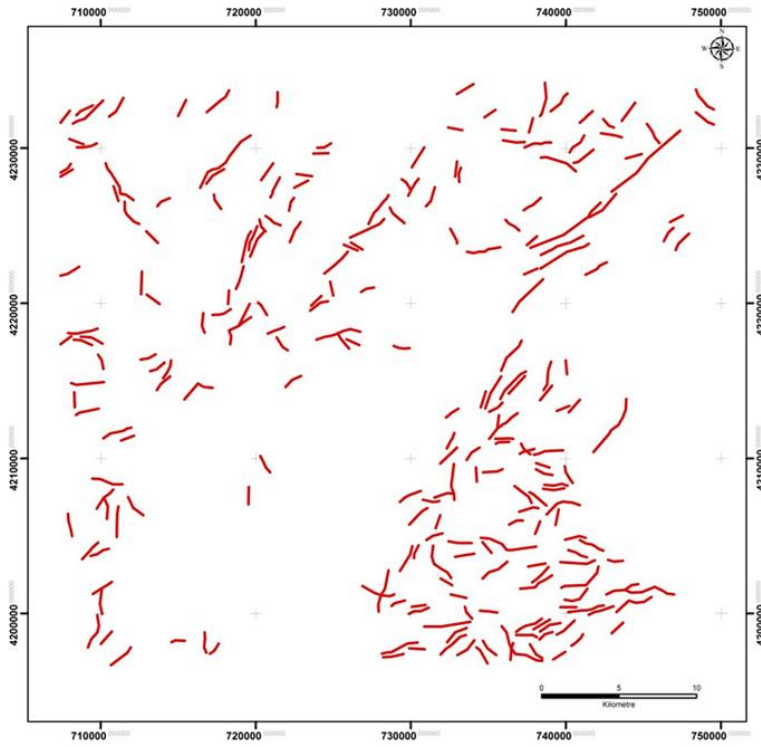
Otomatik çizgisellik çıkarımı, uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar yazılımı yardımıyla çizgiselliklerinin çıkarılması işlemidir. Bu görüntülerde çizgisellikler insan gözünün ayırt edemeyeceği kadar küçük ayrıntıların belirlenmesi mümkün olabilir. Manuel çizgisellik çıkarımına göre daha hızlı ve daha ayrıntılı olsa da, elde edilen verilerin doğruluk oranı daha azdır. Otomatik çizgisellik çıkarımı için kullanılan üç yaygın algoritma vardır (Koçal, 2004): Hough dönüşümü, Haar dönüşümü ve Segment izleme algoritması (STA).

Segment izleme algoritması (STA) digital görüntülerde gri seviye değişimini inceleyip, çizgisellikleri pixel boyutunda değerlendirip vektör elemanı olarak algılamaktadır (Koike vd., 1995). Çalışmanın bu bölümünde otomatik çizgisellik çıkarımı için PCI Geomatica yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım görüntü üzerinden çizgisel özellikleri çıkarmakta ve vektör formatında “çoklu çizgi” olarak kaydetmektedir.

Bu çalışmada Landsat ETM uydusunun jeolojik sınırlara duyarlılığı ile bilinen 30\*30 metre çözünürlüklü 7. bandını ve yazılımın “çizgi” modülüne ait orijinal eşik değerleri (RADI:10, GTHR:100, LTHR: 30, FTHR:3, ATHR:30, DTHR:20) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen çizgisellik haritası Şekil 121'de gösterilmiştir. Bu yöntemle 246 adet çizgisel nesne bulunmuştur. Bunların en kısa olanı 0.86 km, en uzununu 5.94 km olup toplamı 355.89 km'dir.



**Şekil 11.** Sonuç çizgisellik haritası  
**Figure 11.** Result linearity map



**Şekil 12.** Sonuç çizgisellik haritası  
**Figure 12.** Result linearity map

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Çalışmada filtreleme, temel bileşenler analizi, bant oranlama, bant kombinasyonu, sonuç çizgisellik ve otomatik çizgisellik çıkarımı olmak üzere altı farklı yöntem kullanılarak inceleme alanındaki çizgisellikler tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda drenaj ağı dahil edilmemiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan yöntemlerle elde edilen çizgisellik sayıları ve uzunlukları

**Table 1.** Lineament lengths and numbers of the employed methods

	Filtreleme	Temel Bileşenler Analizi	Bant Oranlama	Bant Kombinasyonu	Sonuç Çizgisellik Çıkarımı	Otomatik Çizgisellik Çıkarımı
Sayı	100	95	141	99	144	246
Uzunluk (km)	263.94	262.26	297.21	273.39	418.90	355.89

Bu verilere göre temel bileşenler analizi en az sayıda çizgisel nesne belirlerken, otomatik çizgisellik çıkarımı ile en fazla sayıda nesne belirlenmiştir. Belirlenen çizgisel nesnelerin sayıları yöntemlere göre çok büyük farklılıklar göstermektedir. Ancak çizgiselliklerin uzunları dikkate alındığında, yöntemler arasında nesne sayılarına göre büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir. Bu durum, kullanılan yöntemlerde çizgiselliklerin genellikle belirlendiği, ancak farklı yöntemlerde aynı çizgiselliğin farklı sayılardaki nesnelere oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu veri ışığında, kullanılan yöntemlerle fay çizgiselliklerinin büyük oranda tespit edilebileceği, ancak fay uzunlukları konusunda daha dikkatli olunması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Uydu görüntülerinin çözünürlüğünün artırılması ve sayısal yükseklik modeli gibi verilerin eklenmesi ile daha yüksek hassasiyetli sonuçların alınması muhtemel görünmektedir.

#### Teşekkür / Katkı belirtme

##### Acknowledgement

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (PAÜBAP) tarafından 2010FBE052 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Araştırmacılarından Kaya; araziden verilerin derlenmesi, verilerin elde edilmesi ve ilerleyişinin denetlenmesi, Akyol; makalenin düzenlenmesi, literatür kısmı, bazı tabloların/şekillerin hazırlanması ve yorumlanmasında katkı sunmuştur. Araştırmacılarından Topaloğlu ise arazi verilerinin ve uydu görüntülerinin derlenmesi, bilgisayar analizlerinin yapılmasına 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*

- Akgün, E., İnceöz, M., & Manap, H.S. (2021). Aktif tektonikte uzaktan algılama uygulamaları: Doğu Anadolu fay zonu'ndan bir örnek. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 473-482.
- Baumann, P.R. (2014). History of remote sensing, aerial photography. *Geo/SAT2*, <http://employees.oneonta.edu/baumanpr/geosat2/rs%20history%20i/rs-history-part-1.htm>
- Cihan, M., Saraç, G., & Gökçe, O. (2003). Insights into biaxial extensional tectonics: An example from the Sandıklı Graben, West Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 38, 47-56.
- Crippen, R. E. (1988). The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band ratioing. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 767-776.
- Gürbüz, A., Boyraz, S., & Ismael, M.T. (2012). Plio-Quaternary development of Baklan-Dinar Graben: its implications for cross-graben formation in SW Turkey. *International Geology Review*, 54 (1), 33-5.
- Jackson, J., (1994), Active tectonics of the Aegean Region. *Annual Review of Earth and Planet Sciences*, 22, 239-271.
- Joshi, P.N., Maurya, D.M., & Chamyal, L.S. (2013). Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada-Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis. *Geomorphology*, (180-181), 292-306, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.10.023>.
- Laben, C.A. & Brower, B.V. (2000). *Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening*. U.S. Patent 6,011,875. Jan 4, 2000
- Liu, Z., Han, L., Du, C., Cao, H., Guo, J., & Wang, H. (2021). Fractal and multifractal characteristics of lineaments in the Qianhe Graben and its tectonic significance using remote sensing images. *Remote Sensing*, 13, 587. <https://doi.org/10.3390/rs13040587>
- Kaya, Ş., Müftüoğlu, O., & Tüysüz, O. (2004). Tracing the geometry of an active fault using remote sensing and digital elevation model: Ganos segment, North Anatolian Fault zone, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 25(19), 3843-3855. <https://doi.org/10.1080/01431160310001652394>
- Kırşan, K. (2021). SRTM DEM ve Landsat 7 ETM verileri ile Bingöl-Karlıova arası Doğu Anadolu fay zonunda çizgisellik analizleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(46), 143-158.
- Koçal, A., (2004). *A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery*. [Ms Thesis, Middle East Technical University].
- Koike, K., Nagano S., & Ohmi, M. (1995). Lineament analysis of satellite images using a Segment Tracing Algorithm (STA). *Computers and Geosciences*, 21(9), 1091-1104. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(95\)00042-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(95)00042-7)
- Kouamé, F., Gioan, P., Biemi, J., & Affian, K. (1999). Méthode de cartographie des discontinuités images extraites d'images satellitales: Exemple de la région semi montagneuse à l'Ouest de la côte d'Ivoire. *Revue de Télédétection*, 1(2), 139-156.
- Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (1999). *Remote sensing and image interpretation* (4th ed.). Wiley, ISBN-13: 978-0471255154.
- Marghany, M., & Hashim, M. (2010). Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(10), 1501-1507.
- Mwaniki, M. W., Moeller M. S., & Schellmann, G. (2015). A comparison of Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) in mapping geology and visualising lineaments: A case study of central region Kenya. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, 897-903. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-897-2015>.
- NASA (2022, September 15). *What is Remote Sensing*. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>.

- O'Leary, D. W., Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463-1469. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<1463:LLLSPN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<1463:LLLSPN>2.0.CO;2)
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2016). Remote sensing analysis of geological structures in Peninsular Malaysia using PALSAR data. *2016 IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 6067-6069, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730585>.
- Rahnama, M., & Gloaguen, R. (2014). A MATLAB-Based toolbox for tectonic lineament analysis from satellite images and DEMs, Part 1: Line segment detection and extraction. *Remote Sensing*, 6(7), 5938-5958.
- Qari, M. Y. H. T. (1991). Application of Landsat TM data to geological studies, AlKhabt area, Southern Arabian Shield. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(4), 421-429.
- Suzen, M.L., & Toprak, V. (1998). Filtering of satellite images in geological lineament analyses: An application to a fault zone in Central Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19(6), 1101-1114. <https://doi.org/10.1080/014311698215621>.
- Temiz, H., Poisson, A., Andrieux, J., & Barka, A. (1997). Kinematics of the Plio-Quaternary Burdur-Dinar cross-fault system in SW Anatolia (Turkey). *Annales Tectonicae*, 11(1-2), 102-113.
- Thannoun, R. G. (2013). Automatic extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic significance in some areas of Northern Iraq using remote sensing techniques and GIS. *International Journal of Enhanced Research In Science Technology & Engineering*, 2(2), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20851.99363>.
- Vanderbrug, G. J. (1976). Line detection in satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 14 (1), 37-44. <https://doi.org/10.1109/TGE.1976.294463>
- Won-In K., & Charusiri P. (2003). Enhancement of thematic mapper satellite images for geological mapping of the Cho Dien area, Northern Vietnam. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(3), 183-193. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00034-X)
- Youan Ta, M., Lasm, T., Jourda, J.P., Kouamé, K.F., & Razack, M. (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+et analyse des réseaux de fracture du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Téledétection*, 8(2), 119-135.

## Yüksek doğrulukta kaba inşaat kalemlerinin metrajını hesaplayan YBM tabanlı prototip yazılımın geliştirilmesi

*Development of BIM-based prototype software for the accurate quantity take-off calculation of rough construction items*

Faruk ERGEN<sup>1</sup> , Önder Halis BETTEMİR<sup>\*2</sup> 

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

• Geliş tarihi / Received: 18.05.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 15.10.2022

### Öz

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kullanımı inşaat sektöründe önemli ölçüde yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte küçük ve orta ölçekli yükleniciler YBM yazılımlarının getireceği maliyet ile YBM kullanımına adapte olabilmek için gerekli olan personel eğitimi ve iş alışkanlığı değişimi gereksiniminden dolayı YBM kullanımına uzak kalmaktadır. Bu çalışmada YBM yazılımlarının temel fonksiyonlarından olan 3 Boyutlu görselleştirme ve kaba inşaatın metraj hesaplama işlemlerini gerçekleştirebilen bir yazılım geliştirilmiştir. Python programlama dili ile uyumlu Tkinter Kütüphanesi, Python tabanlı Ursina 3B oyun motoru ve SQLite3 veri tabanı uygulaması kullanılarak insan müdahalesi olmadan beton, betonarme kalıbı ile kalıp iskelesi metrajlarını hesaplayıp 3B görselleştirebilen yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım çok fazla işleve sahip olmadığı için kullanımı kolay kullanıcı ara yüzlerine sahiptir. Bu sayede özel bir personel eğitimi gerektirmeden 2 Boyutlu çizimlere sadece kat yüksekliği gibi derinlik verilerinin girilmesi ile yapının 3 Boyutlu görselleştirilmesi yapılabilmektedir. Buna ek olarak beton, betonarme kalıbı ve kalıp iskelesi metrajları da otomatik biçimde çıkarılmaktadır. Elle yapılan metraj hesabı ile karşılaştırıldığında kalıpta %0.04 oranında sapma olduğu tespit edilmiştir. Yapılan literatür taramasında Revit ile elde edilen metraj verilerinin daha fazla sapabildiği görülmüştür. Geliştirilen YBM yazılımını kullanacak küçük ölçekli yükleniciler daha hassas ve hızlı metraj hazırlayarak daha doğru biçimde maliyet analizi yapma imkânına sahip olacaklardır.

**Anahtar kelimeler:** 3B görselleştirme, Metraj, Python, Tkinter, YBM.

### Abstract

Utilization of BIM among the construction sector has become widespread significantly. However, small and medium scale contractors are reluctant to implement BIM as a consequence of the additional cost and the staff adaptation training requirements as well as major changes at work habits. In this study software, capable of executing the 3-Dimensional visualization and preparation of quantity take-off which are basic functions of BIM software, is developed. Quantity take-off computations of concrete, formwork for the reinforced concrete, and scaffolding for the formwork as well as 3D visualization tasks are executed without human intervention by utilizing Tkinter library which is compatible with Python, Ursina game engine, and SQLite3 database applications. The developed software is not versatile since it has very simple graphical user interfaces. For this reason, 3-Dimensional visualization can be achieved by the definition of depth data such as height of the floor without a special training of the staff. Moreover, quantity take off of concrete, formwork of the reinforced concrete and scaffolding for the formwork can be obtained automatically. The obtained formwork quantity take-off amount is compared with the manual quantity take-off and the comparison revealed that the automated quantity take-off deviates only 0.04%. The literature review illustrate that Revit may not achieve the aforementioned accuracy. The small-scale contractors would have the opportunity of execution of more precise cost analysis by preparing more accurate and fast quantity take-off.

**Keywords:** 3D Visualization, Quantity take-off, Python, Tkinter, BIM.

\* Önder Halis BETTEMİR; onder.bettemir@inonu.edu.tr



## 1. Giriş

### 1. Introduction

İnşa edilen binaların özgün olması sonucunda her bir inşaat projesinde teknik çizimlerin hazırlanması, metrajların hesaplanması, statik hesaplarının yapılması, iş programının oluşturulması ve projenin inşa edilmesi ile ilgili uğraşların baştan yapılması gereklidir. Belirtilen faaliyetler farklı disiplinlerde uzmanlaşmış profesyonellerin birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Ayrıca proje süreci boyunca taraflar arasındaki veri akışı da çok iyi yönetilmelidir. Bununla birlikte inşaat sektörü doğası gereği çok rekabetçidir ve bu nedenle inşaat firmaları inşaat işlerini hızlı ve ekonomik biçimde yürütmek zorundadır. Bu hedefler proje paydaşları üzerinde ciddi baskı yaratmakta ve işlerin yürütülmesi insan hatalarına açık hale gelmektedir.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) inşaat firmaları açısından proje paydaşları arasında iş birliğini arttırmak ve veri akışını yönetmek için uygun bir araçtır. YBM, inşaat sektöründe birçok hatayı önleme potansiyeline sahip bir araç olarak görülmektedir (Zuppa vd., 2009). YBM yazılımları, bir binanın tasarımı, analiz edilmesi ve test edilmesi süreçlerinde makine tarafından okunabilen parametrik nesnelere kullanarak binaların sanal modellerini derleme yeteneğine sahiptir (Sacks vd., 2010). Bu sayede geçmişte ancak çok sayıda yazılım kullanılarak yapılabilen işler sadece bir YBM yazılımı ile yürütülebilmektedir. Teknik çizimlerin hazırlanması, inşaat kalemlerinin metrajlarının hesaplanması ve inşaat işlerinin iş programının yapılması geçmişte farklı yazılımların kullanımını gerektirmekteydi. İnşaat işlerinin yönetiminin tek bir yazılımla gerçekleştirilebilir hale getirilebilmesi yüklenici, mühendis ve mimarlar ile diğer proje paydaşları için birçok fayda sağlayacaktır. Bu faydalar yazılımlar arasında hatalı veri aktarımının yapılabilme riskinin önlenmesi, yazılımlar arasında oluşabilecek versiyon uyumsuzluklarının ortadan kaldırılması, hazırlanan belgelerin tekrar hazırlanma zorunluluğunun ortadan kaldırılması, iş programının daha kolay ve hızlı hazırlanması olarak özetlenebilir (Barlish & Sullivan, 2012).

YBM yazılımlarının belirtilen faydaları dolayısı ile dünya genelinde birçok yazılım firması YBM yazılımlarının üretilmesi veya YBM yazılımları üzerinde çalışan eklentilerin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. YBM yazılımı geliştirilmesi önemli teorik ve uygulama bilgisine sahip olmanın yanı sıra yüksek miktarda sermaye de gerektirmektedir. Ayrıca YBM uygulamaları blok zincir üzerinde veri toplama, saklama ve işleme özelliklerini de barındırdıkları için bu alanda oluşabilecek bir tekelleşme inşaat sektöründeki büyük ölçekli yükleniciler dâhil birçok yükleniciye ait kâr oranları, ihale teklif bedeli ve benzeri bilgilerin belirli veri merkezlerinde saklanması riskini içerecektir. Bu nedenle önemli verileri barındıran YBM yazılımlarının ekonomi için çok önemli olan inşaat sektörüne ait verilerin gizliliği konusunda çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Buna ek olarak yeni ortaya çıkan dijital ikiz yaklaşımını gerçekleştirebilen yazılımların geliştirilmesi ve bu konuda ilerleme kaydederek yol gösterici konuma geçebilmek önemlidir (Sacks vd., 2020). Belirtilen koşulların dikkate alınması sonucunda bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan YBM yazılımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada YBM yazılımı geliştirme sürecinde geline aşama anlatılmakta ve karşılaşılan hesaplama güçlüklerinin nasıl aşıldığı açıklanmaktadır.

Makalenin ikinci bölümünde YBM üzerine yapılan çalışmaların kısa bir özeti sunulmuş, üçüncü bölümde geliştirilen YBM yazılımının özellikleri ve modelleme detayları açıklanmış, dördüncü bölümde ise yapılan bir vaka çalışması gösterilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirilip tartışma bölümünde ise yazılımın uygulanabilirliği ve geliştirilmesi gereken yönleri tartışılmış ve sonuç kısmı ile makale sonlandırılmıştır.

## 2. Bilimsel yazın taraması

### 2. Literature review

YBM kullanımının inşaat sektörüne sağladığı faydalar sayesinde YBM yazılımlarının yeteneklerinin geliştirilmesi üzerine teorik ve uygulamaya yönelik çalışmalar önemli ölçüde hız kazanmıştır. Kalfa (2018) YBM'nin uygulama alanlarını akademik ve endüstriyel çalışmalar ile sertifika ve dokümantasyona yönelik çalışmalar olarak sınıflandırmıştır. Omaran vd. (2019) yaşam döngü maliyet analizini YBM yazılımına bir oyun motoru kullanarak entegre etmişlerdir. İnşaat sürecinin 4 Boyutlu simülasyonunu yapıp kullanım sürecini modelleyerek inşa edilen tesisin işletme giderlerini tahmin etmişlerdir. Uygulamayı kullananlarla bir anket çalışması düzenlemiş ve ankete katılanlar belirgin bir biçimde geliştirilen uygulamanın faydalı olduğu sonucuna varmışlardır. Olsen & Taylor (2017) YBM kullanımının faydalarını tespit etmek için anket düzenlemiş ve en çok fayda sağlayan alanın YBM ile elde edilen metrajın manuel hesaplamalara göre daha

hızlı ve daha doğru olması olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yeteri kadar erken yapılması durumunda YBM risk değerlendirme çalışmasının gerçekleştirilmesinde de yardımcı olabilmektedir.

[Delgado vd. \(2020\)](#) Arttırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) tekniklerinin Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (MMİ) sektörleri tarafından uygulanmasını incelemişlerdir. Dört tartışma grubu kurarak AG ve SG teknolojilerinin mevcut durumlarının faydaları, karmaşıklıkları, zorlukları ve yetersizliklerini ele almışlardır. MMİ sektörlerinin AG ve SG kullanımının sunduğu imkânlardan tam olarak faydalanamadığı sonucuna varılmıştır. [Ozcan-Deniz \(2019\)](#) 18 inşaat şirketi ile anket yaparak SG tekniğinin olası uygulama alanlarını incelemiştir. [Sarı & Pekerçli \(2020\)](#) Türkiye, ABD ve İngiltere’de YBM uygulamaları üzerindeki yasal durumları incelemişlerdir. [Temel & Başağa \(2020\)](#) Endüstri Temel Sınıfları (ETS) dosya formatı kullanılarak aktarılan verilerin yönetmeliklere uygunluğunu incelemişlerdir. Çalışma sonunda YBM yazılımlarının oluşturdukları modellerin yönetmelik ve şartname ihlallerini insan müdahalesi olmadan belirlemede yeterli olduğunu belirlemişlerdir.

YBM ve SG entegre edilmiş sistemler iş güvenliği ve işçi sağlığı eğitiminde ve iş kazalarının önlenmesinde de kullanılmaktadır. [Dhalmahapatra vd. \(2021\)](#) mobil vinç kullanımına bağlı olarak oluşabilecek iş kazalarını önlemek için eğitim amaçlı bir deneysel araç geliştirmişlerdir. [Albahbah vd. \(2021\)](#) SG üzerine detaylı bir literatür çalışması yapmış ve görselleştirmenin inşaat sektörü açısından iş sağlığı ve güvenliği, çakışmaların tespiti ve yapım yönetimi eğitimi alanlarında faydalı olma potansiyelinin bulunduğunu belirlemişlerdir.

Adobe Acrobat Reader yazılımının 9 ve ileri sürümleri 3 Boyutlu model eklenmesini desteklemektedir. [Nadeem vd. \(2015\)](#) Autodesk 3DSMax yazılımında 3 boyutlu modeller çizip “pdf” dosya uzantısı olarak kaydetmiş ve Adobe Acrobat Reader yazılımının 3 boyutlu modelleri destekleme özelliğini kullanarak ücretsiz bir yazılım üzerinde ve cep telefonları da dâhil olmak üzere 3 Boyutlu inşaat çizimlerinin yakınlaşma, uzaklaşma ve döndürme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. [Sacks & Barak \(2008\)](#) 3 Boyutlu modellemenin tasarım ve çizim hatalarını azalttığını, daha kısa teslim süresi sağladığını, verimi arttırdığını ve maliyetleri azalttığını belirtmişlerdir.

[Millman & Aivazis \(2011\)](#) Python programlama dilinin mühendislik problemlerinin çözümüne yönelik yazılım geliştirmede giderek daha uygun bir platform olduğunu belirtmişlerdir. Karmaşık sayılarla işlem yapılabilmesi, verilerin grafiksel gösterimi ve görselleştirme kabiliyetinin Python programlama dilinin giderek yaygınlaşmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. [Quraishi & Dhapekar \(2021\)](#) Python programlama dilinin zorluk düzeyini incelemiş ve inşaat sektörünün hesap tabloları kullanarak gerçekleştirdiği yapım yönetimi uygulamaları ve şantiye yönetimi uygulamalarının kolaylıkla Python dilinde inşaat mühendisleri tarafından kodlanabileceğini ifade etmişlerdir. [Sarvade & Pore \(2021\)](#) betonarme kiriş tasarımı yapabilen bir yazılımı Python programlama dilinde geliştirmişlerdir. Yazılımın geliştirilmesinde Python programlama dili ile uyumlu NumPy, SciPy, Pandas ve Matplotlib kütüphaneleri kullanılmıştır.

İnşaat işlerinin metraj hesaplamaları insan hatasına açıktır ve elle yorucu düzeyde hesaplama yapılmasını gerektirir. [Bettemir \(2018\)](#) kazı, beton ve betonarme kalıbı metrajlarının minha hesaplama süreçlerindeki iş yükünü hafifletmek için bir yöntem ve hesaplama süreci önermiştir. [Bettemir vd. \(2019\)](#) ile [Bettemir & Yücel \(2021\)](#) metraj hesaplamalarında yapı elemanlarının temas ettiği uzunluk, alan ve hacim değerlerini bina geometrisine bağımlı biçimde hesaplamışlardır. [Bettemir & Bulak \(2022\)](#) metraj hesaplamalarını aks birleşimlerini daha fazla özel durumu kapsayacak şekilde formülleştirerek tüm binalar için uygulanabilir duruma getirmişlerdir. [Khosakitchalert vd. \(2018, 2019a, 2019b, 2019c\)](#) çalışmalarında Dynamo yazılımının 1.3.3.4111 sürümünü duvar ve yer kaplama malzemelerinin metraj hesaplama başarısını kendi geliştirdikleri yöntemle karşılaştırmışlardır. YBM üzerinde gerçekleştirilen metraj hesaplamaları elle yapılan metraj hesaplamalarından çok daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Buna karşın hesap hatası yapılmamışsa elle yapılan metrajlar tam sonuca sahiptir ve daha doğrudur. [Yoon vd. \(2020\)](#) isim vermeden 3 farklı ticari YBM yazılımı ile metraj hesaplamış ve yazılımların donatı metrajında tam doğru değerden sırası ile %-7.9, %-27.2 ve %-15.8 hatalı değerler sunduğunu belirlemişlerdir. Buna ek olarak betonda %-10 kalıpta ise %4.3 mertebesinde hatalı metraj sonuçları elde edilmiştir. [Pratoom & Tangwiboonpanich \(2016\)](#) Revit 2016 versiyonunu kullanarak donatı metrajı hesaplatmışlar ve gerçek değer Revit 2016’nın sunduğu değerden %17.76 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. [Sherafat vd. \(2022\)](#) Revit’te gerçekleştirilen donatı metrajının %-6 mertebesinde hatalı olduğunu vaka çalışmasında belirlemiştir. YBM yazılımları arasında YBM projelerinin okunabilmesini sağlayan ETS formatının proje paydaşları arasında iş birliğini önemli derecede artırmasına rağmen otomatik metraj hesaplamada %25’e kadar hata yapabilme potansiyeli olduğunu tespit

etmişlerdir. Hatanın büyük bir kısmının YBM yazılımları arasında ETS formatındaki dosyaların paylaşılması ve okunması sırasında bazı elemanların geometrik pozisyon bilgilerinin hatalı kaydedilmesi sonucu oluştuğu belirlenmiştir.

Bayram (2020) Autodesk Revit ve Nemetschek Allplan yazılımlarının sunduğu metraj değerlerini incelemiş ve 20 cm kalınlığındaki duvar metrajında değerlerin %4'ün üzerinde saptığını belirlemiştir. Ergen & Bettemir (2022) Türk inşaat sektörü tarafından yaygın olarak kullanılan 2 yazılımın kalıp ve beton metraj değerlerini karşılaştırmış ve %4 mertebesinde hatalı sonuçlar verebildiklerini belirlemiştir. Lee vd. (2014) yer döşemesi iş kaleminin metraj ve maliyet hesaplamalarını insan müdahalesiz biçimde yapan bir sistem geliştirmişlerdir. Odanın kullanım amacı, karonun türü, boyutları, malzeme türü gibi iş koşullarının sisteme tanıtılması ile önceden uzman görüşleri doğrultusunda eğitilmiş sistem işçilik ve malzeme maliyeti tahmini yapmaktadır. Choi vd. (2015) binaların ön tasarım safhasında metraj hesaplayan bir sistem geliştirmişlerdir. OpenBIM yazılımına ETS verileri aktararak verinin doğruluğu denetlenmiş ve metraj hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Liu vd. (2016) metraj hesaplamalarında ontoloji tabanlı semantik bir yaklaşım geliştirerek nesnelerin birbirleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması ile daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde etmişlerdir. Kurulan ilişkilerde duvarın kapı pencere gibi başka nesnelere barındırabileceği tanımlanarak minhalar daha doğru hesaplanabilmiştir. Kim vd. (2022) yapının tanımlanması sırasında oluşturulan modellerdeki çelişkileri incelemiş ve bunların metraj üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Uygulanan inşaat tekniğine uyumsuz biçimde oluşturulan kompozit duvar ve prefabrik elemanların metraj değerlerinin %6 mertebesinde sapabileceği belirlenmiştir. Liu vd. (2022) metraj hesaplamalarında semantik bir model geliştirerek YBM yazılımlarının metraj hesaplaması üzerine mevcut durumlarındaki yetersizliklerin önemli bir kısmını gidermişlerdir. Döşeme-duvar, döşeme-kiriş, döşeme-kolon ve döşeme duvar birleşimlerinin geometrisi ve kesişim alanları tanımlanmış ve daha yüksek doğrulukta metraj hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Farklı inşaat yöntemi uygulamak da metraj değerini etkileyebilmektedir. Bir kaya temel kazısının gerçekleştirilmesi için hidrolik kırıcı veya ripper bıçağı kullanımı bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Bettemir vd., 2021). Belirtilen durum göz önüne alındığında metrajın YBM ile hazırlanması farklı inşaat yöntemlerinin uygulanmasının karşılaştırılmasında yardımcı olabilecektir.

Mevcut durumda YBM yazılımları yapısal ve mimari elemanların karmaşık biçimdeki kesişimlerini tam olarak belirleyememektedir. Bu nedenle oluşan kesişim alanı veya hacmi kabullenmelerle hesaplanmakta ve metraj sürecindeki minhaların bir kısmı kabullenmeler yardımıyla belirlenmektedir. Bunun sonucunda hesaplanan metraj gerçek değerden sapabilmektedir. Kolon-kiriş, kolon-döşeme ve kiriş-döşeme kesişimleri basitleştirme yapılan kesişim hesaplamalarına örnek olarak gösterilebilir. Kesilen elemanların tespit edilebilmesi kadar, kesişimin olduğu kısmın da tespit edilmesi minhanın doğru hesaplanabilmesi için önemlidir. Belirtilen sorunun çözümü için yazılım firmaları ve akademi yoğun biçimde çalışmaktadır. Bu çalışmada Python programlama dili ve bu dille uyumlu biçimde 3 Boyutlu görselleştirme yapabilen Ursina oyun motoru ve Tkinter Kütüphanesi kullanılarak YBM özelliklerine sahip bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım 3 Boyutlu görselleştirme yapabilmekte ve beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajlarını yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir. Bu sayede literatür ve uygulamadaki önemli bir boşluğu doldurulması hedeflenmiştir.

### 3. Materyal ve metod

#### 3.1. Material and method

Python programlama dili içerisinde bulunan Tkinter Kütüphanesi, Python tabanlı Ursina 3B oyun motoru ve SQLite3 veri tabanı kullanılarak YBM tabanlı inşaat planlaması ve 3B görselleştirme işlemlerini gerçekleştiren bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın geliştirim süreci çizim ara yüzünün tasarlanması, çizim komutlarının alınması, veri tabanı oluşturulması ve veri tabanının yönetilmesi, metraj ve maliyet hesaplamalarının yapılması ve 3 Boyutlu görselleştirme aşamalarından oluşmaktadır.

#### 3.1. Çizim ara yüzünün oluşturulması

##### 3.1.1. Preparation of graphical user interface for drawing

Tkinter, Python programlama dili için standart olarak kullanılan bir Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA) kütüphanesidir. Çapraz platform olan Tkinter Kütüphanesinin Windows işletim sistemi dışında MacOS ve Unix gibi birçok işletim sisteminde çalışabilme özelliği güçlü ve sağlam ara yüzler oluşturma imkânı sağlamaktadır. Bu sayede Tkinter Kütüphanesinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

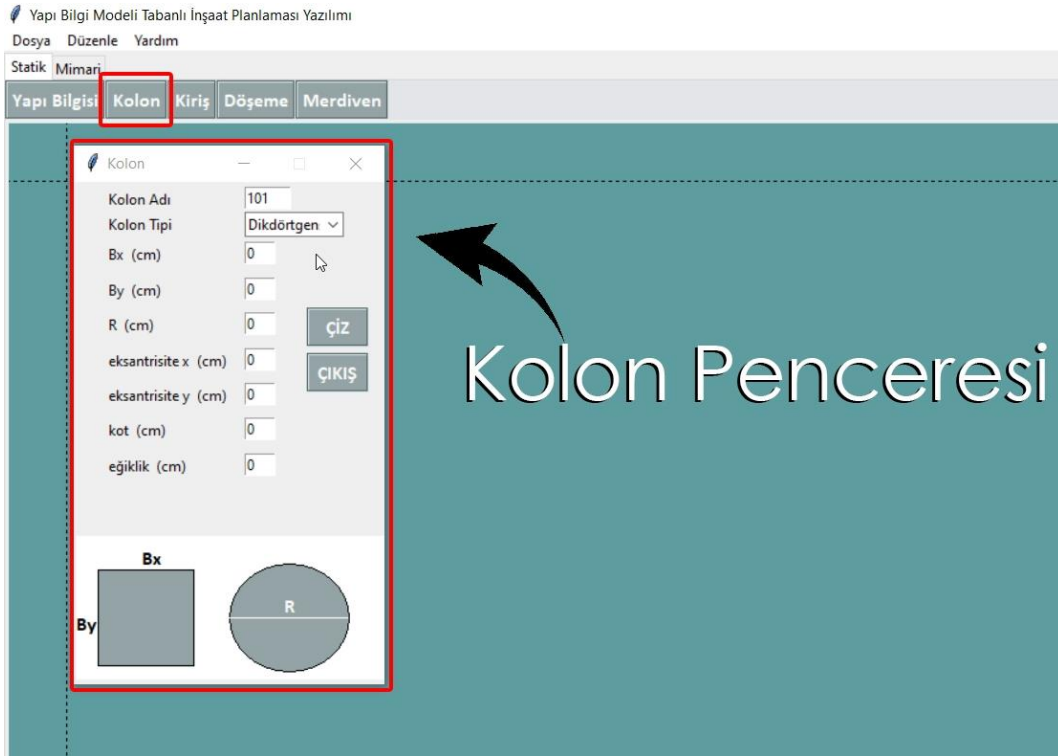
Tkinter kütüphanesindeki *Tk()* sınıfı ile geliştirilen yazılımın ana penceresi oluşturulmaktadır. Oluşturulan ana pencere üzerinde çizim ara yüzü, butonlar ve diğer araçların yerleri belirlendikten sonra *Frame()* sınıfı kullanılarak araçlar gruplandırılmaktadır. *Frame()* sınıfı, farklı araçların ana penceredeki konumlarına göre düzenlenmesi ve gruplandırılması işlemlerinin gerçekleştirilmesi için çerçeve oluşturmaktadır. Şekil 1'de butonları bir arada tutan çerçevenin oluşturulmasını sağlayan kod parçacığı sunulmuştur. Tkinter kütüphanesinde geometri yönetimini gerçekleştirmek için *pack()*, *grid()* ve *place()* metotları kullanılmaktadır.

```
buttonFrame = Frame(tab1, width=1535, height=40, bd=0, bg="#E5E7E9")
buttonFrame.grid(row=0, column=0, sticky="nsew")
```

**Şekil 1.** *Frame()* sınıfı kullanılarak çerçeve oluşturulması  
**Figure 1.** *Frame formation by the Frame() class*

Çizim ara yüzünü oluşturmak için üzerinde çizim yapılabilen tuvali düzenleyen *Canvas()* sınıfı kullanılmıştır. Çizgi, dikdörtgen, çokgen, yay gibi birçok şekli çizmek için içerisinde metotlar bulundurmaktadır. *Canvas()* sınıfı ile oluşturulan çizim ara yüzü penceresinde ekran kaydırma, pan, işlemi yapılabilmesi için *Canvas()* sınıfı içerisindeki *scrollregion* komutu kullanılmıştır.

Çizilecek yapı elemanlarının özelliklerinin kullanıcı tarafından girilmesini sağlamak için açılan (pop-up) pencereler, *TopLevel()* sınıfı ile oluşturulmuştur. *Button()* sınıfı kullanılarak butonlar oluşturulmuştur. Şekil 2'de tıklandığında ilgili yapı elemanını tanımlamak için kullanıcı ara yüzü penceresini açan butonlar gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Yapı elemanlarından kolona ait özelliklerin girilmesini sağlayan pencere  
**Figure 2.** *Window providing the data entrance of the column structural element*

Kolona ait özelliklerin girilmesini sağlayan ve Şekil 2'de sunulan penceredeki metinler *Label()* sınıfı ile oluşturulmuştur. *Label()* sınıfı, resim ya da metinlerin pencere içerisinde görüntülenmesini sağlamaktadır. Kolon penceresindeki metin kutuları ise *Entry()* sınıfı ile oluşturulmuştur. *Entry()* sınıfı, kullanıcı tarafından girilen veriler için girdi kutuları sağlamaktadır. Şekil 3'te kolon penceresine ait *Label()* ve *Entry()* sınıflarının kullanıldığı bir kod parçacığı sunulmuştur.



```
label_column_name = Label(column_data_popup, text="Kolon Adı")
label_column_name.place(relx=0.10, rely=0.01)

entry_column_name = Entry(column_data_popup, textvariable=kolon_ad, width=6)
entry_column_name.place(relx=0.55, rely=0.01, relwidth=0.15)
```

**Şekil 3.** Label() ve Entry() sınıflarının kullanımı

*Figure 3. Utilization of Label() and Entry() classes*

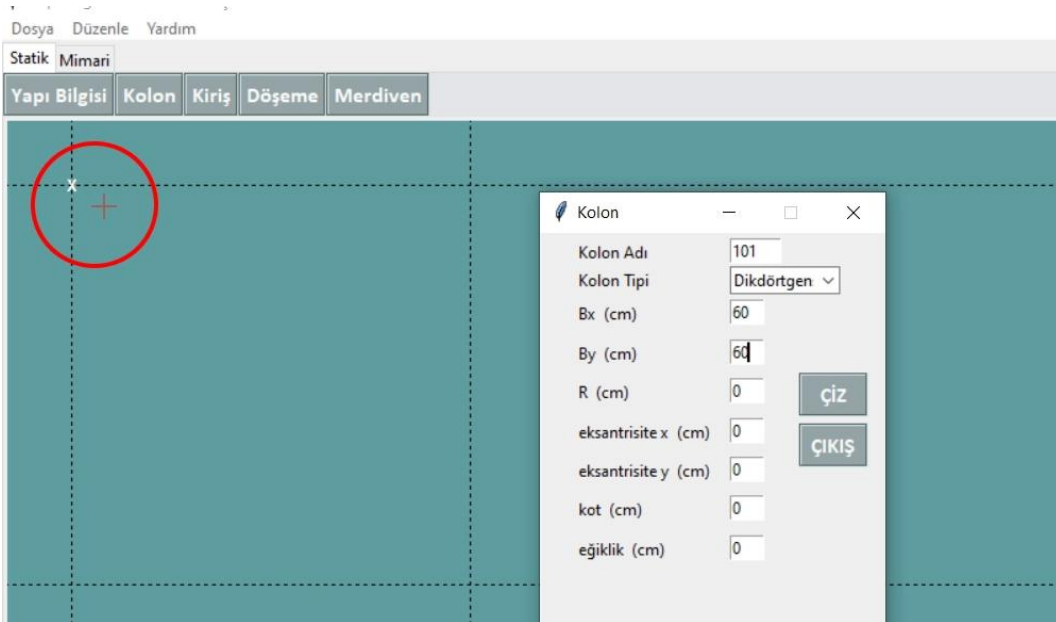
Entry() sınıfları ile oluşturulan girdi kutularındaki değerleri saklamak için değişkenlerden yararlanılır. Örneğin tamsayı saklamak için *IntVar()* sınıfı kullanılırken, dizi ya da karakter saklamak için *StringVar()* sınıfı kullanılmaktadır. Değişkenler aracılığıyla bellekte saklanan değerlerin çağırılması için *get()* metodundan yararlanılır. Örneğin Şekil 3'te kolon\_ad değişkenini *kolon\_ad.get()* komutu ile çağrılabilir.

### 3.2. Çizim komutlarının işlenmesi

#### 3.2. Transaction of drawing commands

Çizim için oluşturulan “Çiz” butonuna basıldıktan sonra çizimi gerçekleştiren fonksiyon çağrılmaktadır. Python dilinde fonksiyon oluşturmak için fonksiyon adının önünde “def” anahtar sözcüğü kullanılır. Çizilecek elemanın şekline göre *Canvas()* sınıfına ait komutlar kullanılır. Örneğin dikdörtgen kolon elemanının 2B gösterimi için *create\_rectangle()* komutu kullanılmıştır. Komutlar yalın haliyle değil elemana göre özelleştirilmiş haliyle kullanılmıştır. Çizim fonksiyonunun fare tıklamaları ile gerçekleştirilmesi için *bind()* komutu kullanılmıştır. *bind()* komutu, belirli bir işlemin belirli bir pencerede fare ve klavye düğmelerini kullanarak gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

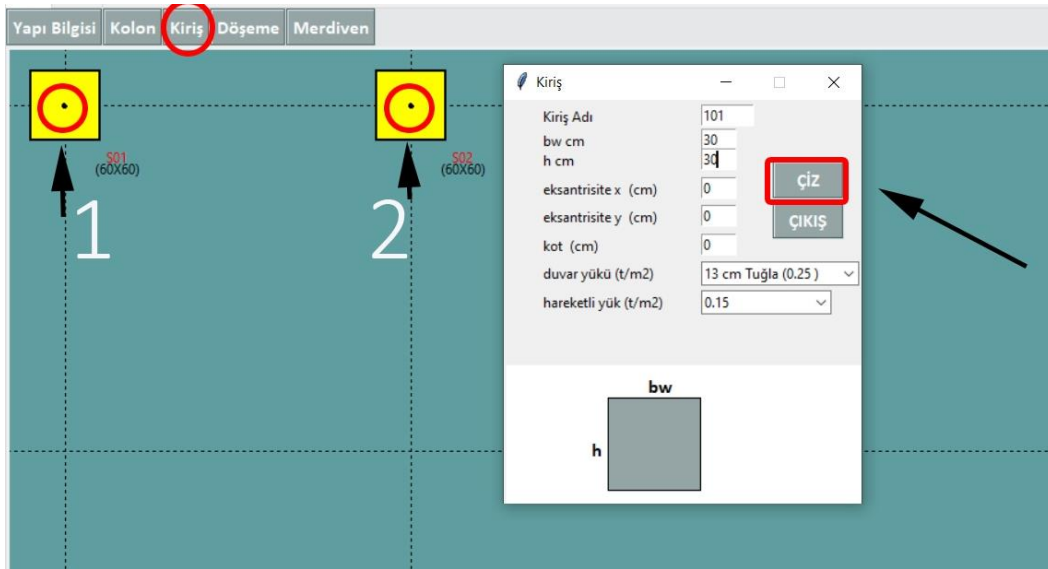
Çizilecek yapısal eleman ile ilgili gerekli öznitelik bilgileri Şekil 2’de sunulan ara yüz kullanılarak girildikten sonra “Çiz” butonuna basılarak girilen veriler kaydedilir. Ardından çizim ekranı üzerindeki akslar yardımıyla elemanın çizileceği yere farenin sol tuşu ile tıklanarak çizim gerçekleştirilir. Kolonun çizimle tanımlanması sırasında çizimin gerçekleştirilmesi için tek fare tıklaması yeterli iken giriş gibi elemanlar için 2 tıklama noktası gerekmektedir.



**Şekil 4.** Kolon çizimi için tanımlanan veriler

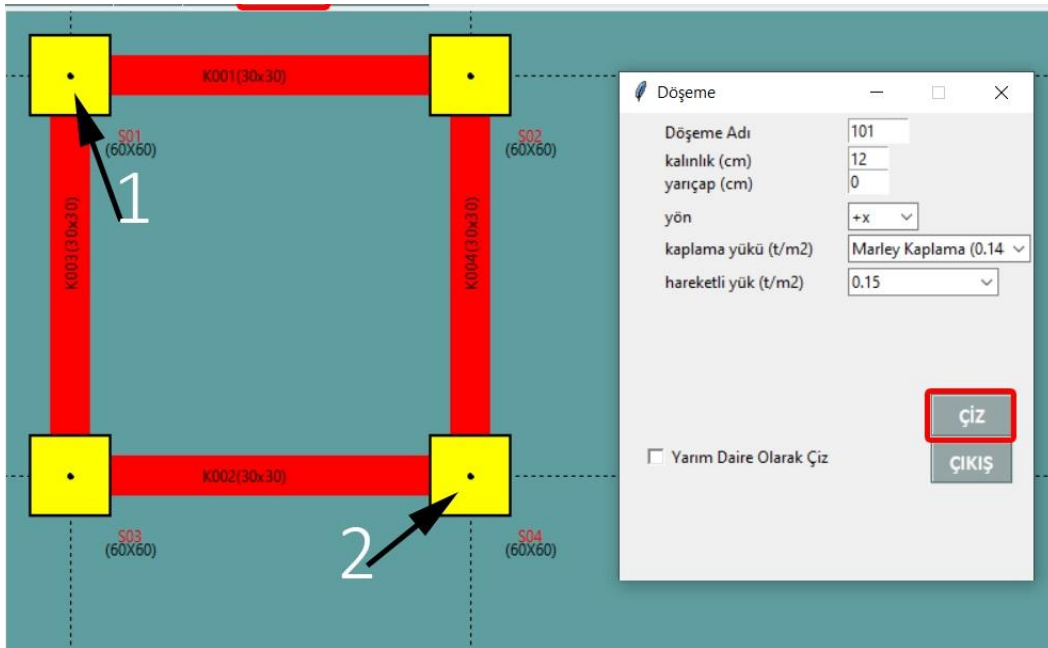
*Figure 4. Defined data for the drawing of column*

Kiriş elemanını çizmek için “Kiriş” butonuna basıldıktan sonra açılan pencerede kirişe ait özellikler girilir ve “Çiz” butonuna basılır. Ardından Şekil 5’te gösterildiği gibi sırasıyla 1 ve 2 numaralı düğüm noktalarına sol tıklanarak kirişin çizimi gerçekleştirilir.



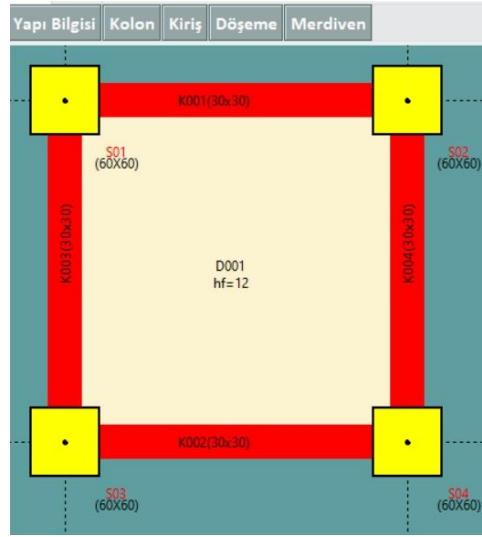
**Şekil 5.** Ara yüz ekranında 1 ve 2 ile ifade edilen kısımlara sol tıklanarak kirişin çizilmesi  
**Figure 5.** Drawing of beam by left clicking the points 1 and 2 at the drawing interface

Döşeme elemanını çizerek tanımlayabilmek için döşemeyi taşıyacak olan tüm kolon ve kirişler Şekil 2, 4 ve 5'te ifade edildiği biçimde tanımlanmalıdır. Döşemenin özniteliklerini tanımlamak için "Döşeme" butonuna basıldıktan sonra açılan pencerede döşemeye ait özellikler girilir ve "Çiz" butonuna basılır. Ardından Şekil 6'da gösterildiği gibi sırasıyla 1 ve 2 numaralı düğüm noktalarına farenin sol tuşu ile basılır. Böylece döşeme elemanının çizimi gerçekleştirilir.



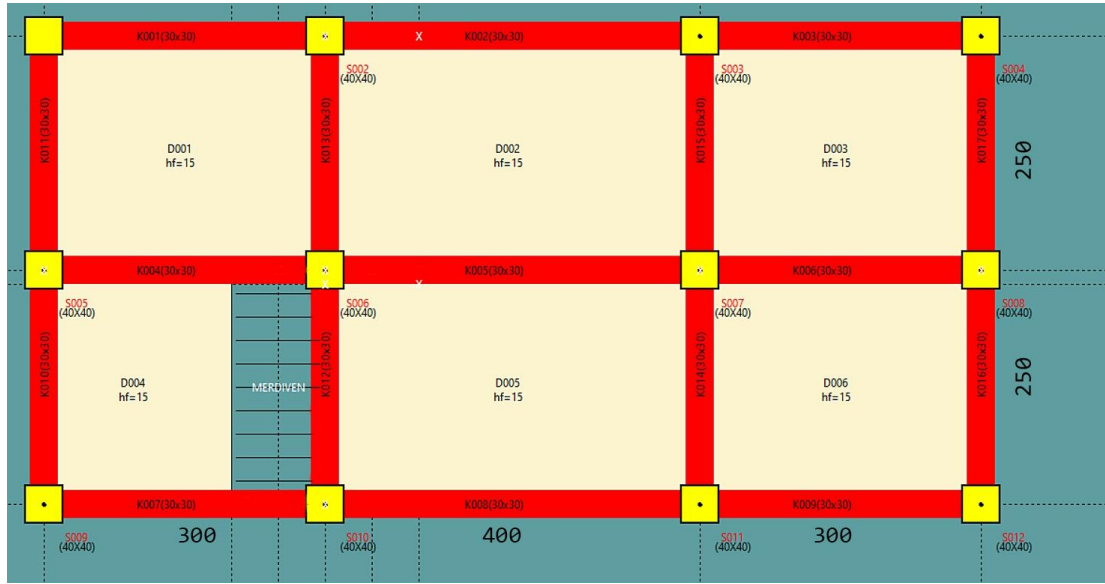
**Şekil 6.** Döşeme özelliklerinin girilmesini sağlayan döşeme ara yüz ekranı  
**Figure 6.** Graphical user interface which provides the definition of slab attributes

Veri girişinin tamamlanması ile Şekil 7'de gösterilen döşeme çizilmiş olur. Çizimi gerçekleştirilen elemanlar birer nesne olarak Python'da oluşturulan bir liste içerisine eklenmektedir. Kolon, kiriş ve döşeme yapısal elemanları için farklı listeler oluşturulmuştur. Aynı sınıfa ait elemanlar aynı liste içerisine eklenmektedir. Çizilen bir elemanı silmek için eleman üzerinde sağ tıklanarak çıkan menüden "Sil" seçeneğine tıklanır. 2B çizim ekranında silinen eleman ayrıca özniteliklerini saklayan liste içerisinde de silinmektedir.



**Şekil 7.** Döşemenin çizilerek tanımlanmasının gerçekleştirilmesi  
**Figure 7.** Definition of slab by drawing

Çizilecek elemanların doğru noktaya konumlanması için fare ile düğüm noktasına yaklaşıldığında kullanıcıyı bilgilendirme amaçlı metinle uyarı verilmektedir. Uyarı çıktığında çizimi gerçekleştirmek için farenin sol tuşuna basıldığında çizim tam olarak istenilen noktaya göre çizilecektir. Kullanıcının bilgilendirilmesi sayesinde çizimler daha az hata ile gerçekleştirilmekte ve hesaplamalar daha doğru sonuç vermektedir. Geliştirilen YBM yazılımı ile çizilen yapının kalıp planı Şekil 8'de sunulmuştur.



**Şekil 8.** 2 katlı yapının birinci kat planının gösterimi  
**Figure 8.** Illustration of floor plan of the two-story building

### 3.3. Veri tabanı oluşturulması ve veri tabanının yönetilmesi

#### 3.3.1. Formation and management of database

Yapısal elemanların öznitelik bilgilerinin saklanması, sorgulanması, silinmesi ve değiştirilebilmesi için yazılıma ilişkili bir veri tabanının olması gereklidir. Geliştirilen programda veri tabanı oluşturmak için *sqlite3* veri tabanı motoru kullanılmıştır. *SQLite* açık kaynak kodlu veri tabanı motorudur. Yapılandırılmış verilerin saklandığı veri tabanları YBM yazılımları için çok büyük bir öneme sahiptir. YBM tabanlı geliştirilen programda çizilen yapı elemanların özellikleri, yapı bilgileri vb. nitelik bilgileri *sqlite3* ile oluşturulan veri tabanında kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen veriler daha sonra metraj hesaplamalarında ve yapının 3B modelinin oluşturulmasında kullanılmaktadır.



Şekil 9’da çizimi gerçekleştirilen döşemelere ait öznelik verilerinin saklandığı veri tablosu sunulmuştur. Döşemelerin başlangıç ve bitiş noktaları, döşeme kalınlığı, kaçınca kata ait olduğu gibi bilgiler veri tabanında saklanmaktadır.

	id	Xbas	Ybas	Xbit	Ybit	hf	dosemeNo	dosemeAd	dosemeTipi	dosemeCapi	mevcutKat
	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre
1	1	50	50	300	350	12	2392	001	0	0	0
2	2	50	50	300	350	12	100	101	0	0	1
3	3	300	50	600	350	12	2479	002	0	0	0
4	4	300	50	600	350	12	103	102	0	0	1
5	5	600	50	850	350	12	2553	003	0	0	0
6	6	600	50	850	350	12	106	103	0	0	1
7	7	300	350	600	600	12	2621	005	0	0	0
8	8	300	350	600	600	12	109	105	0	0	1
9	9	600	350	850	600	12	2684	006	0	0	0
10	10	600	350	850	600	12	112	106	0	0	1
11	11	50	350	200	600	12	2878	004	0	0	0
12	12	50	350	300	600	12	115	104	0	0	1

**Şekil 9.** sqlite3 ile oluşturulan döşeme veri tablosunda saklanan veriler

**Figure 9.** Data table of the data of slab stored at the database formed by sqlite3

Python *sqlite3* ile veri tabanı oluşturmak için *connect()* metodunu kullanarak *sqlite3* ile etkileşime geçilmektedir. Ardından veri tabanında işlem yapabilmek için *cursor()* metodu kullanılarak bir nesne oluşturulmaktadır. Veri tabanında yapılacak işlem *execute()* metodu ile yerine getirilmektedir. Açılan her veri tablosu işlem tamamlandıktan sonra *close()* metodu ile kapatılmalıdır aksi takdirde bellekte yer kaplamaya devam eder. Şekil 10’da kiriş elemanı için “beam.db” adında bir veri tablosu oluşturan örnek kodlama gösterilmektedir. SQLite veri tabanı motoru Windows, MacOS, Android işletim sistemlerinde sorunsuz biçimde çalışabilmesi her platformda çalışabilecek bir YBM yazılımı geliştirilebilmesi açısından önemli bir avantajdır.

```
def beam_data():
    con_3 = sqlite3.connect("beam.db")
    cur_3 = con_3.cursor()
    cur_3.execute(
        "CREATE TABLE IF NOT EXISTS beam (id INTEGER PRIMARY KEY, \
        Gx text, Gy text, Genislik text, Derinlik text, Uzunluk text, Gxbas text, Gybas text, \
        Gxbit text, Gybit text, KirisEx text, KirisEy text, kirisNo text, kirisAd text, mevcutKat text)"
    )
    con_3.commit()
    con_3.close()
```

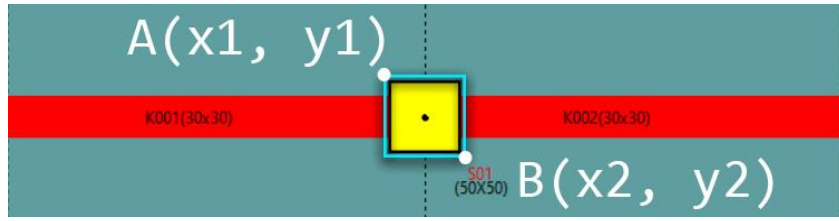
**Şekil 10.** sqlite3 ile veri tablosu oluşturma

**Figure 10.** Formation of data table by sqlite3

### 3.4. Çizilen elemanların komşuluklarının tespit edilmesi

#### 3.4. Detection of the neighborhood of the drawn elements

Metrajın yüksek doğrulukta gerçekleştirilebilmesi için birbirlerine komşu olan yapısal elemanların belirlenmesi gerekmektedir. Komşu elemanların birbirlerine hangi konumda temas ettikleri ve temas yüzeyinin boyutu hesaplanmalıdır. Ayrıca döşemede kolon dışı olması gibi durumların tespit edilebilmesi için bir taşıyıcı elemanın başka bir taşıyıcı elemanın sınırlarını tanımlayan poligonun sınırlarının içine geçip geçmediğinin tespit edilmesi ve iç içe geçen elemanların ne kadar boyutta örtüştüğünün belirlenmesi gereklidir. Şekil 11’de S01 kolonuna saplanan K001 ve K002 kirişleri gösterilmektedir. Bu kirişlerin hangi kolona saplandığı ve kolonun kalıp alanı hesaplanırken ne kadar alan düşülmesi gerektiğini YBM yazılımının hesaplayabilmesi gereklidir. Ayrıca Şekil 8’de gösterildiği gibi kolonlar döşeme içine geçebilmektedir. Döşemelerin beton ve kalıp metrajlarını doğru hesaplayabilmek için kolonun ne kadarının döşeme sınırlarına geçtiğinin hesaplanması gereklidir.



**Şekil 11.** S01 kolonu ve komşu kirişlerin gösterimi

**Figure 11.** Illustration of the S01 column and the neighboring beams

Tkinter kütüphanesinin sınıflarından biri olan *Canvas()* sınıfına ait *find\_overlapping()* ve *find\_closest()* fonksiyonları yapı elemanlarının komşuluklarını tespit etmek için kullanılmıştır. Bu metotlar arasında en iyi sonucu veren metot yapı elemanının durumuna ve sonucun doğruluğuna göre tespit edilmiştir. Şekil 11’de gösterilen S01 kolonuna komşu olan elemanları tespit etmek için öncelikle kolona ait veri tabanından S01 kolonunun koordinat bilgileri çekilir. Elde edilen koordinat bilgileri doğrultusunda S01 kolonuna komşu olan elemanları tespit etmek için kolonun ebatlarından biraz daha büyük bir alan için önceden tanımlı bir tampon değeri kullanılarak oluşturulur. Şekil 11’de S01 kolonuna ait komşu elemanları tespit edebilmek için  $(x_1, y_1)$  ve  $(x_2, y_2)$  noktalarından geçen bir dikdörtgen alan oluşturulur. Ardından “*find\_overlapping(x1,y1,x2,y2)*” fonksiyonu ile ilgili parametreler girilerek oluşturulan dikdörtgen alanı içerisinde arama yapılır. Arama sonuçlarında birden çok eleman tespit edilebilir. Bu yüzden istenilen elemanı tespit edebilmek için çizim aşamasında çizilen elemanlara “tag” parametresi verilmektedir. Örneğin kirişler için “tag” parametresi “tag=kiriş” olarak verilmiştir. “tag” parametresine göre eşleştirme yapılarak istenilen eleman türünde komşu elemanlar tespit edilmektedir.

### 3.5. Metraj ve maliyet hesabı

#### 3.5. Quantity take-off and cost computations

Geliştirilen YBM yazılımı kalıp, beton ve kalıp iskelesinin metrajını hesaplayabilmektedir. Ayrıca tanımlanan rayiç değerleri kullanarak yaklaşık maliyet hesaplamaktadır.

#### 3.5.1 Kalıp metrajı

##### 3.5.1. Quantity take-off of formwork

Kalıp metrajı hesabı için izlenen işlem adımları aşağıda özetlenmiştir;

1. Yapı elemanlarının kolon-kiriş, kolon-döşeme ve kiriş-döşeme komşulukları tespit edilir.
2. Komşulukların temas alanları hesaplanır.
3. Hesaplanan temas (minha) alanları ilgili elemanın brüt kalıp metrajı sonucundan çıkartılarak elemanın kalıp metrajı hesaplanır.
4. İşlem 1-2-3 kalıp planındaki tüm elemanlar için uygulanır.
5. Tüm elemanların kalıp metrajı toplanarak toplam kalıp metrajı elde edilir.

#### 3.5.2 Beton metrajı

##### 3.5.2. Quantity take-off of concrete

Beton metrajı hesabı için ilgili elemanların ebatları veri tabanından çekilir. Kolon ve kirişlerin beton metrajı genişlik, uzunluk ve yükseklik değerlerinin çarpılması ile elde edilir. Döşemelerin beton metrajında ise kolonların komşuluklarının hesaplanması gereklidir. Belirtilen işlemin akış şeması aşağıda verilmiştir.

1. Kolon-döşeme komşulukları tespit edilir.
2. Komşulukların temas alanları hesaplanır.
3. Hesaplanan temas (minha) alanları ilgili döşemenin brüt alanından çıkarılır.
4. Elde edilen alan döşeme kalınlığı ile çarpılır ve beton miktarı elde edilir.
5. İşlem 1-2-3-4 tüm döşemelere uygulanır.

### 3.5.3 Kalıp iskelesi metraji

#### 3.5.3. Quantity take-off of scaffolding for the formwork

Kalıp iskelesi betonarme kalıplarının taze betonun ağırlığını taşıyamaması nedeniyle kalıpları desteklemek için inşa edilen iskeledir. Kalıp iskelesi metraji beton dökülen bölgede desteklenmesi gereken kalıplar için kurulacak olan iskelenin hacminin hesaplanmasını gerektirir. Kalıp iskelesi metraji için hesaplanacak olan katın yüzey alanı ile kat yüksekliği çarpılır. Çarpım sonucundan ilgili katın beton metraji çıkartılarak kalıp iskelesi kurulacak kesimin hacmi hesaplanır. Belirtilen işlemin akış şeması aşağıda verilmiştir.

1. Kolon-döşeme-kiriş yapı elemanlarının yüzey alanı hesaplanır.
2. Alan değeri kat yüksekliği ile çarpılır.
3. Hesaplanan hacimden beton hacmi çıkarılır ve kalıp iskelesi miktarı elde edilir.

### 3.5.4 Yaklaşık maliyet hesabı

#### 3.5.4. Computation of the approximate cost

Metraj değerlerinin, metraj kalemlerinin birim fiyatları ile çarpılması sonucu ilgili iş kaleminin yaklaşık maliyeti hesaplanır. İnşaat sektöründe yaygın olarak Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından açıklanan birim fiyatlar kullanılmaktadır. Fakat yüklenici inşaatın zorluk derecesine, inşaatın yapıldığı bölgeye göre inşaatı daha farklı birim maliyete yapabilir. Bu nedenle iş paketlerinin birim fiyatları kullanıcı tarafından Şekil 12’de gösterilen grafik ara yüz ile tanımlanmaktadır.

TARIF	BİRİM FİYAT (TL)
HAZIR BETON	260
PLYWOOD KALIP	70
KALIP İSKELESİ	15

**Şekil 12.** Birim fiyat tanımlama ara yüz penceresi

**Figure 12.** Graphical user interface for the definition of unit prices

Pencere üzerinde bulunan “Birim Fiyat” butonuna basıldığında açılan ara yüz ekranına ilgili tarifler için rayiç bedelleri kullanıcı tarafından girilir. Ardından “Metraj Hesabı” butonuna basılarak metraj ve maliyet hesabı yapılır. Sonuçlar Rapor şeklinde yeni bir pencere açılarak kullanıcıya sunulur.

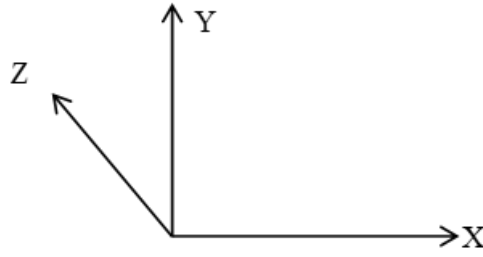
### 3.6. Yapının 3 boyutlu görselleştirilmesi

#### 3.6. 3-Dimensional visualization of the structure

Geliştirilen program ile taşıyıcı sistemi çizilen bir yapının 3 Boyutlu Modelini oluşturmak için Python programlama dilinde Ursina Oyun Motoru kullanılmıştır. Python 3.6 ve üzeri sürümlerde uyumlu biçimde çalışan Ursina, açık kaynak kodlu bir oyun motorudur. 3 Boyutlu görselleştirmenin sağlıklı biçimde yapılabilmesi için koordinat sisteminin tutarlı biçimde tanımlanması gereklidir. Grafik motorlarının koordinat sistemi tanımlamaları yapı elemanı ve çizim programından aktarılan koordinatların dönüştürme işleminden sonra kullanılabilmesini sağladığı için genellikle sol el kuralına uymaktadır. Ursina oyun motorunun koordinat tanımlaması Şekil 13’te sunulmuştur.

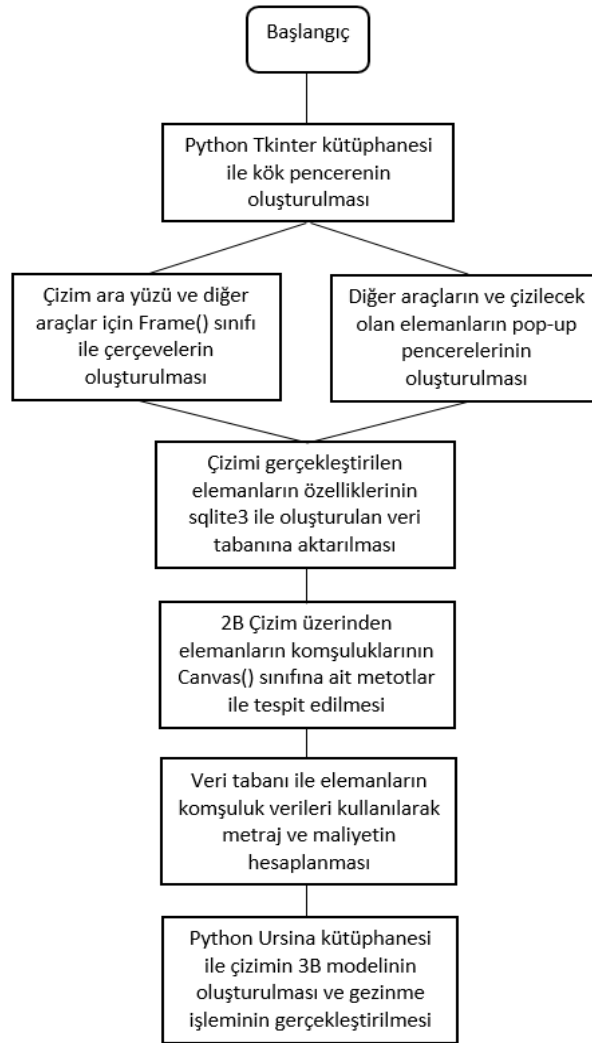
Yapının elemanlarının 3B Modelini oluşturmak için yapı elemanlarının alanları ve kalınlıkları veri tabanından sorgulama ile elde edilir. Ardından Ursina kütüphanesindeki *Entity()* sınıfı kullanılarak ilgili elemanın 3B Modeli oluşturulur. 3B Modeli oluşturulan yapının içerisinde gezinme işlemi için *FirstPersonController()* sınıfından bir FPS nesnesi oluşturulur. Oluşturulan nesnenin hareket edebilmesi için x, y ve z parametrelerine bir tam sayı değeri girilmelidir. Klavyeden “W, A, S, D, Boşluk” tuşlarını kullanarak oluşturulan nesneyi

hareket ettirerek yapı içerisinde gezinilebilir. TBM yazılımının geliştirme sürecinin akış şeması Şekil 14'te sunulmuştur.



Şekil 13. Ursina koordinat sistemi tanımının gösterimi

Figure 13. Illustration of the definition of Ursina coordinate system



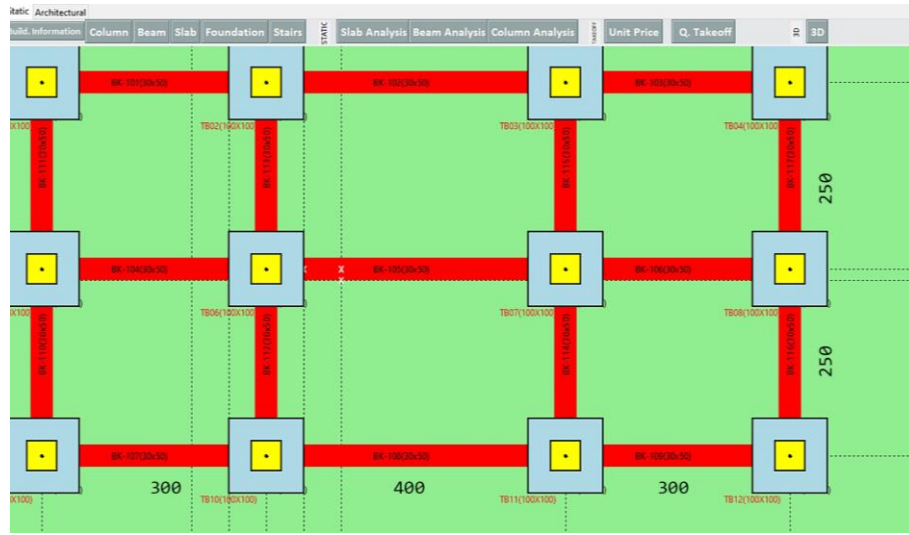
Şekil 14. YBM yazılımı geliştirme sürecinin akış şeması

Figure 14. Illustration of the flowchart of the BIM software development process

#### 4. Vaka analizi

##### 4. Case study

Geliştirilen YBM özelliklerine sahip yazılımın yetenekleri iki katlı bir hipotetik betonarme projesi üzerinde denenmiştir. Şekil 8'de gösterilen kat planı çizilmiş, ayrıca yapının tekil temeli ve bağ kirişlerinin Şekil 15'te sunulduğu gibi tasarım çizimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. Yapının tekil temel planının gösterimi

Figure 15. Illustration of single footing plan of the two story building

Geliştirilen yazılım yöntem kısmında açıklanan algoritmaları koşturarak kalıp, beton ve kalıp iskelesi metrajları hesaplanmıştır. Yazılım tarafından hazırlanan metraj raporu Şekil 16'da sunulmuştur.



Şekil 16. Metraj raporu

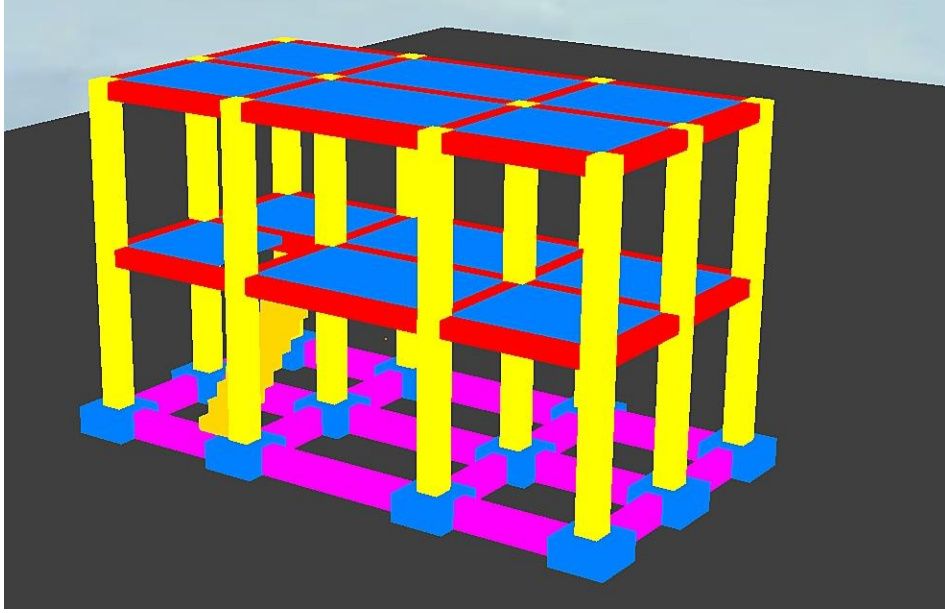
Figure 16. Quantity take-off report

Yazılımın hazırladığı metraj raporunda merdivenlerin kalıp ve beton değerleri bulunmamaktadır. Merdivenlerin metrajı dâhil edilmesi ileri çalışma olarak gerçekleştirilecektir. Merdiven dışındaki elemanların metraj değerleri el ile Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirtilen Birim Fiyat usulü sözleşmelerde ödemeye esas teşkil eden metraj hesaplama yöntemleri ile elde edilmiştir. Kontrol amaçlı yapının beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajları elle hesaplanmıştır. Yazılımın sunduğu metraj değerleri elle yapılan metraj hesaplamaları ile bire bir aynı sonucu vermektedir.

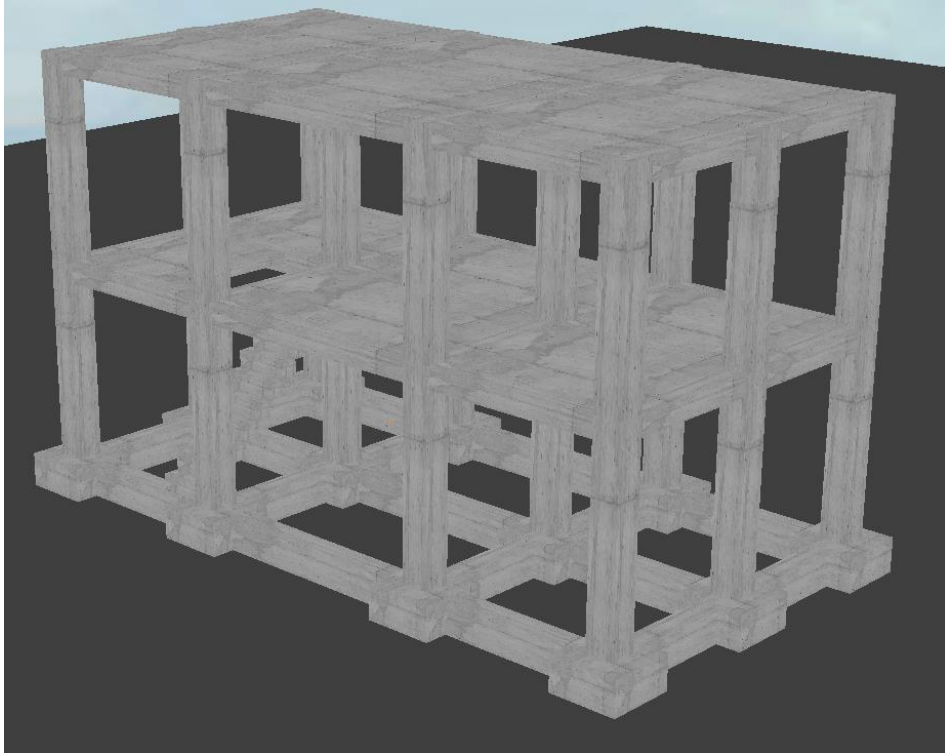
Metraj hesaplamaları sırasında kolon-kiriş, döşeme-kiriş ve kolon-döşeme komşuluklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Vaka analizi olarak incelenen örnek projenin her katında 12 adet kolon, 17 adet kiriş ve 6 adet döşeme bulunmaktadır. İncelenen bina göreceli olarak +küçük bir yapı olsa da tipik bir müstakil konut boyutlarındadır. Veri girişi biçiminden dolayı kolon-döşeme komşuluklarının tespitine gerek kalmamaktadır. Çünkü döşemelerin tanımlanması, kendisini çevreleyen kolonlarla gerçekleştirildiği için kolon-döşeme komşulukları herhangi bir sorgulama yapmadan belirlenmektedir. Kolon-kiriş komşulukları ise her kolona sapanan kirişin çift döngü ile önce tüm kolonların ardından tüm kirişlerin taranması ile tespit edilmektedir. Kolona sapanan kiriş sayısı kesin bir rakam olmayacağı için sapanan kiriş sayısı ne olursa olsun tüm döngü tüm kirişler için çevrilmektedir. Vaka analizinde  $12 \times 17 \times 2 = 408$  adet kolon ve kirişin temas edip etmediği sorgulaması yapılarak kolon-kiriş komşulukları sorgulanmıştır. Sorgu sayısının 2 ile çarpılmasının nedeni

kirişlerin başlangıç ve bitiş düğüm noktası olmak üzere 2 adet düğüm noktasına sahip olması ve her 2 düğüm noktasının da karşılaştırılmasıdır. Kiriş-döşeme komşuluğunun tespiti ise tüm kirişlerin başlangıç ve bitiş düğüm noktasının aynı döşemeyi çevreleyen düğüm noktaları arasında olması durumunun sorgulanması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde  $6 \times 17 \times 2 = 204$  adet sorgulama yapılarak kiriş-döşeme komşulukları tespit edilmiştir.

Metraj hesaplamaları gerçekleştirilen yapının 3 Boyutlu gösterimi gerçekleştirilmiş ve Şekil 17 ve 18’de sunulan beton dokusu eklenmiş ve eklenmemiş görüntüler elde edilmiştir. Ayrıca binanın içinde yürüme görüntüsü Şekil 19’da sunulmuştur.

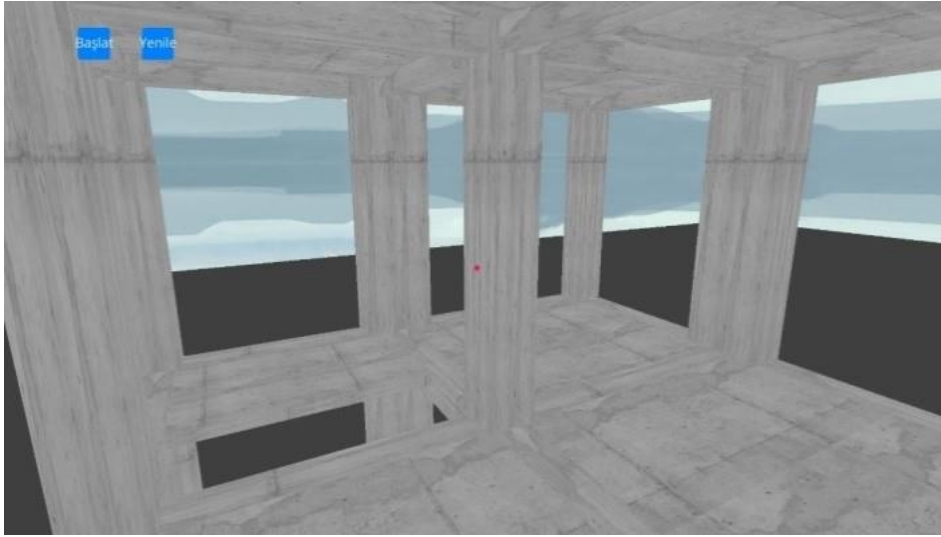


**Şekil 17.** Binanın beton dokusuz 3B modeli  
*Figure 17. 3D model of the building without concrete texture*



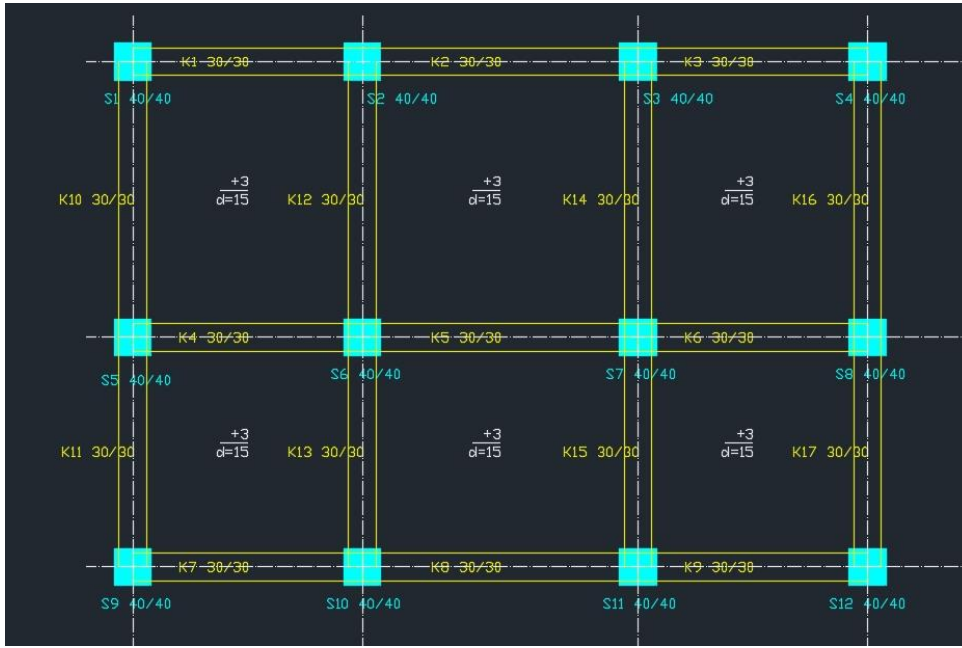
**Şekil 18.** Binanın beton dokulu 3B modeli  
*Figure 18. 3D model of the building with concrete texture*





**Şekil 19.** Yapının içinde beton dokulu hali ile gezinme  
**Figure 19.** Walk around the building with concrete texture

Çizim dosyası dxf uzantısı olarak dışarı aktarılabilmekte ve ticari bilgisayar destekli çizim veya yapı bilgi modellemesi yazılımları tarafından açılabilir. Bu sayede diğer ticari yazılımlarla veri aktarımının yapılabilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan çizimler dxf dosya uzantısı olarak kaydedilmiş ve AutoCAD yazılımı ile açılmıştır. Elde edilen görünüm Şekil 20’de sunulmuştur.



**Şekil 20.** Çizimlerin dışı aktarılıp başka ticari yazılımla açılması  
**Figure 20.** Extraction of the drawings and opening them with another commercial software

Vaka analizinde incelenen yapının temel, zemin katı ve birinci kat için kaba inşaat iş kalemlerinin metrajı hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 1’de sunulmuştur. Donatı metrajının hesaplanması bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Elde edilen metraj sonuçları elle hesaplanarak kontrol edilmiş ve sapma miktarları Tablo 2’de sunulmuştur. Aynı yapı metraj hesaplaması yapan yerel 2 yazılımla incelenmiş ve yazılımların sunduğu metraj değerlerinin sapma oranları Tablo 2’de sunulmuştur. İncelenen yazılımlar kalıp iskelesi metrajı hesaplamadıkları için bu iş kaleminin karşılaştırması yapılamamıştır.

**Tablo 1.** Vaka analizi metraj sonuçları**Table 1.** Results of quantity take-off of case study problem

Eleman yeri	Eleman	Metraj Kalemleri		
		Beton (m <sup>3</sup> )	Kalıp (m <sup>2</sup> )	Kalıp iskelesi (m <sup>3</sup> )
Temel	Sömel	6.000	18.90	
Temel	Bağ Kiriş	4.950	33.00	
Temel	Toplam	10.950	51.90	
Zemin Kat	Kolon	5.760	54.21	
Zemin Kat	Kiriş	3.888	30.14	
Zemin Kat	Döşeme	5.798	38.66	
Zemin Kat	Toplam	15.446	123.00	127.054
Birinci Kat	Kolon	5.760	54.18	
Birinci Kat	Kiriş	3.888	29.82	
Birinci Kat	Döşeme	5.997	39.98	
Birinci Kat	Toplam	15.645	123.98	134.355

Elde edilen metraj sonuçları elle hesaplanarak kontrol edilmiş ve sapma miktarları Tablo 2’de sunulmuştur. Aynı yapı metraj hesaplaması yapan yerel 2 yazılımla incelenmiş ve yazılımların sunduğu metraj değerlerinin sapma oranları Tablo 2’de sunulmuştur. İncelenen yazılımlar kalıp iskelesi metrajı hesaplamadıkları için bu iş kaleminin karşılaştırması yapılamamıştır.

**Tablo 2.** Geliştirilen yazılım ile yerel yazılımların metraj hata oranlarının karşılaştırılması**Table 2.** Comparison of the quantity error rates of the developed software and local software

Hata Oranı (%)			
Metraj kalemi	Geliştirilen yazılım	Yerel yazılım 1	Yerel yazılım 2
Beton	0.00%	-0.301%	0.019%
Kalıp	0.01%	3.795%	-0.246%

## 5. Bulgular

### 5. Results

Bu çalışmada geliştirme aşamasında olan bir YBM yazılımının mevcut durumu vaka analizi çalışması ile denenmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Geliştirilmekte olan YBM yazılımı mevcut haliyle başarılı biçimde 3 Boyutlu görselleştirmeyi gerçekleştirebilmektedir. Buna ek olarak kesin doğrulukta beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajlarını hesaplayabilmektedir. Yazılım ekranda donma olmadan bina içinde gezinme imkânını sunmaktadır. Görselleştirme özelliği sayesinde tasarım hatalarını belirleme, çakışma analizi ve sunum amaçlı kullanıma potansiyeli bulunmaktadır. Fakat yazılımın ticari özelliği kazanabilmesi için önemli iyileştirmelerin yapılması gereklidir.

Geliştirilme aşamasında olan yazılım kullanılarak yapılan beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajları ayrıca manuel olarak hesaplanmış ve birebir aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Yazılımda kullanılan kesişim tanımlama algoritması kolon-kiriş, kolon-döşeme ve döşeme-kiriş kesişimlerini tanımlamakta ve kesişim alanlarını doğru biçimde hesaplamaktadır. Bu sayede kalıp, beton ve kalıp iskelesi metrajları doğru biçimde hesaplanabilmektedir.

Örnek çalışmada taşıyıcı sistem düzgün geometrili olacak şekilde tasarlanmıştır. Döşemenin veya kolonların daire şeklinde olması durumunda kesişim alanları tam doğru biçimde belirlenememekte ve metraj değerlerinde gerçek değerlerden küçük miktarlarda sapmalar olmaktadır. Belirtilen eksikliğin giderilmesi ileri çalışma olarak gerçekleştirilecektir.

## 6. Tartışma

### 6. Discussion

Geliştirilmekte olan YBM yazılımının mevcut durumunda duvar, sıva, boya, yer döşemesi, doğrama ve çatı çizimlerinin yapılabilmesi, belirtilen iş kalemlerinin 3 Boyutlu görselleştirmesinin yapılması ve belirtilen kalemlerinin inşaat aşamalarında bina içinde yürünmesi özellikleri bulunmamaktadır. Belirtilen özelliklerin yazılıma kazandırılması ileri çalışma olarak tasarlanmaktadır.

Mevcut haliyle beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajları hesaplanabilmektedir. Fakat donatı, duvar, sıva, boya, yer döşemesi, doğrama ve çatı metrajları hesaplanmamaktadır. Mimari elemanların metrajını yüksek doğrulukta hesaplayabilmek için çok daha kapsamlı biçimde komşulukların belirlenip çakışma analizinin yapılması gereklidir. Belirtilen metraj kalemlerinin hesaplanabilmesi ileri çalışma olarak tasarlanmaktadır.

YBM yazılımları yapısal elemanlara çok gelişmiş düzeyde öznitelik verilerinin tanımlanabilmesine olanak vermektedir. Geliştirilmekte olan yazılımın mevcut durumunda fiyat bilgisi ve betonun mekanik özellikleri tanımlanabilmektedir. Öznitelik verisi olarak renk, tedarikçi, kullanılan malzemelerin özellikleri, işçilik gereksinimleri, ısı geçirgenliği, garanti süresi ve benzeri verilerin girilebilmesi, saklanabilmesi, silinebilmesi ve değiştirilebilmesi özelliklerinin kazandırılması tasarlanmaktadır.

İnce inşaat işlerinin metrajı ve görselleştirmelerinin yapılması, iş programının kritik yol ile oluşturulması, takvimli iş programının oluşturulması, inşaat sırasında günlük harcanan malzeme ve yakıt gibi kalemlerin muhasebesinin tutulması ileri çalışma olarak yazılıma eklenecektir. Belirtilen araçların eklenmesi ile geliştirilen yazılımın yetenekleri ve kullanım alanları arttırılabilecek ve daha faydalı olabilecektir.

Metraj hesaplanabilmesi için gerçekleştirilen komşuluk analizlerinde toplamda binin altında sorgulama yapılmıştır. Gerçekleştirilen her sorgulama işlemi 2 adet tamsayının eşit olup olmadığının karşılaştırmasından ibarettir. Bu işlemin hesap yükü günümüz bilgisayarlarının hesaplama hızı dikkate alındığında oldukça düşüktür. Fakat sorgu sayısı yaklaşık olarak binanın aks sayısının karesi ile aynı hızda artmaktadır. Bu durumda Türkiye’de inşa edilen standart bir apartman dikkate alındığında on bin ile yüz bin arasında karşılaştırma yapılarak tüm yapısal elemanların komşulukları tespit edilebilecektir. Bu işlemin hesap yükü ve bellek gereksinimi vasat bir bilgisayarın kapasitesi dikkate alındığında sorunsuz biçimde gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Yazılımın eksik olan özelliklerin giderilmesi ile işlevsel ve ticari değeri olabilen yerli bir YBM yazılımı geliştirilmiş olacaktır.

## 7. Sonuç

### 7. Conclusion

Bu makalede ilk örnek YBM yazılımının geliştirilebilmesi için yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Kaba inşaatın metraj hesaplamasında kullanılan algoritma yüksek doğrulukta kesişim noktalarını tespit etmektedir. Bu sayede geliştirilen yazılım betonarme bir binanın beton, kalıp ve kalıp iskelesi metrajlarını Tablo 2’de yapılan karşılaştırmada sunulduğu üzere mevcut yazılımlardan daha yüksek doğrulukta yapabilmektedir. Ayrıca binanın kaba inşaatının 3 boyutlu görüntüsü oluşturulup binanın içinde görüntüde donma ve takılma olmadan sanal gezinti yapılabilir. Bu çalışmada geliştirilen yazılımın yeteneklerinin iyileştirilmesi için ince iş kalemlerinin de metrajının yüksek doğrulukta hesaplanması ve 3 Boyutlu görüntülerinin oluşturulması üzerinde durulacaktır. Ayrıca yazılıma daha fazla öznitelik bilgilerinin tanımlanmasını, saklanmasını, sorgulanmasını ve işlenmesini sağlayacak veritabanının oluşturulması, işçilik gereksinimlerinin hesaplanması, iş programının oluşturulması ve stok takibinin yapılması özelliklerinin eklenmesi de olumlu olacaktır.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Bu araştırmada; Ergen, kodlamaların gerçekleştirilmesi; Bettemir, metraj hesaplama algoritmasının oluşturulmasını gerçekleştirmiştir.

**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*

- Albahbah, M., Kıvrak, S., & Arslan, G. (2021). Application areas of augmented reality and virtual reality in construction project management: A scoping review. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 4(3), 151-172, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.03151172>.
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—a case study approach. *Automation in construction*, 24, 149-159.
- Bayram, S. (2020). Yapı bilgi modellemesi (YBM) kapsamında geleneksel metraj ile yazılımın karşılaştırılması, *Yapı Bilgi modelleme*, 2(2), 58-65.
- Bettemir, Ö. H. (2018). Development of spreadsheet based quantity take-off and cost estimation application. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 1(3), 108-117, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2018.03108117>.
- Bettemir, Ö.H., Gündüz, E., Akkurt, O., Hilal, E., & Arslan, M.A. (2019). İnşaat işlerinin iş programına bağlı nakit akışı değişkenliğinin saptanması ve düzenlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 211-223, <https://doi.org/10.21923/jesd.459948>.
- Bettemir, Ö.H. & Yücel, T. (2021) Zaman maliyet ödünleşim probleminin en az insan müdahalesi ile oluşturulup çözülmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2), 461-480, <https://doi.org/10.17482/uumfd.869234>.
- Bettemir, Ö.H. & Bulak, Ö. (2022). İnşaat sürecinin iş çizelgelemesi, yönetimi ve optimizasyonu. *Teknik Dergi*, 33(6), 12945-12986, <https://doi.org/10.18400/tekderg.981601>.
- Bettemir, Ö. H., Özdemir, E., & Sarıcı, D. E. (2021). Selection of construction machine by considering time-cost trade-off problem. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 4(3), 173-186, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.03173186>.
- Choi J., Kim H. & Kim I. (2015). Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1):16-25, <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.11.002>.
- Delgado J.M.D., Oyedele L., Demian P., & Beach T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101-122. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>.
- Dhalmahapatra K., Maiti J., & Krishna O.B. (2021). Assessment of virtual reality-based safety training simulator for electric overhead crane operations. *Safety Science*, 139, 105241, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105241>.
- Ergen, F., & Bettemir Ö.H. (2022). Development of BIM software with quantity take-off and visualization capabilities. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 5(1), 01 – 14, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2022.01001014>.
- Kalfa, S. M. (2018). Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 1(1), 55-66.

- Khosakitchalert C., Nobuyoshi Yabuki, & Fukuda T. (2019b). Automatic concrete formwork quantity takeoff using building information modeling. *Proceedings of the 19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2019)* pp. 21-28, 13 – 15, November.
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2018). The accuracy enhancement of architectural walls quantity takeoff for schematic BIM models. In *ISARC, Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Berlin, Germany.
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2019a). BIM-based wall framing calculation algorithms for detailed quantity takeoff, *Proceedings of the 4th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics*, 251-258, Sendai, Miyagi, Japan.
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2019). Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements. *Automation in Construction*, 106, 1-20, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102891>.
- Kim S., Chin S., & Kwon S. (2019). A discrepancy analysis of BIM-based quantity take-off for building interior components. *Journal of Management in Engineering*, 35(3):05019001.
- Lee S.K., Kim K.R., & Yu J.H. (2014). BIM and ontology-based approach for building cost estimation. *Automation in Construction*, 41, 96-105, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.020>.
- Liu H., Cheng J.C., Gan V.J. & Zhou S. (2022). A knowledge model-based BIM framework for automatic code-compliant quantity take-off. *Automation in Construction*, 133:104024, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104024>.
- Liu H., Lu M., & Al-Hussein M. (2016). Ontology-based semantic approach for construction-oriented quantity take-off from BIM models in the light-frame building industry. *Advanced Engineering Informatics*, 30(2), 190-207.
- Millman, K. J., & Aivazis, M., (2011). Python for scientists and engineers. *Computing in Science & Engineering*, 13(2), 9-12.
- Nadeem, A., Wong, A. K., & Wong, F. K. (2015). Bill of quantities with 3D views using building information modeling. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(9), 2465-2477.
- Olsen D., & Taylor J. M. (2017). Quantity take-off using building information modeling (BIM), and its limiting factors. *Procedia Engineering*, 196:1098-1105.
- Omaran, S. M., Alghamdi, A. A., Alharishawi, S. C., & Hains, D. B. (2019). Integrating BIM and game engine for simulation interactive life cycle analysis visualization. In *Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation*, 120-128, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- Ozcan-Deniz, G. (2019). Expanding applications of virtual reality in construction industry: A multiple case study approach. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 2(2), 48-66.
- Pratoom, W., & Tangwiboonpanich, S. (2016). A comparison of rebar quantities obtained by traditional vs bim-based methods. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 23(1), 5-10.
- Quraishi A, & Dhapekar N. K. (2021). Applicability of python in civil engineering, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(1), 554-556.
- Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H. S., & Girolami, M. (2020). Construction with digital twin information systems. *Data-Centric Engineering*, 1, e14, 1-26, <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of construction engineering and management*, 136(9), 968-980.
- Sacks R., & Barak R. (2007). Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*, 17, 439-449, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.08.003>.
- Sari, R., & Pekerçli, M. K. (2020). An investigation of comparison and evaluation of official BIM documents released in the USA, UK and Turkey. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 3(1), 67-84.

- Sarvade S.M. & Pore S.M. (2019). Use of python programming for interactive design of reinforced concrete structures, *National Conference on Exploring New Dimensions in Teaching Learning for Quality Education, Maharashtra, India*, 160–163.
- Sherafat, B., Taghaddos, H., & Shafaghat, E. (2022). Enhanced automated quantity take-off in building information modeling enhanced automated quantity take-off in building information modeling. *Scientia Iranica*, 29(3), 1024-1037.
- Temel, B., & Basaga, H. (2020). Investigation of IFC file format for BIM based automated code compliance checking. *Journal of Construction Engineering Management & Innovation*, 3(2), 113-130, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2020.02113130>.
- Yoon, J. D., Cho, H. S., Lee, J. H., Shin, J. Y., & Kim, E. S. (2020). A comparison of quantity take-offs of RC structures based on BIM. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 33(1), 35-44.
- Zuppa, D., Issa, R. R., & Suermann, P. C. (2009). BIM's impact on the success measures of construction projects. *In Computing in Civil Engineering*, 503-512.



## Katodik ark PVD yöntemi ile TiN kaplanmış 316L paslanmaz çelik implant malzemesinin elektrokimyasal ve ıslanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi

*Determination of electrochemical and wettability properties of TiN coated 316L stainless steel implant material by cathodic arc pvd method*

Mevra ASLAN ÇAKIR \*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 24002, Erzincan

• Geliş tarihi / Received: 27.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 16.11.2022

### Öz

Bu çalışmada, biyomalzeme olarak kullanılan 316L paslanmaz çeliğin korozyon direnci ve hidrofobik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla TiN filmler katodik ark fiziksel buhar biriktirme (CAPVD) yöntemi ile yüzeye kaplanmıştır. Kaplanmış numunelerin yüzey morfolojisi, yüzey bileşimi, korozyon direnci ve ıslanabilirliği karakterize edilmiş ve kaplamaların karakterizasyonu XRD, SEM ve EDS ile yapılmıştır. Yapay vücut sıvısı (SBF) çözeltisinde yapılan elektrokimyasal deneyler sonrasında kaplama filminin korozyon direncini artırdığı görülmüştür. Ayrıca, işlemsiz ve kaplanmış numunelerin ıslanabilirlik ve serbest yüzey enerjisi özelliklerinin belirlenmesinde saf su, hekzadekan, etilen glikol ve SBF çözeltileri ile temas açısı ölçümleri alınmıştır. Yüzeylerin kaplama filmi sonrasında hidrofobik ve oleofobik özellikleri elde edilmiş olup, SBF çözeltisi ile yapılan temas açısı ölçüm sonrasında temas açısı değeri 92°'den 119°'ye kadar artmıştır. İşlemsiz ve TiN kaplanmış paslanmaz çelik numunelerin serbest yüzey enerjisi değerleri ölçülen temas açısı değerlerine göre sırasıyla 26.7 mN/m ve 18.5 mN/m olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** ıslanabilirlik, Katodik ark fiziksel buhar biriktirme, Korozyon, SBF, TiN

### Abstract

In this study, TiN films were coated on the surface by cathodic arc physical vapor deposition (CAPVD) method in order to improve the corrosion resistance and hydrophobic properties of 316L stainless steel, which is used as a biomaterial. The surface morphology, surface composition, corrosion resistance, and wettability of the coated samples were characterized and the characterization of the coatings was done by XRD, SEM and EDS. After electrochemical experiments in simulated body fluid (SBF) solution, it was observed that the corrosion resistance of the coating film increased. In addition, contact angle measurements were taken with distilled water, n-hexadecane, ethylene glycol, and SBF solutions to determine the wettability and free surface energy properties of untreated and coated samples. The hydrophobic and oleophobic properties of the surfaces were obtained after the coating film, and the contact angle value increased from 92° to 119° after the contact angle measurement with the SBF solution. According to the measured contact angle values, the surface free energy values of the untreated and TiN coated stainless steel samples were calculated as 26.7 mN/m and 18.5 mN/m, respectively, according to the measured contact angle values.

**Keywords:** Wettability, Cathodic arc physical vapor deposition, Corrosion, SBF, TiN

\* Mevra ASLAN ÇAKIR; maslan@erzincan.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Kobalt-krom alaşımı, titanyum ve alaşımlarının yanı sıra ostenitik paslanmaz çelik (316L) gibi metalik biyomalzemeler, mükemmel mekanik özellikleri, yüksek korozyon direnci ve uygun biyouyumlulukları nedeniyle implant malzemesi olarak biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Yazıcı vd., 2018). AISI 316L paslanmaz çelik malzemeler diğer metalik biyomalzemelerle karşılaştırıldığında düşük korozyon direncine ve biyouyumluluğa sahiptir (Wathanyu vd., 2020). Bu malzemeler ıslanabilirlik özellikleri açısından hidrofilik özellik göstermektedir (Al-Hamarneh vd.,2012; Mani vd.,2022; Dwivedi vd., 2021). Yüzeylerde elde edilen statik su temas açısı  $90^{\circ}$ 'den küçükse yüzeyler hidrofilik, büyükse yüzeyler hidrofobik özelliktedir (Zhu vd., 2020). Genel olarak daha düşük bir temas açısı değeri ve daha yüksek bir yüzey enerjisi değeri, implantın daha az hidrofobik doğası anlamına gelir. Bu da SBF ile yüzeyin teması sonucu bu çözeltinin anında yüzeyde emilmesine yol açar (Khalajabadi vd., 2015). Biyomalzeme olarak kullanılan paslanmaz çeliklerin hidrofobikliğinin elde edilebilmesi için, yüzeylerin kimyası ve pürüzlülüğü en önemli faktörlerdir (Cerme vd.,2008). Paslanmaz çeliklerin iyi korozyon direncinin nedeni, oksijen içeren ortamlarda pasif film veya pasif tabaka olarak adlandırılan çok ince, görünmez bir yüzey filmi oluşturmalarıdır (Iversen & Leffler, 2010). Korozif ortamlara uzun süre maruz kalınması durumunda, koruyucu pasif tabaka kararsız hale gelir ve kendiliğinden bozular, örneğin oksidasyona bağlı metal paslanması belirginleşir ve buna ağırlık kaybı da eşlik eder. Pasif tabaka hasar gördükten sonra paslanmaz çeliğin korozyon süreci hızlanarak korozif ortamın tipine ve korozif saldırının süresine bağlı olarak korozyonu devam eder (Pana vd., 2020; Zhang vd., 2014). AISI 316L paslanmaz çelikler korozyona dayanıklı alaşımlar olmasına rağmen, kimyasal olarak zorlu ortamlarda bulunmaları durumunda korozyona maruz kalabilir (Xie vd., 2020, Ruiz vd., 2016). Korozif ortamlarda kullanılan malzemelerin korozyon direncini artırmak amacıyla yüzey kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Kaplama yöntemi ve malzemesinin uygun şekilde seçilmesiyle, alt taban malzemesi bozulan ortamdan korunabilir, hizmet ömrü uzatılabilir ve buna bağlı olarak eş zamanlı olarak ürünlerin ticari değerleri de yükselebilecektir. Titanyum nitrid (TiN) kaplamalar, üstün mekanik özellikleri ve korozyon direnci nedeniyle en çok tercih edilen kaplama malzemelerinden biridir (Chou vd., 2001; Khanchaiyaphum vd., 2016).

TiN kaplamalar kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), plazma nitridleme, lazer destekli nitridleme gibi çok çeşitli kaplama yöntemleri kullanılarak elde edilebilir (Datta vd., 2018). Bu teknikler arasında fiziksel buhar biriktirme (PVD) teknikleri ile çoğunlukla magnetron sıçratma, katodik ark ve darbeli lazer biriktirme teknikleri kullanılmaktadır (Santecchia vd., 2015). Katodik ark fiziksel buhar biriktirme (CAPVD) yöntemi aşınmaya ve korozyona dayanıklı sert metalik kaplamaların üretimi için büyük ilgi görmüştür (Iqbal vd., 1998). Katodik ark tekniğinde, kaplama malzemeleri bir hedefin yüzeyinde ark oluşturularak aşırı iyonize buhar şeklinde üretilir ve iyonize parçacıklar, taban malzemesine bağlı bir ön gerilim voltajı ile hızlandırılır. Yüksek biriktirme oranı, taban malzeme ile kaplama filmi arasındaki üstün yapışma ve elektrotlar arasındaki orta enerjili elektronların yüksek yoğunluğunun buharlaşan türlerde çok verimli iyonlaşmaya neden olması katodik ark tekniğinin başlıca avantajları olarak kabul edilir (Vengesa vd., 2021; Shiravi vd., 2019). Literatürdeki TiN filmlerin elektrokimyasal ve ıslanabilirlik özelliklerinin incelendiği deneysel çalışmaların bazıları şöyle özetlenmiştir:

AISI 316L çelik numunelerin tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla dubleks yüzey işlemi uygulamışlardır. Öncelikle seçici lazer ergitme işlemi ile titanyum tabakalar üretilmiş, daha sonra ise % 50 N<sub>2</sub>–%50 H<sub>2</sub> gaz karışımı altında 650 °C ve 750 °C sıcaklıklarda dört saat boyunca plazma nitridleme işlemi uygulanarak dubleks yüzey işlemi gerçekleştirilmiştir. Artan plazma nitridleme sıcaklığı ve lazer gücü ile Ti kaplı ve plazma nitridlenmiş numunelerin aşınma direncinin arttığı sonucuna varılmıştır (Yazıcı vd., 2018).

Ti6Al4V alaşımı üzerine katodik ark tekniği kullanılarak oluşturulan TiN kaplamaların mekanik, korozyon, in vitro tribolojik ve biyolojik özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, TiN kaplı yüzeyler işlemsiz Ti6Al4V alaşımı ile kıyaslandığında sertliği yaklaşık yedi kat daha yüksek, in vitro aşınma oranının ise dört kat daha az olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, in vitro hücre canlılığı testleri TiN kaplı yüzeylerin biyolojik olarak uyumlu ve toksik olmadığı sonuçlarını ortaya koymuştur (Datta vd., 2018).

Ti esaslı alaşım implantların ömrünü uzatmak için, CAPVD yöntemini kullanarak Ti20Nb13Zr (TNZ) alaşımı üzerine TiN seramik kaplama uygulanmıştır. Elde edilen kaplamanın yüzey sertliği, in vitro korozyon, aşınma hızı ve sürtünme katsayısı üzerine etkisini araştırmışlardır. Hem SBF'de hem de yapay tükürükte kaplanmış alaşım için daha iyi korozyon direnci elde edildiği in vitro korozyon testleri ile belirlenmiştir. Elde edilen

deneysel sonuçlar, TNZ alaşımının TiN ile kaplanmasının biyomedikal kullanımlar için umut verici bir seçenek olabileceğini göstermiştir (Hussein vd., 2020).

Ark iyon kaplama yöntemi ile 316L paslanmaz çelik numunelere biriktirilen TiN filmler elde edilirken uygulanan bias voltajı ve sıcaklığının mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Taban malzemeye uygulanan sıcaklık 10 °C' den 300 °C' ye arttığında, artık basınç geriliminin 10.2 GPa' dan 7.7 GPa' a hızlı bir şekilde düştüğünü ve bu sebeple sertlik değerinin 33.1 GPa' dan 30.6 GPa değerine azaldığını görmüşlerdir (Mei vd., 2018).

Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), titanyum oksit (TiO<sub>x</sub>) ve titanyum nitrür (TiN) gibi titanyum bazlı filmleri korozyon önleyici özellikleri nedeniyle AISI 304, AISI 316 ve cam numuneler üzerine kaplanmışlardır. Kaplanmış yüzeylerin ıslanabilirlik özelliklerine bakıldığı zaman, titanyum bazlı kaplı AISI 316 paslanmaz çelik üzerindeki temas açısı 90°'ye kadar artırılmıştır. Bu titanyum bazlı filmlerde, düşük pürüzlülük, nanometrik parçacık boyutu, homojen dağılımı ve yüksek polikristallik nedeniyle yüksek temas açısı değerleri elde edilmiştir (Estrada-Martínez vd., 2017).

Bu çalışmada, ticari olarak piyasada bulunan CAPVD işlemi ile kaplanmış 316L paslanmaz çeliğin TiN filmi ile kaplanması durumunda ıslanabilirlik ve korozyon özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, numunelerin yapısal özellikleri XRD, SEM ve mikrosertlik test cihazı ile incelenmiştir. İşlemsiz ve TiN kaplı 316L paslanmaz çelik numunelerinin SBF'de korozyon davranışı, açık devre potansiyeli ölçülerek potansiyodinamik polarizasyon tekniği ile incelenmiştir. Yüzeylerin ıslanabilirlik özellikleri ve serbest yüzey enerjileri ise saf su, hekzadekan, etilen glikol ve SBF çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. Literatürde TiN kaplı paslanmaz çeliklerin korozyon ve ıslanabilirliği üzerine birçok çalışma mevcut olmasına rağmen SBF içerisinde elektrokimyasal ve ıslanabilirlik özelliklerinin araştırıldığı çalışmalar kısıtlıdır. Bu sebeple, bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

316L paslanmaz çelik malzemeler 18 mm çapında, 5mm kalınlığında kesilerek hazırlanmıştır. 316L paslanmaz çelik malzemelerin yüzeyleri sırasıyla zımpara kâğıdı (80, 120, 400, 600, 800 ve 1200 SiC) kullanılarak zımparalanmış ve ardından alümina tozu kullanılarak parlatılmıştır. Kaplama işlemi öncesinde numune yüzeyinde bulunabilecek kirliliklerin giderilmesi için ortama Argon soygaz verilerek 30 dk boyunca yüzey temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi HAUZER marka cihaz ile CAPVD yöntemiyle; toplamda 12 adet hedef kullanılarak, hedef buharlaştırma akımı 110 A,  $4.0 \times 10^{-2}$  mbar N<sub>2</sub> kısmi gaz basıncında, -100 Volt Bias voltajında, 120 dk süreyle 316L paslanmaz çelik parçaları üzerine kaplama işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Numune tutucusu kendi eksenini etrafında 2 rpm hızda dönmektedir.

Kaplamaların faz incelemesi X-ışını kırınımı (XRD, Panalytical Empyrean) Cu-K $\alpha$  radyasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Kaplama kalınlığını ve yüzey morfolojisini belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDAX, Quanta FEG-450) kullanılmıştır. Numune yüzeylerinin mikrosertlik ölçümleri 100 gr yük altında ve 10 sn sürede Vickers cinsinden ölçülmüştür. Numunelerin ıslanabilirlik özellikleri statik su ile SBF temas açısı ölçümleri, serbest yüzey enerjileri üç farklı sıvı kullanılarak Attension Theta Lite tensiyometre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Temas açıları sessile drop tekniği kullanılarak 5  $\mu$ l damla hacmi ile ölçülmüştür. Numunelerin her biri için farklı noktalardan 3'er ölçüm alınıp bunların ortalamaları alınmıştır. Numunelerin yüzey enerjileri OWRK/Fowkes Metodu kullanılarak; saf su, hekzadekan ve etilen glikol çözücülerini ile yapılmıştır. Elektrokimyasal deneyler 37 °C'de pH 7.4 değeri elde edilerek laboratuvar şartlarında SBF hazırlanmış ve içeriği Tablo 1'de verilmiştir. Elektrokimyasal testler için GAMRY-Potansiyostat/Galvanostat/ZRA cihazı kullanılmıştır. Açık devre potansiyel (OCP) ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri alınarak elektrokimyasal korozyon değerleri hesaplanmıştır. Elektrokimyasal korozyon testler üç elektrotlu bir hücrede gerçekleştirilmiştir (numune: çalışma elektrodu, Ag/AgCl: referans elektrot ve karşı elektrot: grafit).

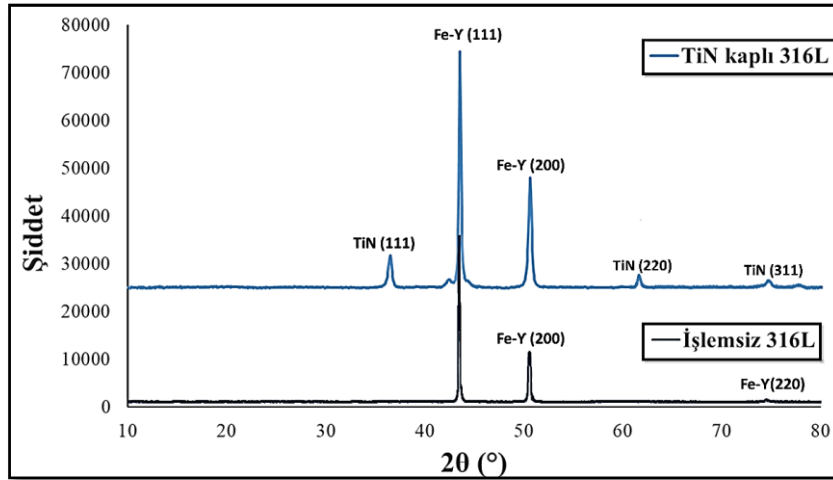
**Tablo 1.** pH 7.25, 1L için SBF'nin içeriği (Kokubo vd., 1991)  
**Table 1.** Content of SBF for pH 7.25, 1L (Kokubo et al., 1991)

Sıra	Reaktif	Miktar
1	NaCl	7.996 (gr)
2	NaHCO <sub>3</sub>	0.350 (gr)
3	KCl	0.224 (gr)
4	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	0.228 (gr)
5	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.305 (gr)
6	1 kmol/m <sup>3</sup> HCl	40 cm <sup>3</sup>
7	CaCl <sub>2</sub>	0.278 (gr)
8	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.071 (gr)
9	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> CNH <sub>2</sub>	6.057 (gr)
10	1 kmol/m <sup>3</sup> HCl	pH 7.4 için yeteri kadar

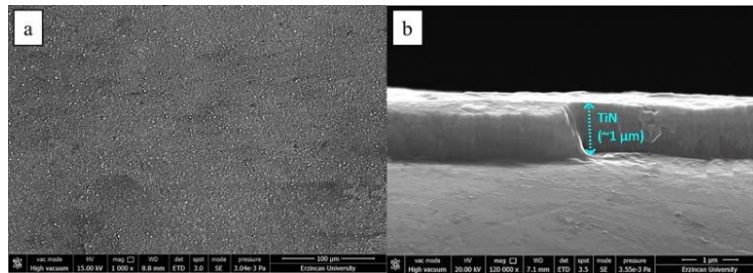
### 3. Bulgular

#### 3. Results

İşlemsiz ve TiN kaplı numunelerin mikro yapısı XRD analizi ile incelenmiş ve sonuçlar Şekil 1'de gösterilmiştir. XRD grafiğine göre işlemsiz 316L paslanmaz çelikte yapının tamamen ostenit fazından (Fe- $\gamma$ ) oluştuğu görülmüştür. TiN kaplı numunelerde ise TiN (111), TiN (220) ve TiN (311) fazlarından meydana gelmiştir. Katodik ark biriktirme ile yüzeylere oluşturulan TiN filminin elementel kompozisyonunu tanımlamak için enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) analizi yapılmıştır. TiN büyütülmüş yüzeylerde oluşan filmde oluşması beklenen Ti ve N'un kaplama tabakasında oluştuğu EDS sonuçlarında görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde TiN film kaplı yüzeylerde EDS analizi sonucu oluşan kaplama bileşenlerinin atomik ağırlıkları; titanyum (%55.21) ve azot (% 44.79) elementinin olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 1.** İşlemsiz ve TiN kaplı 316L paslanmaz çelik numunelerin XRD grafiği  
**Figure 1.** XRD graphic of untreated and TiN coated 316L stainless steel samples



**Şekil 2.** TiN filmin yüzey (a) ve kesit (b) SEM görüntüleri  
**Figure 2.** Surface (a) and cross-section (b) SEM images of TiN film

TiN kaplamanın yüzey ve kesit SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b)'de verilmiştir. TiN kaplama sonrası yaklaşık 1 µm'lik filmin kalınlığı Şekil 2 (b)'de görülmektedir. Kesit görüntüsünde görüldüğü üzere elde edilen TiN filmi oldukça yoğun ve kolonsal yapıda olup, literatürdeki mevcut çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Hussein vd., 2020).

Kaplamanın sütunlu morfolojisi esas olarak numunenin yüzey pürüzlülüğü, kristal tanelerin tercihli büyümesi ve yoğunlaşan atomların yüzey hareketliliği ile belirlenir. Yüksek gelen enerji ile iyon bombardımanı tarafından indüklenen atomların yüksek hareketliliğinin, yüzey boşluklarını değiştirdiği ve yapıdaki kolonlar arasında yayıldığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, mikro yapı kaplama kalınlığı boyunca homojendir. Kaplama sonrası filmin mikro sertlik analiz sonucunda yüzey sertliğinin işlemsiz numuneye göre dört kat arttığı Tablo 2'de görülmektedir ve bu durum katodik ark biriktirme işleminden sonra 316L paslanmaz çelik yüzeyinde oluşan TiN fazından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 2.** İşlemsiz ve TiN film kaplı 316L paslanmaz çeliğin yüzey sertliği, tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü

**Table 2.** Surface hardness, layer thickness and surface roughness of untreated and TiN film coated 316L stainless steel

İşlem	Yüzey sertliği (HV <sub>0.1</sub> )	Tabaka kalınlığı (µm)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)
TiN/316L	850 - 900	1	0.30 - 0.33
Untreated	270 - 300	-	0.07 - 0.10

### 3.1. In-vitro korozyon testi sonuçları

#### 3.1. In-vitro corrosion test results

İşlemsiz ve kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Korozyon akım yoğunlukları ( $I_{corr}$ ), korozyon potansiyelleri ( $E_{corr}$ ), anodik tafel eğimi ( $\beta_a$ ) ve katodik tafel eğimi ( $\beta_c$ ) polarizasyon eğrilerinden alınmış ve polarizasyon direnci ( $R_p$ ) Stern-Geary denklemi (denklem 1) ile hesaplanmıştır (Stern & Geary, 1957). Numunelerin  $\beta_a$ ,  $\beta_c$ ,  $E_{corr}$ ,  $I_{corr}$  ve  $R_p$  değerleri Tablo 3'te listelenmiştir.

$$R_p = \frac{\beta_a \times \beta_c}{2.3 \times I_{corr} (\beta_a + \beta_c)} \quad (1)$$

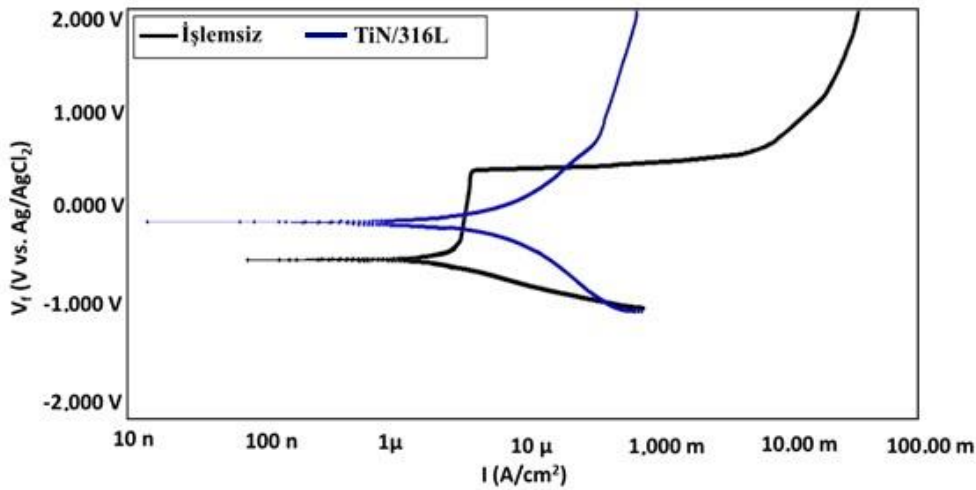
Eğriler incelendiğinde, katodik ark biriktirme ile yapılan kaplama sonrası elde edilen TiN filminin polarizasyon sonrası pasifleştiği buna karşın sadece kaplanmamış numunelerin hızlı bir şekilde anodik bölgede korozyona uğradıkları Şekil 3'te görülmektedir. Bunun başlıca sebebi, işlemsiz numunelerin yaklaşık 0.3 V'a kadar SBF içerisinde yüzeylerinde oluşan pasif oksit tabakasıdır. Yaklaşık 0.3 V'tan sonra 316L paslanmaz çelik numunelerin yüzeyde oluşan pasif filmin etkisinin yok olmasıdır. Ancak numune yüzeyinde oluşan TiN filmin korozyona karşı bir bariyer görevi görüp, elektrokimyasal olarak korozyona karşı direnci artırdığı açık bir şekilde görülmektedir. Kaplamasız numuneler için  $E_{corr}$  değerleri -420 mV olarak ölçülmesine rağmen, TiN kaplı yüzeylerde korozyon potansiyeli -85 mV olarak ölçülmüştür.  $E_{corr}$ 'un pozitif kayması, TiN kaplı numunelerin korozyon direncindeki iyileşmeyi açıkça göstermiştir. Kaplamasız 316L paslanmaz çeliğin korozyon akım yoğunluğu 5.95 µA/cm<sup>2</sup>, TiN kaplı paslanmaz çeliğin korozyon akım yoğunluğu ise 1.70 µA/cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, TiN filmi malzemeye korozif ortamın ulaşılabilirliğini azaltmış ve bu durumda elektrokimyasal korozyon işlem sürecinde yavaşlama meydana getirmiştir.

**Tablo 3.** İşlemsiz 316L ve TiN/316L malzemelerine ait korozyon test sonuçları

**Table 3.** Corrosion test results for untreated 316L and TiN/316L materials

Malzeme	$E_{corr}$ (mV)	$I_{corr}$ (µA/cm <sup>2</sup> )	$\beta_a$ (mV/dec)	$\beta_c$ (mV/dec)	$R_p$ (kΩ cm <sup>2</sup> )	Korozyon Miktarı (mpy)
İşlemsiz 316L	-420	5.95	220.9	70.7	3.9136	8.31
TiN/316L	-85	1.70	216	237	28.9019	2.56





**Şekil 3.** İşlemsiz 316L ve TiN/316L malzemelerinin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri  
**Figure 3.** Potentiodynamic polarization curves of untreated 316L and TiN/316L materials

### 3.2. Temas açısı ölçümleri

#### 3.2. Contact angle measurements

Su ile ıslanabilirlik deneyleri sonrası işlemsiz AISI 316L'nin temas açısı değeri  $69^\circ$  dir (Şekil 4a). TiN filmine ait temas açısı  $95^\circ$ 'ye kadar önemli ölçüde artmıştır, bu da kaplama sonrası yüzeyin hidrofilik davranıştan hidrofobik davranışa dönüştüğünü göstermektedir (Şekil 4e). Bu durum TiN kaplı yüzeylerde artan yüzey pürüzlülük ve azalan yüzey serbest enerjisi ile sağlanmıştır.

TiN kaplı yüzeylere bırakılan su ve yağ damlaları ile yüzeylere hidrofobik ve oleofobik özelliklerinin kazandırıldığı Tablo 4 ve Şekil 4'te açıkça görülmektedir. TiN kaplı paslanmaz çelik numunelerin statik temas açıları ölçülmüş olup; saf su ile  $69^\circ$ 'den  $95^\circ$ 'ye, etilen glikol çözeltisi ile  $77^\circ$ 'den  $108^\circ$ 'ye, SBF çözeltisi ile  $92^\circ$ 'den  $119^\circ$ 'ye, hegzadekan çözeltisi ile  $25^\circ$ 'den  $38^\circ$ 'ye arttığı görülmüştür. İşlemsiz ve TiN kaplı numunelerin temas açısı arasındaki farkı açıklamak için yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Çünkü yüzey pürüzlülüğünün temas açısını etkilediği bilinmektedir. İşlemsiz ve TiN kaplı numuneler için yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerleri sırasıyla yaklaşık olarak  $0.08 \mu\text{m}$  ve  $0.32 \mu\text{m}$  olarak bulunmuştur (Tablo 2).

Elde edilen filmin yüzey enerjisini hesaplamak için numuneler polar (su) ve polar olmayan (hegzadekan) çözeltiler ile test edilmiştir. Ayrıca yüzeyin oleofilik/oleofobik özelliğini belirlemek için etilen glikol ve yüzeyin biyomalzeme olarak ıslanabilirliğini hesaplamak için  $37^\circ\text{C}$  sıcaklıkta SBF kullanılmıştır. TiN kaplı paslanmaz çelik numune yüzeyine bırakılan su ve yağ damlaları yüzeyde yayılmak yerine küresel bir şekilde durma eğilimi göstermiştir (Şekil 4e ve Şekil 4f). Etilen glikol ile yapılan temas açısı ölçümlerine göre işlemsiz numune yüzeyi  $77^\circ$ 'lik temas açısı ile oleofilik özellik gösterir. TiN kaplama sonrası paslanmaz çelik numune yüzeyinde ise  $108^\circ$ 'lik etilen glikol temas açısı sonucu ile yüzeyin oleofobik davranışa geçtiği Şekil 4f'de tespit edilmiştir. Hidrofobik ve oleofobik özelliği elde edilen kaplı yüzeylerde yüzeye gelen kirlilikler yüzeyden kolayca uzaklaşabilir ve kendi kendini temizleme özelliği istenen yüzeylerde bu tür kaplamalar kullanılmaktadır (Zhang vd., 2013).

Katı yüzeylerin serbest enerjisi OWRK/Fowkes eşitliği (denklem 2) kullanılarak şöyle hesaplanmıştır (Hussein vd., 2020):

$$\gamma_s (1 + \cos\theta) = 2 [(\gamma_s^p \gamma_k^p)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_s^d \gamma_k^d)^{\frac{1}{2}}] \quad (2)$$

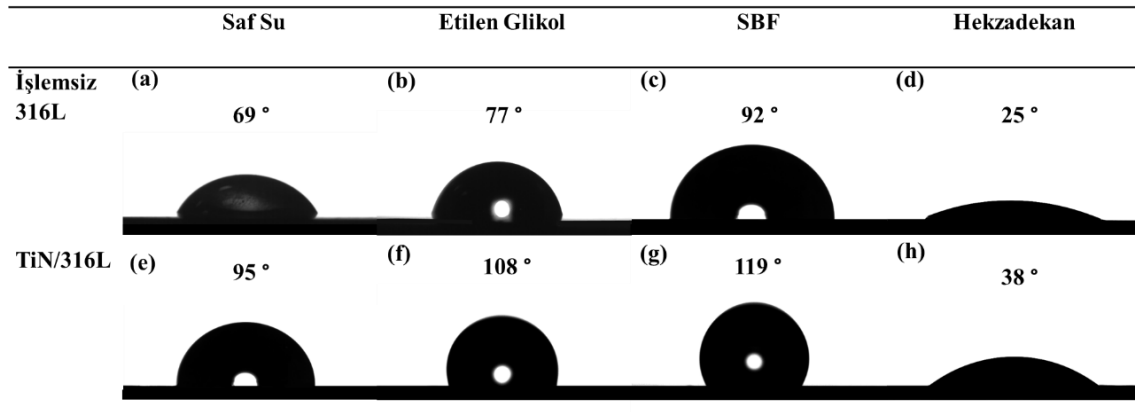
OWRK/Fowkes metoduyla belirlenen yüzey enerjisi değerleri, işlemsiz paslanmaz çelik numunede  $26.7 \text{ mN/m}$ , TiN kaplama sonrası paslanmaz çelik numunede  $18.5 \text{ mN/m}$  olarak ölçülmüştür. En yüksek temas açısının elde edildiği TiN kaplı numunenin en düşük yüzey enerjisine sahip olduğu Tablo 4'te görülmektedir.

**Tablo 4.** İşlemsiz ve TiN kaplı AISI 316L paslanmaz çelik numunelerin saf su, etilen glikol, SBF ve hegzadekan ile ölçülen temas açısı ve yüzey enerji değerleri



**Table 4.** The contact angle and surface energy values of untreated and TiN coated AISI 316L stainless steel samples measured with distilled water, ethylene glycol, SBF and hexadecane

Malzeme	Su	Etilen Glikol CA	SBF	Hekzadekan	$\gamma$ (mN/m)		
	CA (°)	(°)	CA (°)	CA (°)	$\gamma^p$	$\gamma^d$	$\gamma$
İşlemsiz 316L	69	77	92	25	20.6	6.15	26.7
TiN/316L	95	108	119	38	11.3	8.2	18.5

**Şekil 4.** İşlemsiz 316L (a, b, c, d) ve TiN/316L paslanmaz çelik numunelerin (e, f, g, h) saf su, etilen glikol, SBF ve hekzadekan çözeltileri ile temas açısı görüntüleri**Figure 4.** The contact angle images of untreated 316L (a, b, c, d) and TiN/316L stainless steel samples (e, f, g, h) with distilled water, ethylene glycol, SBF and hexadecane solutions

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada, biyomalzeme olarak kullanılan 316L paslanmaz çelik üzerine CAPVD yöntemi ile kaplanmış TiN filminin mikroyapısal, mikrosertlik, ıslanabilirlik ve elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 316L paslanmaz çelik üzerine biriktirilen TiN filminin elementel analizi sonucunda oluşan kaplama bileşenlerinin atomik ağırlıkları titanyum ve azot için sırasıyla %55.21 ve %44.79 olarak ölçülmüştür.
- TiN ile kaplanan numunelerin kaplama kalınlıklarının yaklaşık 1  $\mu\text{m}$ , ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.32  $\mu\text{m}$ , tane yapılarının kesit boyunca oldukça yoğun ve kolonsal yapıda oldukları görülmüştür.
- Laboratuvar şartlarında üretilen SBF içinde yapılan OCP ve potansiyodinamik polarizasyon testi sonucuna göre numune yüzeyinde biriktirilen TiN film korozyona karşı bir bariyer görevi görüp, elektrokimyasal olarak korozyona karşı direnci artırdığı sonucuna varılmıştır.
- Elde edilen elektrokimyasal korozyon deneyler sonrası, işlemsiz numuneler için  $E_{\text{corr}}$  değeri  $-420$  mV ve TiN kaplı yüzeylerde bu değer  $-85$  mV'dur. Kaplamasız 316L paslanmaz çeliğin  $I_{\text{corr}}$  değeri  $5.95 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  olup, TiN kaplama sonrası paslanmaz çeliğin  $I_{\text{corr}}$  değeri ise  $1.70 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  olarak bulunmuştur.
- Islanabilirlik testi sonucunda su statik temas açısı değeri işlemsiz 316L paslanmaz çelik numunenin  $69^\circ$ , TiN film kaplı paslanmaz çelik numuneye ait temas açısı değeri  $95^\circ$  olarak ölçülmüştür. Bu

sonuca göre kaplama sonrası paslanmaz çelik numune yüzeyi hidrofilik özellikten hidrofobik özelliğe geçmiştir.

- TiN film kaplı paslanmaz çelik numunelerin ortalama statik temas açısı değeri saf su ile 95°, etilen glikol çözeltisi ile 108°, SBF çözeltisi ile 119° ve hekzadekan çözeltisi ile 38° olarak hesaplanmıştır. Etilen glikol çözeltisi ile yapılan temas açısı ölçüm sonucuna göre TiN kaplama sonrası yüzey oleofiliklikten, oleofobik özelliğe geçtiği belirlenmiştir.
- Serbest yüzey enerjisi ölçümleri OWRK/Fowkes metoduyla belirlenmiş olup, işlemsiz paslanmaz çelik numuneden 26.7 mN/m, TiN kaplama sonrası paslanmaz çelik numuneden ise 18.5 mN/m olarak ölçülmüştür.

### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Çalışmada bir başka yazarın katkısı yoktur.

### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

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

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

### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

*References*

- Al-Hamarneh, I., Pedrow ,P., Eskhan, A., & Abu-Lail, N. (2012). Hydrophilic property of 316L stainless steel after treatment by atmospheric pressure corona streamer plasma using surface-sensitive analyses. *Applied Surface Science*, 259, 424–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.07.061>
- Černe, L., Simončič, B., & Željko, M. (2008). The influence of repellent coatings on surface free energy of glass plate and cotton fabric. *Applied Surface Science*, 254(20), 6467–77. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.04.007>
- Chou, W.J., Yu, G.P., & Huang, J.H. (2001). Corrosion behavior of TiN-coated 304 stainless steel. *Corrosion Science*, 43(11), 2023–2035. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00010-5)
- Datta, S., Das, M., Balla, V.K., Bodhak, S., & Murugesan, V.K. (2018). Mechanical, wear, corrosion and biological properties of arc deposited titanium nitride coatings. *Surface and Coatings Technology*, 344, 214–22. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.03.019>
- Dwivedi, S., Rai Dixit, A., & Kumar Das, A. (2022). Wetting behavior of selective laser melted (SLM) bio-medical grade stainless steel 316L. *Materials Today: Proceedings*, 56, 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.046>
- Estrada-Martínez, J., Reyes-Gasga, J., García-García, R., Vargas-Becerril, N., Zapata-Torres, M.G., & Gallardo-Rivas, N.V. (2017). Wettability modification of the AISI 304 and 316 stainless steel and glass surfaces by titanium oxide and titanium nitride coating. *Surface and Coatings Technology*, 330, 61–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.09.059>
- Hussein, M.A., Adesina A.Y., Kumar A.M., Sorour A.A., Ankah N., & Al-Aqeeli N. (2020). Mechanical, in-vitro

corrosion, and tribological characteristics of TiN coating produced by cathodic arc physical vapor deposition on Ti20Nb13Zr alloy for biomedical applications. *Thin Solid Films*, 709, 138183. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.13818>

- Iqbal, Z., Rauf, A., Ali, A., Ul Haq, A., & Khan, A.Q. (1998). Cathodic arc deposition of titanium nitride coatings on commercial steels. *Vacuum*, 51(4), 629–633. [https://doi.org/10.1016/S0042-207X\(98\)00263-2](https://doi.org/10.1016/S0042-207X(98)00263-2)
- Iversen, A., & Leffler, B. (2010). *Aqueous corrosion of stainless steels, Shreir's corrosion*, (4nd ed.). 1802–1878. Elsevier Science.
- Khalajabadi, S.Z., Abdul Kadir, M.R., Izman S., & Mohd Yusop, M.Z. (2015). Facile fabrication of hydrophobic surfaces on mechanically alloyed-Mg/HA/TiO<sub>2</sub>/MgO bionanocomposites. *Applied Surface Science*, 324, 380–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.10.158>
- Khanchaiyaphum, S., Saikaew, C., Wisitsoraat, A., & Surinphong, S. (2017). Wear behaviours of filtered cathodic arc deposited TiN, TiAlSiN and TiCrAlSiN coatings on AISI 316 stainless steel fishing net-weaving machine components under dry soft-sliding against nylon fibres. *Wear*, 390–391, 146–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.07.018>
- Kokubo, T., & Takadama, H. (2006). How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?. *Biomaterials*, 27(15), 2907–2915. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.01.017>
- Mani, S.P, Agilan, P., Kalaiarasan, M., Ravichandran, K., Rajendran, N., & Meng, Y. (2021). Effect of multilayer CrN/CrAlN coating on the corrosion and contact resistance behavior of 316L SS bipolar plate for high temperature proton exchange membrane fuel cell. *Journal of Materials Science and Technology*, 97, 134–46. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.04.043>
- Mei, H., Zhao, S., Chen, W., Wang Q., & Liang, H. (2018). Microstructure and residual stress of TiN films deposited at low temperature by arc ion plating. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 28(7), 1368–76. [http://dx.doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64775-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64775-2)
- Pana, I., Braic, V., Dinu, M., Massima Mouele, E.S, Parau, A.C, Petrik L.F., & Mariana Braic, M. (2020). In vitro corrosion of titanium nitride and oxynitride-based biocompatible coatings deposited on stainless steel, *Coatings*, 10(8), 710. <https://doi.org/10.3390/coatings10080710>
- Ruiz, A., Timke, T., Van de Sande, A., Heftrich, T., Novotny, R., & Austin, T. (2016). Corrosion and microstructural analysis data for AISI 316L and AISI 347H stainless steels after exposure to a supercritical water environment. *Data in Brief*, 7, 1341–1348. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dib.2016.04.013>
- Santecchia, E., Hamouda, A.M.S., MusharavatiĀ F., ZalnezhadĀ E., CabibboĀ M., & SpigarelliĀ S. (2015) Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. *Ceramics International*, 41(9), 10349–10379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.04.152>
- Shiravi Khoozani, J., Hosseini, S. H, & Fordoei, M.E. (2020). Comparison of the effect of arched and through magnetic field configurations in cathodic arc deposition. *Surface Engineering*, 36(5), 547–552. <https://doi.org/10.1080/02670844.2019.1653598>
- Stern, M., & Geary, A.L. (1957). Electrochemical Polarization: I . A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. *Journal of The Electrochemical Society*, 104(12), 751. <https://doi.org/10.1149/1.2428496>
- Vengesa, Y., Fattah-alhosseini, A., Elmkhah, H., & Imantalab, O. (2022). Influence of post-deposition annealing temperature on morphological, mechanical and electrochemical properties of CrN/CrAlN multilayer coating deposited by cathodic arc evaporation- physical vapor deposition process. *Surface and Coatings Technology*, 432, 128090. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128090>
- Wathanyu, K., Tuchinda, K., Daopiset, S., Sirivisoot, S., & Surinpong, S. (2020). Microstructure, hardness, adhesion and corrosion properties ofTi and TiN films on stainless steel 316L. *Key Engineering Materials*, 856, 66–75. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.856.66>
- Xie, J.J., Ningyu. H., Sun, X., & Yang Zhan., J. (2020). *Corrosion behavior of 316L stainless Steel under Cl- corrosion medium*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 711(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/711/1/012058>

- Yazıcı, M., Kovacı, H., Yetim, A.F., & Çelik A. (2018). Structural, mechanical and tribological properties of Ti and TiN coatings on 316L stainless steel. *Ceramics International*, 44(12), 14195–14201. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.05.022>
- Zhang, L., & Wang, J. (2014). Effect of dissolved oxygen content on stress corrosion cracking of a cold worked 316L stainless steel in simulated pressurized water reactor primary water environment. *Journal of Nuclear Materials*, 446(1–3), 15–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.11.027>
- Zhang, G., Hu, J., Liu, G., & Luo, H. (2013). Bi-functional random copolymers for one-pot fabrication of superamphiphobic particulate coatings. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(20), 6226-6237. <https://doi.org/10.1039/C3TA10722A>
- Zhu, Z., Yin, W., Wang, D., Sun, H., Chen, K., & Yang, B. (2020). The role of surface roughness in the wettability and floatability of quartz particles. *Applied Surface Science*, 527, 146799. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146799>

## Degradation evaluation of titanium dioxide under stress factors

*Titanyum dioksitin stres faktörleri altında bozunma değerlendirmesi*

Ayşegül TAŞÇIOĞLU<sup>1</sup> , Gökhan YILMAZ<sup>\*2</sup> 

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Agriculture, Livestock and Food Research Application and Research Center, 15030, Burdur TURKEY

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Energy System Engineering, 15030, Burdur, TURKEY

• Received: 04.10.2022

• Accepted: 28.10.2022

### Abstract

TiO<sub>2</sub> is used in many sectors of industry such as health, food, defense, and energy. It is a well-known fact that TiO<sub>2</sub> is especially used in applications in the field of organic hybrid solar cells (OHSC) as an electron transfer layer in the energy sector. However, the OHSCs have a degradation problem because of atmospheric stress factors such as laboratory atmosphere, prolonged light application (light soaking), and UV light. To understand the meta/instability problem in OHSC, it is required to be examined independently for each layer consisting of the solar cell. In this study, the TiO<sub>2</sub> layer, widely used in OHSC applications, was grown on a rough glass substrate using a spin coating method. TiO<sub>2</sub> layer was structurally and electrically characterized by XRD and photoconductivity methods respectively. TiO<sub>2</sub> layer was characterized by exposure step by step to stress factors that are stated to cause electronic meta/instability in organic hybrid solar cells. Mobility-lifetime products were calculated from the flux-dependent photoconductivity and correlated with the electronic defects in the material due to stress factors. The findings in experiments show the laboratory atmosphere creates surface-related defects that can be eliminated by annealing. Light soaking, UV aging, and oxygen aging also create electronic defects associated with bandgap energy positions. These defects are partially eliminated with an annealing application.

**Keywords:** Electronic degradation, Mobility-lifetime product, Photoconductivity, Spin coating, Stress factors, Titanium dioxide.

### Öz

TiO<sub>2</sub> sağlık, gıda, savunma ve enerji gibi birçok sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Özellikle organik hibrit güneş pilleri (OHGP) alanındaki uygulamalarda elektron transfer katmanı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak OHGP, laboratuvar atmosferi, ışıktaki banyosu ve UV ışığı gibi dış stres faktörleri nedeniyle bozulma sorununa sahiptir. OHGP'de kısmi-kararsızlık/kararsızlık sorununun anlaşılabilmesi için hücreyi oluşturan her tabaka için ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, OHGP uygulamalarında yaygın olarak kullanılan TiO<sub>2</sub> tabakası pürüzlü cam taban malzeme üzerine Spin kaplama yöntemi ile büyütülmüştür. TiO<sub>2</sub> tabakası, sırasıyla XRD ve fotoiletkenlik yöntemi ile yapısal ve elektriksel olarak karakterize edilmiştir. TiO<sub>2</sub> tabakası, organik hibrit güneş pillerinde elektronik kısmi-kararsızlık/kararsızlık neden olduğu belirtilen stres faktörlerine birer birer maruz bırakılarak karakterize edilmiştir. Mobilite-yaşam süresi çarpımı, ışık akısına bağlı fotoiletkenlikten hesaplanmış ve stres faktörlerinden dolayı malzemede elektronik kusurlarla ilişkilendirilmiştir. Deneylerdeki bulgular, laboratuvar atmosferinin, tavlama ile ortadan kalkabilen yüzeyle ilgili kusurlar oluşturduğunu göstermektedir. Işık banyosu, UV yaşlanması ve oksijen yaşlanması da bant aralığı enerji konumlarıyla bağlantılı elektronik kusurlar yaratmaktadır. Tavlama uygulaması ile bu kusurlar kısmen ortadan kalkmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Elektronik bozunma, Mobilite-yaşam süresi çarpımı, Fotoiletkenlik, Spin kaplama, Stres faktörleri, Titanyum dioksit.

\*Gökhan YILMAZ; gyilmaz@mehmetakif.edu.tr

## 1. Introduction

Perovskite solar cells (PSC), as a member of the organic hybrid solar cells family, especially methylammonium lead iodide (MAPbI<sub>3</sub>) attract the attention of scientists with their high-efficiency characteristics among the solar cell family (Bhandarkar et al., 2021). However, it is known that there is remarkable degradation in the efficiency value of perovskite solar cells after a certain time following their production (Shaikh et al., 2017). This degradation in efficiency values is named as instability or metastability (Kim et al., 2012; Lee et al., 2012). There are various reasons for this efficiency degradation in perovskite solar cells (Green et al., 2014). A few of these can be defined as layer degradation, interface interactions, and ongoing chemical reactions due to solution-based production of the layers that make up the solar cell. (Prathvi et al., 2021; Zhou et al., 2014). In the literature, environmental stress factors such as water vapor, UV light, oxygen, and light soaking are defined as the most prominent stress factors (Leijtens et al., 2013). To understand this instability in perovskite solar cells, each layer of the solar cell must be produced independently and the degradation of the layers by exposure to different stress factors one by one must be understood (Christians et al., 2015).

The first layer of perovskite solar cells is the electron transfer layer (ETL). In the literature, there are many ETL candidates for perovskite solar cells. Electron transport layers should have some specifications such as (i) ETLs should have high transparency, (ii) ETLs should have well-matched energy alignment with the absorber layer, and (iii) ETLs should have high electron mobility (Akin et al., 2020; Shalan et al., 2020; Zaki et al., 2020). Depending on these parameters the most promising candidates are TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZnO, Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>, and WO<sub>3</sub> as ETLs. Among them, the preferred ETLs are TiO<sub>2</sub>, ZnO, and SnO<sub>2</sub>. Among these candidates, TiO<sub>2</sub> is the most used ETLs in PSC, especially in the most highly-efficient PSC including the current-record holder. However, each candidate has advantages and disadvantages. For example, ZnO creates a degradation of perovskite solar cells. Methylammonium cations in the perovskite film of solar cells are destroyed by ZnO. (Cao et al., 2018; Aslan et al., 2016; Azmi et al., 2018; Goktas et al., 2019; Song et al., 2016a, b; Tumbul et al., 2019). In the same way, SnO<sub>2</sub> thin-film production needed high-temperature processes which also ruin the perovskite structure. On the other hand, the unit price of SnO<sub>2</sub> is much more than TiO<sub>2</sub>. For example, 100g (%99) TiO<sub>2</sub> is 407€ and 5g (%99) SnO<sub>2</sub> is 241€. This situation indicates that the industrial application of SnO<sub>2</sub> is not commercially available. It is clearly understood that the most preferred ETL is TiO<sub>2</sub> for efficiency and price. In addition to all, Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) has many interesting physical properties such as good transmittance in the visible region, high refractive index, high dielectric constant, and chemical stability which make TiO<sub>2</sub> thin films suitable for in microelectronic devices, capacitors, or as a gate dielectric in metal-dielectric-semiconductor devices (Yoldas et al., 1979; Yoldas 1982; Fuyuki et al., 1986; Bertrand et al., 1983). There are several techniques have been used to prepare TiO<sub>2</sub> thin films, such as sputtering (Schiller et al., 1981; Suhail et al., 1992; Okimura et al., 1996), chemical vapor deposition (CVD) (Yeung et al., 1983; Lu et al., 1991), thermal oxidation (Burns, 1989), pyrolysis (Rice, 1987; Zhang et al. 1992) and sol-gel (Yoko et al., 1991; Vorotilov et al., 1992; Nagpal et al., 1995).

In this study, the TiO<sub>2</sub> layer used in the organic hybrid solar cell was grown on a rough glass substrate with the spin coating method and exposed to stress factors (laboratory atmosphere, light soaking, UV aging, and high-purity oxygen gas). Structural characterizations were done with XRD, SEM, and EDS. Electrical characterizations such as photoconductivity were done to understand the changes in the material by atmospheric effect.

## 2. Material and method

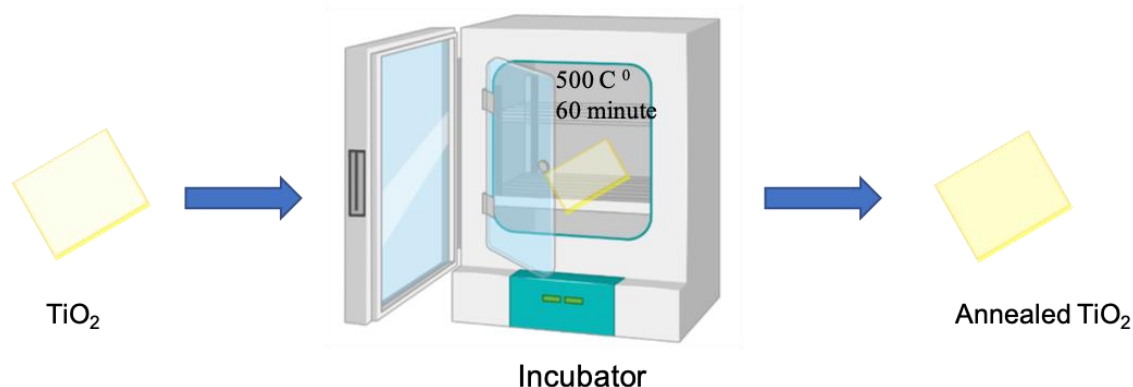
TiO<sub>2</sub> materials were grown with a solution process by spin coating. 5 ml ethanol solution was prepared with 1.4 grams of titanium isopropoxide (Sigma Aldrich %99.7). Since titanium isopropoxide is a volatile substance, ethanol was poured directly onto titanium isopropoxide in an ice bath. The resulting solution was coated with a spin coating system rotating at 1300 rpm by dropping 5 ml onto the substrate material. The coated films were left to dry on the heating surface at 80 °C for half an hour to remove the volatiles from the TiO<sub>2</sub> film. After the production of TiO<sub>2</sub> film, the post-annealing procedure was applied at 500°C. To control structural features of TiO<sub>2</sub>, XRD, and SEM, EDS measurements were done. XRD measurements were done by Bruker AXS D8 advanced measuring system and a Cu tube was used for the X-ray source. Measurements were carried out in the 2 theta range from 10 to 80 degrees and are shown in figure 1. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) measurements were done by FEI Quanta FEG 250, under low vacuum (60 Pa) and High Voltage 20.00kV with 20.000 magnification. Silver metal contacts



were grown on the TiO<sub>2</sub> films with the thermal evaporation method for conductivity measurements. The coplanar contact geometry was applied to the TiO<sub>2</sub> films, with a thickness of  $5.0 \times 10^{-9}$  m, contact lengths of  $5.0 \times 10^{-3}$  m, and contact distance between contacts of  $5.0 \times 10^{-4}$  m.

To explain a measurement procedure, one full cycle of measurement was tried to be summarized below. TiO<sub>2</sub> thin film was placed in the cryostat in the laboratory atmosphere and the Ohmic voltage was determined by I-V measurement. By applying the determined Ohmic voltage, time-dependent dark conductivity values were started to be recorded in the cryostat in the dark environment. When the dark conductivity values became stable, a photoconductivity measurement was carried out depending on the flux. Then, the system was placed under a vacuum and when the dark conductivity values became stable, the photoconductivity values were taken again in the vacuum atmosphere depending on the flux. After that, the material was heated up to 450K with a temperature increase of 2K per minute without disturbing the vacuum environment, and after being exposed to heat treatment at 450K for 30 minutes, it was cooled to 300K by a 2K ramp. While the dark conductivity values were stable at 300K in the vacuum environment, the photoconductivity measurement was carried out depending on the flux in the annealed-1 state of the material. These steps were repeated in each stress factor (laboratory atmosphere, light soaking, UV aging, and oxygen aging). After each stress factor application, the photoconductivity values of the material were measured depending on the flux in conditions where the material was stable. Depending on the flux that is applied, the generation rate was calculated (Yılmaz, 2021). In addition to this, by using photoconductivity values that are obtained, the mobility-lifetime of the material was calculated (Yılmaz, 2021). By using these two calculated data, the graphs of the mobility-life time vs. generation rate of the TiO<sub>2</sub> material were drawn and interpretations could be made about the electronic defect changes in the material from the behavior of these graphs. These graphs have given the chance of understanding defect density and defect types variance depending on previous conditions.

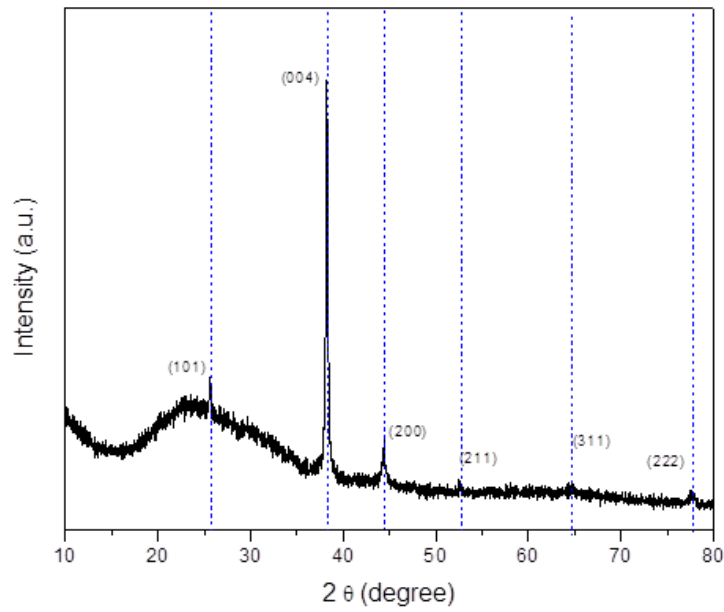
### 3. Results



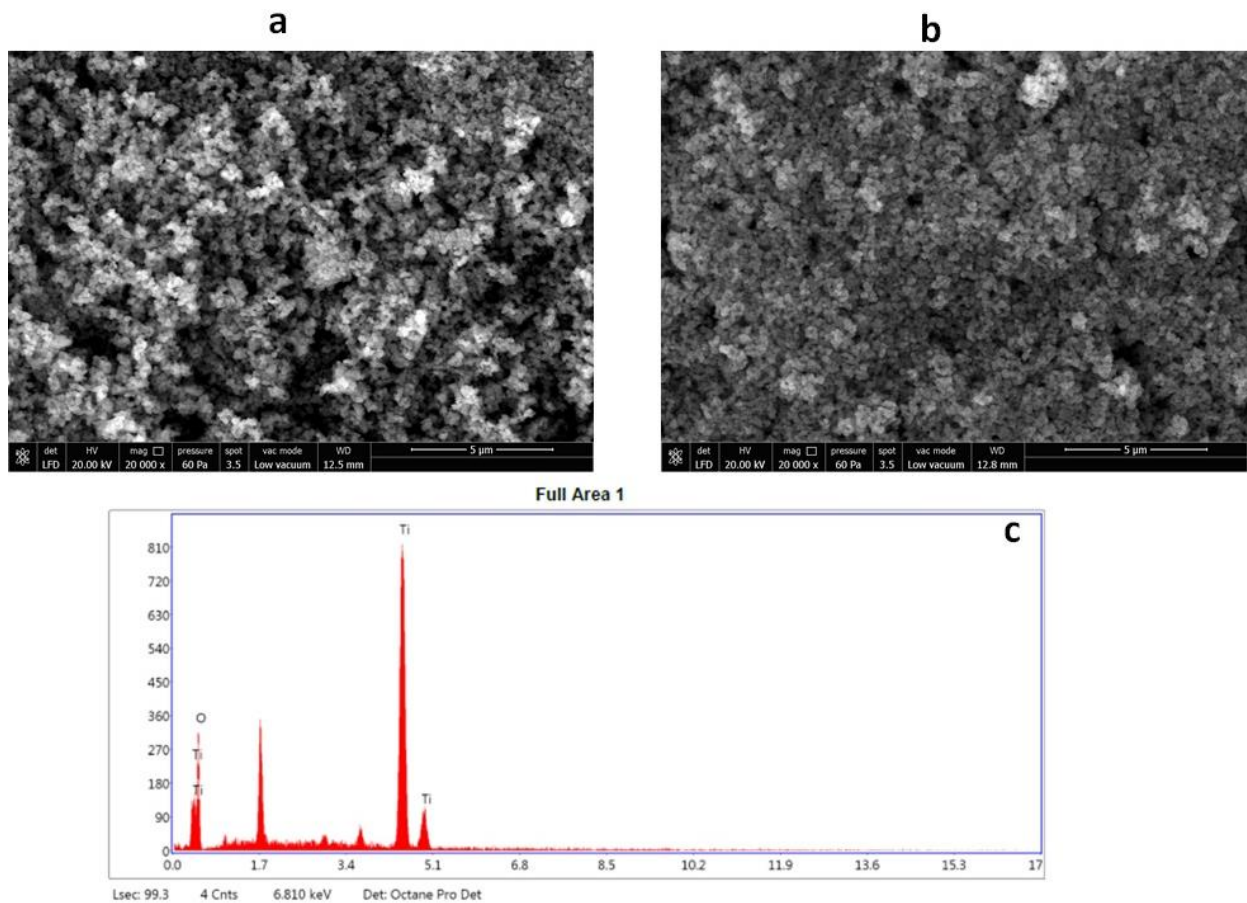
**Figure 1.** TiO<sub>2</sub> thin film post-annealing procedure

As seen in figure 2; XRD data shows that after post-annealing on TiO<sub>2</sub> film was established by anatase phase and this situation is seen consistent with the previous data in the literature. In addition, XRD peaks were indexed from the “Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)” database with the card number 00-004-0477 (Jalali et al., 2020; Sun et al., 2015). Detailed structural analysis (SEM and EDS measurements) were also carried out on TiO<sub>2</sub> thin films. In figure 3 SEM images and EDS results of post-annealed and as-deposited TiO<sub>2</sub> were displayed.

As clearly seen from figure 3a, after post-annealing TiO<sub>2</sub> film structure gets much more porous than the as-grown structure in figure 3b. Post annealing create porosity and increase the inner surface area of TiO<sub>2</sub> thin films. This result match with the previous data in the literature (Kim et al., 2007; Haidry et al., 2012; Wang et al., 2015). In addition that, the EDS results in figure 3c, show that there are only titanium and oxygen elements consisting of a thin film structure.



**Figure 2.** XRD analysis of TiO<sub>2</sub> thin film

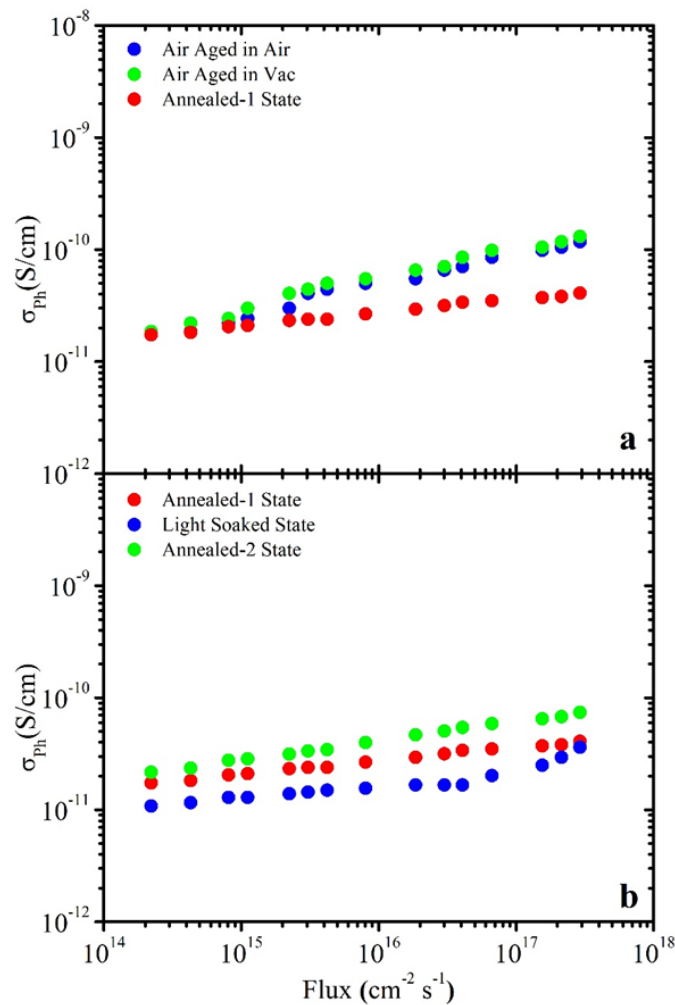


**Figure 3.** SEM and EDS analysis of TiO<sub>2</sub> thin film (a) post annealed TiO<sub>2</sub> thin film with 20.000 magnification SEM image, (b) as-deposited TiO<sub>2</sub> thin film with 20.000 magnification SEM image, (c) post annealed TiO<sub>2</sub> thin film EDS results.

Figure 4a shows the photoconductivity values obtained after laboratory atmosphere, vacuum atmosphere, and annealed-1 state. As can be seen in figure 4a, the photoconductivity values obtained in the laboratory atmosphere and the vacuum atmosphere overlaps. However, with annealed-1, a significant decrease (approximately 7-times decrease) was observed in photoconductivity values, especially in the medium and

high flux ( $10^{16} - 10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) region. The main reason for the decrease in photoconductivity values after heat treatment, may be due to the atmospheric gas molecules that could be attached to the surface of the thin film. The gas molecules attached to the surface may have been removed from the surface with the effect of vacuum and heat treatment. As a result, a change in the photoconductivity values of the material may have taken place.

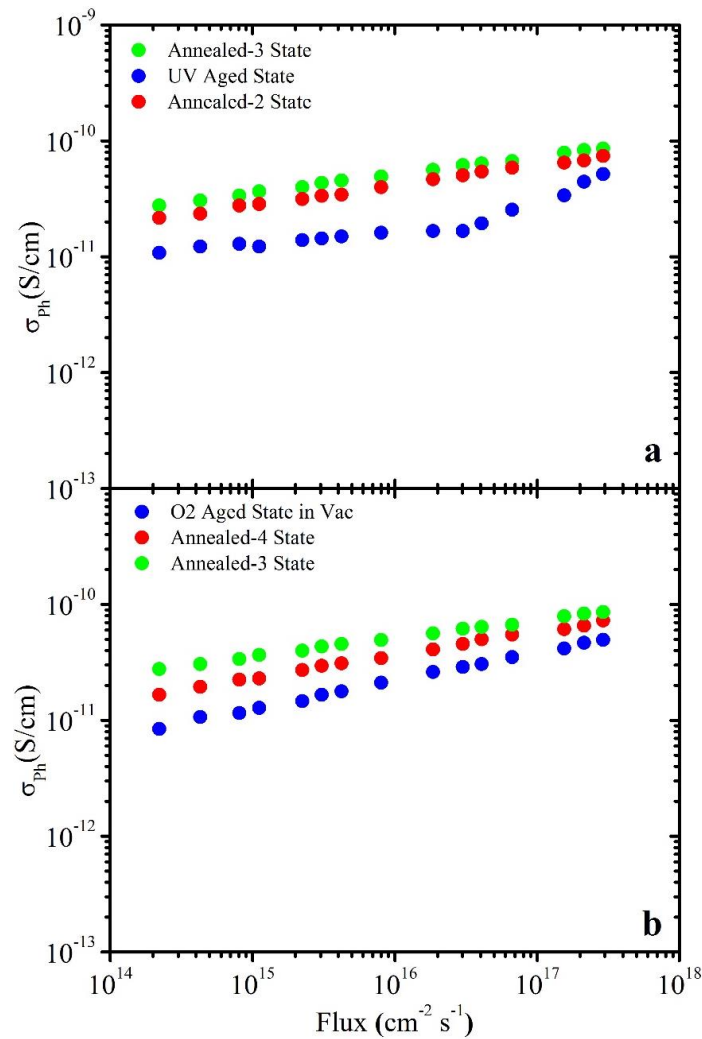
In figure 4b, the photoconductivity values of the material after annealed-1 and after annealed -2 stages, were compared after 30 minutes of exposure to five sun intensities of light (5x A.M.1.5). In figure 4b, it is seen that there is a 1.5 times decrease in photoconductivity values due to the light soaking applied to the material after the annealed-1 application. In addition, an increase in the slope of the photoconductivity values is observed after the light soaking in the high flux region. In literature, the same degradation was also observed in perovskite solar cell structure (Chong et al., 2020). This may be due to an increase in the electronic defect states of the material after the light soaking. This increase in electronic defect state changes directly affects the photoconductivity values. It was determined that the behavior or type change of the electronic defect, especially in the high flux ( $10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) region, increased photoconductivity values in figure 4b. After the second heat treatment was carried out, the photoconductivity values exceeded the annealed-1 values and exhibited an increase of approximately two times compared to the values in the light soaking.



**Figure 4.** TiO<sub>2</sub> thin film flux dependent photoconductivity results; (a) air aged state and annealed state-1 (b) light-soaked state and annealed states 1-2

When the UV aging literature studies are examined on TiO<sub>2</sub>, it is seen that TiO<sub>2</sub> material is generally used as a coating that prevents UV aging (Zang et al., 2017; Sun et al., 2011). On the other hand, any information about the electronic degradation of TiO<sub>2</sub> itself due to UV aging was not realized. In figure 5a, 30 minutes of UV light was applied to the material and the photoconductivity values were recorded after UV aging. As can be seen in figure 5a, the photoconductivity values also decreased below the photoconductivity values in the light soaking. In addition, the slope change seen in figure 4b, at high flux values, began to be seen at medium

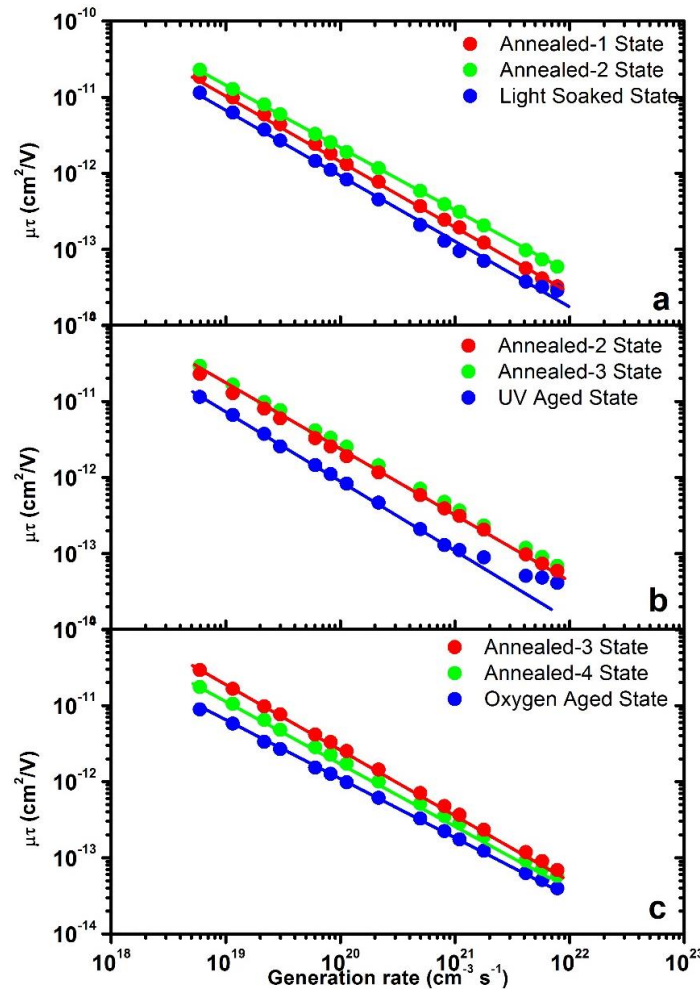
flux ( $10^{15} - 10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) intensities. Although similar behavior was observed after light soaking, it was determined that this behavior was much more significant after UV aging. At the same time, the slope change which was observed at the high flux ( $10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) region after the light soaking, starts from the medium flux ( $10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) region at this time. However, these slope changes disappear with the annealed-3 application and the photoconductivity values approach the annealed-2 values.



**Figure 5.** TiO<sub>2</sub> thin film flux dependent photoconductivity results (a) UV aged state and annealed states 2-3 (b) oxygen aged state and annealed states 3-4.

In figure 5b, the photoconductivity change, obtained in a vacuum atmosphere after the application of high-purity oxygen gas to the system, is presented. In the literature, any information about aging TiO<sub>2</sub> by exposure to oxygen gas after production could not be reached. However, it has been reported that, oxygen gas is sent to the system during TiO<sub>2</sub> production. Thus, this application enlarges the grain structures during the production and accordingly causes an increase in the conductivity (Duran et al., 2019). In figure 5b, photoconductivity values decreased sharply after oxygen gas application. This reduction is approximately seven times greater while compared to the annealed-3 condition. Although it contains a high percentage of oxygen in the TiO<sub>2</sub> film structure, it is very interesting to see the decrease in photoconductivity values with the application of oxygen gas. There may be three main reasons for this situation. The first reason could be the fact that, oxygen is physically attached to the surface and changed conductivity. The second is that, the oxygen makes bonds with the open structures (dangling bonds) on the surface, and the third is that it occurs together in both cases described above. Although the photoconductivity values increased approximately five times with the stage annealed-4, conductivity values could not reach the annealed-3 state. This situation displays that, the oxygen application creates a partially reversible effect on TiO<sub>2</sub> film.

In figure 6, after applying each different stress factor to the TiO<sub>2</sub> film, the graph of generation rate versus the mobility-lifetime product is presented. Mobility-lifetime calculation and generation rate calculation can be found in detail in previous studies (Yılmaz, 2021). As can be seen in figure 6a, the light soaking application was applied to the material after the annealed-1 state and it was determined that there was two-times decrease in the mobility-lifetime products. This display that, the light soaking increases the electronic defect density in the bandgap of the material. Thus, mobility-lifetime product decreases significantly. This increase in the electronic defect density completely disappears with the second annealing application and even it exceeded the values obtained in the annealed-1 state. In this case, it can be said, the electronic defects, consisting of the material after the light soaking with the second annealing application, are eliminated and the electronic defect type and density of the material change.



**Figure 6.** TiO<sub>2</sub> thin film mobility-lifetime dependent generation rates; (a) light-soaked state and annealed states 1-2 (b) UV aged state and annealed states 2-3 (c) oxygen aged state and annealed state 3-4

In figure 6b, UV aging was performed after the second annealing application of the material, and it was observed that there was two-times decrease in the mobility lifetime products. In addition, it was determined that the mobility-lifetime slope also changed in the region of a high generation rate ( $10^{21} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ). This shows that different types of electronic defects could be occurred in the regions close to the conduction band due to UV aging. After the third annealing, the mobility-lifetime product values reach the values obtained in the annealed-2 state. This situation shows us that the electronic defect types created in the material by UV aging are completely reversible with heat treatment.

In figure 6c, the values obtained as a result of the mobility-lifetime product after high purity oxygen gas, is applied to the material is displayed. Mobility-lifetime values of the material with the oxygen gas application show a sharp decrease of approximately four times in the region of low generation rate ( $10^{18} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ). At high generation rates, this rate drops to 1.5 times. The fourth annealing values show that, mobility-lifetime product

values partially approximately reach the annealed-3 state results. This shows that oxygen gas significantly changes the electronic defect density of the material, and it creates a partially reversible effect on the material.

#### 4. Conclusions

In this study, TiO<sub>2</sub> thin film, that is frequently used in organic solar cells as an electron transfer layer, was produced with the spin coating method, and electronic defect changes with the application of a single stress factor were examined in detail by the photoconductivity method. In light of findings, it was determined that the light soaking caused a significant increase in the electronic defect density of the TiO<sub>2</sub> material, but this increase was eliminated with the annealing procedure. Similarly, UV light creates an apparent electronic defect increase in TiO<sub>2</sub> film. It was also determined that there were changes in the electronic defect types at the high generation rate region because of UV aging. However, these changes in defect density and types are eliminated by annealing. It was determined that there was an increase in the electronic defect density in the TiO<sub>2</sub> film material with the application of oxygen gas, but this increase did not completely reversible with the application of annealing, and it created a partial reversible effect. The reason for this change in the oxygen gas, may have been the chemical bonding between the open bonds in the TiO<sub>2</sub> structure and the oxygen molecules.

#### Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. Friedhelm FINGER and Julich Research Center Germany for their donations. The authors also would like to thank the editors and referees for their contributions during the review and evaluation process of the article.

#### Author contribution

The authors have equal contribution to the formation of this article.

#### Declaration of ethical code

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

#### Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### References

- Akin, S., Akman, E., & Sonmezoglu, S. (2020). FAPbI<sub>3</sub>- based Perovskite solar cells employing hexyl-based ionic liquid with an efficiency over 20% and excellent long-term stability. *Adv Funct Mater.* <https://doi.org/10.1002/adfm.202002964>.
- Aslan, F., Tumbul, A., Gökaş, A., Budakoğlu, R., & Mutlu, İ. H. (2016). Growth of ZnO nanorod arrays by one-step sol-gel process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 80(2), 389-395. <https://doi.org/10.1007/s10971-016-4131-z>
- Azmi, R., Hadmojo, W. T., Sinaga, S., Lee, C. L., Yoon, S. C., Jung, I. H., & Jang, S. Y. (2018). High-efficiency low-temperature ZnO based perovskite solar cells based on highly polar, nonwetting self-assembled molecular layers. *Advanced Energy Materials*, 8(5), 1701683. <https://doi.org/10.1002/aenm.201701683>
- Baranowska-Wójcik, E., Szwajgier, D., Oleszczuk, P., & Winiarska-Mieczan, A. (2020). Effects of titanium dioxide nanoparticles exposure on human health—a review. *Biological Trace Element Research*, 193(1), 118-129. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01706-6>
- Bertrand, P. A., & Fleischauer, P. D. (1983). Chemical deposition of TiO<sub>2</sub> layers on GaAs. *Thin Solid Films*, 103(1-3), 167-175. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(83\)90433-9](https://doi.org/10.1016/0040-6090(83)90433-9)
- Bhandarkar, S. A., Kompa, A., Murari, M. S., Kekuda, D., & Mohan, R. K. (2021). Investigation of structural and optical properties of spin coated TiO<sub>2</sub>: Mn thin films. *Optical Materials*, 118, 111254.



<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111254>

- Burns, G. P. (1989). Titanium dioxide dielectric films formed by rapid thermal oxidation. *Journal of applied physics*, 65(5), 2095-2097. <https://doi.org/10.1063/1.342856>
- Cao, J., Wu, B., Chen, R., Wu, Y., Hui, Y., Mao, B. W., & Zheng, N. (2018). Efficient, hysteresis-free, and stable perovskite solar cells with ZnO as electron-transport layer: effect of surface passivation. *Advanced Materials*, 30(11), 1705596. <https://doi.org/10.1002/adma.201705596>
- Castro-Chong, A., Qiu, W., Bastos, J., Yimga, N. T., García-Rodríguez, R., Idígoras, J., Anta, J. A., Aernouts, T., & Oskam, G. (2020). Impact of the implementation of a mesoscopic TiO<sub>2</sub> film from a low-temperature method on the performance and degradation of hybrid perovskite solar cells. *Solar Energy*, 201, 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.041>
- Christians, J. A., Manser, J. S., & Kamat, P. V. (2015). Best practices in perovskite solar cell efficiency measurements. Avoiding the error of making bad cells look good. *The journal of physical chemistry letters*, 6(5), 852-857. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.5b00289>
- Dorier, M., Béal, D., Marie-Desvergne, C., Dubosson, M., Barreau, F., Houdeau, E., Herlin-Boime, N., & Carriere, M. (2017). Continuous in vitro exposure of intestinal epithelial cells to E171 food additive causes oxidative stress, inducing oxidation of DNA bases but no endoplasmic reticulum stress. *Nanotoxicology*, 11(6), 751-761. <https://doi.org/10.1080/17435390.2017.1349203>
- Dundar, I., Krichevskaya, M., Katerski, A., & Acik, I. O. (2019). TiO<sub>2</sub> thin films by ultrasonic spray pyrolysis as photocatalytic material for air purification. *Royal Society open science*, 6(2), 181578. <https://doi.org/10.1098/rsos.181578>
- El-Henawey, M. I., Kubas, M., El-Shaer, A., & Salim, E. (2021). The effect of post-annealing treatment on the structural and optoelectronic properties of solution-processed TiO<sub>2</sub> thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(16), 21308-21317. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06633-8>
- Fuyuki, T., & Matsunami, H. (1986). Electronic properties of the interface between Si and TiO<sub>2</sub> deposited at very low temperatures. *Japanese Journal of Applied Physics*, 25(9R), 1288. <https://dx.doi.org/10.1143/JJAP.25.1288>
- Goktas, A., Tumbul, A., Aba, Z., & Durgun, M. (2019). Mg doping levels and annealing temperature induced structural, optical and electrical properties of highly c-axis oriented ZnO: Mg thin films and Al/ZnO: Mg/p-Si/Al heterojunction diode. *Thin Solid Films*, 680, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.04.024>
- Green, M. A., Ho-Baillie, A., & Snaith, H. J. (2014). The emergence of perovskite solar cells. *Nature photonics*, 8(7), 506-514. <https://doi.org/10.1038/NPHOTON.2014.134>
- Jalali, E., Maghsoudi, S., & Noroozian, E. (2020). A novel method for biosynthesis of different polymorphs of TiO<sub>2</sub> nanoparticles as a protector for *Bacillus thuringiensis* from Ultra Violet. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57407-6>
- Kim, H. S., Lee, C. R., Im, J. H., Lee, K. B., Moehl, T., Marchioro, A., Moon, S.J., Humphry-Baker, R., Yum, J., Moser, J.E., Graetzel, M., & Park, N.G. (2012). Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9%. *Scientific reports*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep00591>
- Lee, M. M., Teuscher, J., Miyasaka, T., Murakami, T. N., & Snaith, H. J. (2012). Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites. *Science*, 338(6107), 643-647. <https://doi.org/10.1126/science.1228604>
- Leijtens, T., Eperon, G. E., Pathak, S., Abate, A., Lee, M. M., & Snaith, H. J. (2013). Overcoming ultraviolet light instability of sensitized TiO<sub>2</sub> with meso-superstructured organometal tri-halide perovskite solar cells. *Nature communications*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms3885>
- Lu, J. P., Wang, J., & Raj, R. (1991). Solution precursor chemical vapor deposition of titanium oxide thin films. *Thin Solid Films*, 204(1), L13-L17. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(91\)90488-J](https://doi.org/10.1016/0040-6090(91)90488-J)
- Nagpal, V. J., Davis, R. M., & Desu, S. B. (1995). Novel thin films of titanium dioxide particles synthesized by a sol-gel process. *Journal of materials research*, 10(12), 3068-3078. <https://doi.org/10.1557/JMR.1995.3068>

- Okimura, K., Maeda, N., & Shibata, A. (1996). Characteristics of rutile TiO<sub>2</sub> films prepared by rf magnetron sputtering at a low temperature. *Thin solid films*, 281, 427-430. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(96\)08659-2](https://doi.org/10.1016/0040-6090(96)08659-2)
- Rice, G. W. (1987). Laser-Driven Pyrolysis: Synthesis of TiO<sub>2</sub> from Titanium Isopropoxide. *Journal of the American Ceramic Society*, 70(5), C-117. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1987.tb05020.x>
- Schiller, S., Beister, G., Sieber, W., Schirmer, G., & Hacker, E. (1981). Influence of deposition parameters on the optical and structural properties of TiO<sub>2</sub> films produced by reactive dc plasmatron sputtering. *Thin Solid Films;(Switzerland)*, 83(2). [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(81\)90673-8](https://doi.org/10.1016/0040-6090(81)90673-8)
- Shaikh, J. S., Shaikh, N. S., Sheikh, A. D., Mali, S. S., Kale, A. J., Kanjanaboos, P., Hong, J.K., Kim, J.H., & Patil, P. S. (2017). Perovskite solar cells: In pursuit of efficiency and stability. *Materials & Design*, 136, 54-80. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.037>
- Shalan, A. E. (2020). Challenges and approaches towards upscaling the assembly of hybrid perovskite solar cells. *Materials Advances*, 1(3), 292-309. <https://doi.org/10.1039/D0MA00128G>
- Simionescu, O. G., Romanițan, C., Tutunaru, O., Ion, V., Buiu, O., & Avram, A. (2019). RF magnetron sputtering deposition of TiO<sub>2</sub> thin films in a small continuous oxygen flow rate. *Coatings*, 9(7), 442. <https://doi.org/10.3390/coatings9070442>
- Song, J., Zheng, E., Liu, L., Wang, X. F., Chen, G., Tian, W., & Miyasaka, T. (2016a). Magnesium-doped Zinc Oxide as Electron Selective Contact Layers for Efficient Perovskite Solar Cells. *ChemSusChem*, 9(18), 2640-2647. <https://doi.org/10.1002/cssc.201600860>
- Song, J., Hu, W., Wang, X. F., Chen, G., Tian, W., & Miyasaka, T. (2016b). HC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>PbI<sub>3</sub> as a thermally stable absorber for efficient ZnO-based perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(21), 8435-8443. <https://doi.org/10.1039/C6TA01074A>
- Suhail, M. H., Rao, G. M., & Mohan, S. D. C. J. (1992). dc reactive magnetron sputtering of titanium-structural and optical characterization of TiO<sub>2</sub> films. *Journal of Applied Physics*, 71(3), 1421-1427. <https://doi.org/10.1063/1.351264>
- Sun, S. S., Wang, Y. M., & Zhang, A. Q. (2011). Study on anti-ultraviolet radiation aging property of TiO<sub>2</sub> modified asphalt. In *Advanced materials research*, 306, (951-955). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.306-307.951>
- Sun, H., Peng, T., Liu, B., & Xian, H. (2015). Effects of montmorillonite on phase transition and size of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in TiO<sub>2</sub>/montmorillonite nanocomposites. *Applied Clay Science*, 114, (440-446). <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.06.026>
- Tumbul, A., Aslan, F., Demirozu, S., Goktas, A., Kilic, A., Durgun, M., & Zarbali, M. Z. (2018). Solution processed boron doped ZnO thin films: influence of different boron complexes. *Materials Research Express*, 6(3), 035903. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaf4d8>
- Vorotilov, K. A., Orlova, E. V., & Petrovsky, V. I. (1992). Sol-gel TiO<sub>2</sub> films on silicon substrates. *Thin Solid Films*, 207(1-2), 180-184. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(92\)90120-Z](https://doi.org/10.1016/0040-6090(92)90120-Z)
- Yeung, K. S., & Lam, Y. W. (1983). A simple chemical vapour deposition method for depositing thin TiO<sub>2</sub> films. *Thin Solid Films*, 109(2), 169-178. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(83\)90136-0](https://doi.org/10.1016/0040-6090(83)90136-0)
- Yılmaz, G. 2021. Creation and Investigation of Electronic Defects on Methylammonium Lead Iodide (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>) Films Depending on Atmospheric Conditions. *European Physical Journal D* 75(6). <https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-021-00167-8>
- Yoko, T., Yuasa, A., Kamiya, K., & Sakka, S. (1991). Sol-gel-derived TiO<sub>2</sub> film semiconductor electrode for photocleavage of water: preparation and effects of post heating treatment on the photoelectrochemical behavior. *Journal of the Electrochemical Society*, 138(8), 2279. <https://doi.org/10.1149/1.2085961>
- Yoldas, B. E., & O'Keefe, T. W. (1979). Antireflective coatings applied from metal-organic derived liquid precursors. *Applied Optics*, 18(18), 3133-3138. <https://doi.org/10.1364/AO.18.003133>
- Yoldas, B. E. (1982). Deposition and properties of optical oxide coatings from polymerized solutions. *Applied Optics*, 21(16), 2960-2964. <https://doi.org/10.1364/AO.21.002960>

- Zaki, A. H., Shalan, A. E., El-Shafeay, A., Gadelhak, Y. M., Ahmed, E., Abdel-Salam, M. O., Sobhi, M., & El-dek, S. I. (2020). Acceleration of ammonium phosphate hydrolysis using TiO<sub>2</sub> microspheres as a catalyst for hydrogen production. *Nanoscale Advances*, 2(5), 2080-2086. <https://doi.org/10.1039/D0NA00204F>
- Zhang, S. Y. F. D. E., Zhu, Y. F., & Brodie, D. E. (1992). Photoconducting TiO<sub>2</sub> prepared by spray pyrolysis using TiCl<sub>4</sub>. *Thin Solid Films*, 213(2), 265-270. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(92\)90292-J](https://doi.org/10.1016/0040-6090(92)90292-J)
- Zhang, H., Yang, H., Shentu, B., Chen, S., & Chen, M. (2018). Effect of titanium dioxide on the UV-C ageing behavior of silicone rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(14), 46099. <https://doi.org/10.1002/app.46099>
- Zhou, H., Shi, Y., Dong, Q., Zhang, H., Xing, Y., Wang, K., Du, Y., & Ma, T. (2014). Hole-conductor-free, metal-electrode-free TiO<sub>2</sub>/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> heterojunction solar cells based on a low-temperature carbon electrode. *The journal of physical chemistry letters*, 5(18), 3241-3246. <https://doi.org/10.1021/jz5017069>

## Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması

*Comparison of strengthening principles in the reinforced concrete a school building according to 2007 and 2019 Turkish earthquake regulations*

Mustafa Esat COŞKUN<sup>1</sup> , Şenol GÜRİSOY<sup>\*2</sup> , Zehra Şule GARİP<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 78050, Karabük

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 04.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.11.2022

### Öz

Türkiye depremsellik açısından çok hareketli bir bölgede bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle yerleşim yerlerinin birçoğunun içinden ya da çok yakınından aktif faylar geçmektedir. Bunlara bağlı olarak oluşan yıkıcı depremler, depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Oluşan depremler sonucu hasar gören binaların fazlalığı ve yapısal elemanlarda oluşan hasar binalardaki tasarım ve uygulama hatalarıyla ilgili önemli bilgiler vermektedir. Bu bilgi birikimi sayesinde yapıların nasıl güçlendirilmesi gerektiği hakkında da bilgilerimiz artmakta yeni yapılacak yapılarında daha sağlıklı nasıl tasarlanabileceğini öğrenmekteyiz. Böylelikle, sıklıkla yeni deprem yönetmelikleri de yayımlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında denebilir ki; zamanında depremlere karşı dayanıklı olarak tasarlanan yapılar daha güncel deprem yönetmeliği koşullarını sağlayamamaktadır. Bu hususta mevcut yapıların statik açıdan uygunluğunu kontrol etmemizi ve gerekli durumlarda güçlendirmemizi gerektirmektedir. Bu makalede Karabük ilinde bulunan ve 2002 yılında yapılan betonarme bir okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının Sta4-Cad programıyla yapısal analizleri yapılmış ve DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerine göre performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapısal çözümlenmelerden elde edilen sonuçlar eski deprem yönetmeliklerine göre tasarlanan betonarme binaların 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre güçlendirilmesinin önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca betonarme binalara güçlendirme kararı verilirken; binanın yaşının, kaba inşaat maliyetinin toplam güçlendirme maliyetine oranının, yapı yaklaşık maliyeti oranının ve güçlendirme maliyetlerinin birlikte değerlendirilerek dikkate alınması daha uygun olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme yapılar, Güçlendirme, Onarım-güçlendirme, Performans analizi.

### Abstract

Turkey is located on one of the most seismically active regions in the world. In other words, most of its population centers are surrounded by many of the active faults if not lay on at least one of these active faults. The devastating earthquakes occurred in the past along these faults, reveal the importance of earthquake resistant design. The high number of the damaged buildings and the types of damages to structural members provide crucial information about the faults in design and the construction of buildings. Thanks to the accumulated knowledge, we know how to strengthen the existing buildings and more importantly learn how to design far healthier buildings in terms of earthquake performance. Thus, new earthquake codes are introduced frequently. In the light of these facts, it could be said that the old structures that are designed to be resistant to earthquakes may not meet the new earthquake regulation conditions. In this respect, it is vital to check existing buildings' structural compatibility with the new codes and strengthen them when necessary. In this article, structural analysis of a sample building which was located in Karabuk province and designed in 2002, was performed and the same building was subjected to strengthening procedures until it complied with the new code requirements. Sta4CAD is used as analysis program and the earthquake performance of the original and strengthened building was compared. The results of the study proved the importance of strengthening the existing buildings according to the 2019 Turkish Earthquake Code. In addition, while deciding to strengthen reinforced concrete buildings, it would be more appropriate to consider the age of the building, the ratio of the rough construction cost to the total strengthening cost, the approximate cost of the building and the strengthening costs together.

**Keywords:** Reinforced concrete structures, Strengthening, Repair and retrofit, Performance analysis.

\* Şenol GÜRİSOY; sgursoy@karabuk.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Türkiye’de sıklıkla yaşadığımız doğal afetlerin başında depremler gelmektedir. Meydana gelen depremlerde yapılarda önemli hasarlar oluşturmakta ya da bu hasarlar sonucu yapılar göçmektedir. Türkiye’de günümüze kadar yaşamış olduğumuz bazı depremlerde; 1939’da 7.9 ve 1992’de 6.8 büyüklüğündeki Erzincan, 1999’da 7.8 büyüklüğündeki Kocaeli, yine 1999’da 7.5 büyüklüğündeki Düzce, 2011’de 7.2 büyüklüğündeki Van, 2020’de 6.8 büyüklüğündeki Elazığ ve son olarak 30 Ekim 2020’de 6.6 büyüklüğündeki İzmir depremleri sonucu, maalesef binlerce insanımız hayatını kaybetmiş ve birçok yapı göçmüştür. Oluşan söz konusu depremlerin hasarları incelendiğinde hasar gören ve/veya yıkılan yapıların tasarım, inşa ve kullanım aşamalarında gerekli özenin gösterilmediği görülmektedir (Scawthorn vd., 2000; Adalier & Aydingun, 2001; Sezen vd., 2003; Spence vd., 2003; Doğangün, 2004; Kaplan vd., 2004; Arslan & Korkmaz, 2007; Celep vd., 2011; Yön vd., 2013). Bu husus depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu amaçla bazı araştırmacılar betonarme yapıların depremlere dayanıklı olarak tasarlanmaları için çalışmalar yapmışlardır (Gürsoy, 2013; Çavdar & Sunca, 2014; Gürsoy, 2014; İnan vd., 2014; Gürsoy vd., 2015; Çağlar vd., 2016; Aksoylu & Arslan, 2019a; Aksoylu & Arslan, 2019b; Aksoylu vd., 2020; Özbayrak & Altun, 2020; Aksoylu & Arslan, 2021; Gürsoy & Çavuşoğlu, 2021; Garip & Eren, 2022; İnan Günaydın, 2022; Yel vd., 2022).

Meydana gelen depremlerde bazı yapılarda oluşan hasarların kabul edilebilir düzeyde kaldığı görülürken, bazılarında ise *Can Güvenliği* (CG) sınırını aştığı görülmektedir. Bunlardan kabul edilebilir düzeyde olan yapılardaki hasarlar basit onarım ve/veya güçlendirme işlemleriyle ortadan kaldırılmaktadır. Ancak CG sınırını aşan yapıları yıkıp yeniden yapmak ve güçlendirme (takviye) yaparak istenilen performans seviyesini yeniden sağlamak gibi iki seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden hangisinin uygulanacağına da güçlendirme maliyeti kavramıyla karar verilmektedir. Diğer bir ifadeyle fayda-maliyet analizi kavramıyla bina yaşına bağlı olarak söz konusu binanın yaklaşık maliyeti hesaplanmakta ve elde edilen değerler güçlendirme maliyetiyle kıyaslanmaktadır. Bu amaçla bazı araştırmacılar betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesiyle ilgili ve bazı araştırmacılar da uygulanacak güçlendirme işleminin söz konusu yapının davranışına etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır (Kalkan vd., 2013; Baran vd., 2014; Aksoylu & Sezer, 2018; Aksoylu & Kara 2019; Aksoylu & Kara, 2020; Baran, 2020; Coşkun, 2022).

Bu makalede örnek olarak seçilen bir okul binası 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 7. bölümünde ve 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 15. Bölümünde verilen *Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi* başlığındaki tasarım ilkelerine göre modellenerek karşılaştırılmalı olarak incelenmektedir. Bu amaçla Karabük ilinde bulunan Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı seçilen okul binası 2007 ve 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliklerine göre Sta4-Cad (Sta4-Cad, 2021) programıyla modellenerek kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeylerine göre yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmekte ve performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Söz konusu okul binasının gerçekleştirilen yapısal çözümlenmeler ve performans değerlendirmelerinden elde edilen bulgular karşılaştırılmalı olarak irdelenerek bazı sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.

## 2. Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bazı bilgiler

### 2. Some information on evaluation and retrofitting of existing buildings

Bu başlık altında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte (DBYBHY) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) verilen tasarım ilkeleri ile ilgili bazı bilgiler verilerek söz konusu tasarım ilkeleri birbirleriyle karşılaştırılmaktadır (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019).

### 2.1. Binalardan bilgi toplanması

#### 2.1. Gathering information from buildings

Binalardan bilgi toplanması DBYBHY ve TBDY’de belirtilen bilgi düzeyleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Söz konusu okul binasında yapılacak olan çalışmalarda, kapsamlı bilgi düzeyinde belirtilen hususlar dikkate alınmıştır. Ayrıca örnek olarak seçilen Misakı Milli okul binasında yapılacak olan deneysel işlemler TBDY’de verilen koşullara göre yapılmıştır. Bu makalede dikkate alınan DBYBHY ve TBDY arasındaki farklılıklar Tablo 1’de verilmektedir. Bu tablodan kapsamlı bilgi düzeyi için belirtilen kurallar incelendiğinde, bu bilgi düzeyinin iki seçeneğe ayrıldığı görülmektedir. Buna göre uygulama projesinin olup olmaması durumları için farklı deney sayıları olduğu görülmektedir. Bu tablodan uygulama projesinin olması durumunda; DBYBHY’e

göre yapısal elemanlarda kullanılacak tahribatlı yöntem miktarının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde tahribatsız yöntem için her iki deprem yönetmeliğinde de perde duvar ve kolonlarda eşit miktarda röntgen çalışması yapılması gerekirken kirişler için DBYBHY’de daha fazla miktarda donatı tespitinin yapılması gerektiği belirtilmektedir. Uygulama projesinin olmaması durumunda ise, tahribatlı yöntemin yapısal elemanlarda uygulanma miktarının ve tahribatsız yöntemle ise kirişlerde donatıların tespit edilmesinin DBYBHY’de daha fazla olduğu buna karşın tahribatsız yöntemle düşey taşıyıcı elemanlarda donatıların belirlenmesinin DBYBHY’de daha az olduğu görülmektedir. Karot işlemleri bakımından bina genelinde alınacak toplam karot sayısı her iki yönetmelikte de değişmezken, TBDY’de belirtilen her katta alınacak karot sayıları daha az olmaktadır. Özet olarak iki yönetmeliği deney sayıları açısından karşılaştırmak gerekirse, DBYBHY’in tahribatlı yöntemlerle donatı tespitine ağırlık verdiği buna karşın TBDY’nin ise tahribatsız yöntemle donatı tespitine yoğunlaştığı görülmektedir.

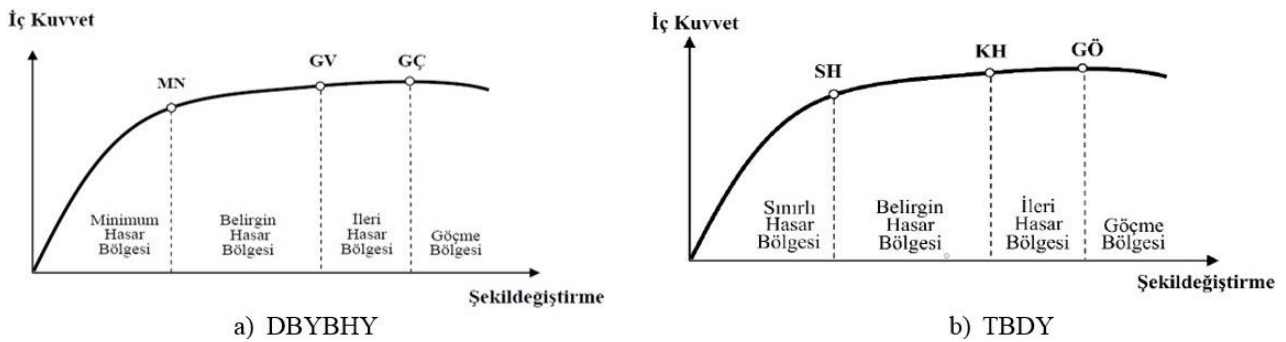
**Tablo 1.** DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerine göre kapsamlı bilgi düzeylerinin karşılaştırılması  
*Table 1. Comparison of comprehensive knowledge levels according to DBYBHY and TBDY regulations*

	DBYBHY		TBDY	
	Projesi varsa	Projesi yoksa	Projesi varsa	Projesi yoksa
Sıyırma İşlemi (Tahribatlı Yöntem)	En az 1 adet	En az 2 adet	En az 1 adet	En az 2 adet
	Kolon Her kattaki kolonların %10’u	Her kattaki kolonların %20’si	Her kattaki kolonların %5’i	Her kattaki kolonların %10’u
	Perde Duvar Her kattaki perde duvarların %10’u	Her kattaki perde duvarların %20’si	Her kattaki perde duvarların %5’i	Her kattaki perde duvarların %10’u
Röntgen (Tahribatsız Yöntem)	En az 1 adet	En az 2 adet	En az 1 adet	En az 2 adet
	Kolon Sıyrılmayan kolonların %20’si	Sıyrılmayan kolonların %20’si	Sıyrılmayan kolonların %20’si	Sıyrılmayan kolonların %30’u
	Perde Duvar Sıyrılmayan perde duvarların %20’si	Sıyrılmayan perde duvarların %20’si	Sıyrılmayan perde duvarların %20’si	Sıyrılmayan perde duvarların %30’u
Kiriş	En az 1 adet Her kattaki kirişlerin %5’i	En az 2 adet Her kattaki kirişlerin %10’u	1 adet	1 adet
Kiriş	Sıyrılmayan kirişlerin %20’si	Sıyrılmayan kirişlerin %20’si	Sıyrılmayan kirişlerin %10’u	Sıyrılmayan kirişlerin %15’i
Karot İşlemi	Her katta en az 3, toplamda en az 9 adet ve her 200 m <sup>2</sup> ’de 1 adet alınması gerektiği		Zemin katta en az 3, diğer katlarda en az 2, toplamda da en az 9 adet ve her 400 m <sup>2</sup> ’de 1 adet alınması gerektiği	

## 2.2. Yapısal elemanlarda hasar sınırları ve bölgeleri

### 2.2. Damage limits and zones in structural members

DBYBHY’de MN’ye kadar olan bölge *Minimum Hasar Bölgesi*, MN ile GV arasındaki bölge *Belirgin Hasar Bölgesi*, GV ile GÇ arasındaki bölge *İleri Hasar Bölgesi* ve GÇ’den sonraki bölge ise *Göçme Bölgesi* olarak, TBDY’de ise SH’ye kadar olan bölge *Sınırlı Hasar Bölgesi*, SH ile KH arasındaki bölge *Belirgin Hasar Bölgesi*, KH ile GÖ arasındaki bölge *İleri Hasar Bölgesi* ve GÖ’den sonraki bölge *Göçme Bölgesi* olarak tanımlanmıştır (bkz. Şekil 1).



**Şekil 1.** DBYBHY ve TBDY’ye göre tanımlanan kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019)  
*Figure 1. Section damage zones defined according to DBYBHY and TBDY (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019)*



### 2.3. Performans hesabında kullanılacak analiz yöntemleri

#### 2.3. Analysis methods to be used in performance calculation

DBYBHY ve TBDY’de bina performansının belirlenmesi için üç analiz yöntemi verilmektedir (bkz. Tablo 2). DBYBHY’ye göre artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle bina performans analizinin yapılabilmesi için binanın kat sayısının bodrum kat hariç 8’den az olması, burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  olması ve 1. doğal titreşim periyodu dikkate alınarak hesaplanan etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının (kütle katılım oranı)  $x$  ve  $y$  doğrultularında 0.7’den fazla olması gerekmektedir. Ayrıca DBYBHY’ye göre diğer analiz yöntemleri her türlü binalarda uygulanabilmektedir. TBDY’de ise tek modlu itme yönteminin uygulanma koşulları DBYBHY’de verilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle benzerlik göstermekte ancak TBDY’de yeni kavramların bulunması nedeniyle bu koşulların ifadesinde bazı farklılıklar vardır. Buna göre tek modlu itme yöntemlerinin uygulanabilmesi için  $BYS \geq 5$ ,  $\eta_{bi} < 1.4$  ve kütle katılım oranının en az 0.7 olması gerekmektedir. Ayrıca çok modlu itme yöntemi  $BYS \geq 2$  olan binalarda uygulanabilirken, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tüm binalarda kullanılabilir.

**Tablo 2.** TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerine göre analiz yöntemleri  
**Table 2.** Analysis methods according to TBDY and DBYBHY regulations

<b>Performans Analizinde Kullanılacak Analiz Yöntemleri</b>	
<b>DBYBHY</b>	<b>TBDY</b>
Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi	Tek modlu itme yöntemi
Artımsal mod birleştirme yöntemi	Çok modlu itme yöntemi
Zaman tanım alanında hesap yöntemi	Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

### 2.4. DBYBHY ve TBDY’ye göre mevcut binalar için performans hedefleri

#### 2.4. Performance targets for existing buildings according to DBYBHY and TBDY

Mevcut binaların performans hedeflerinin belirlenebilmesi için DBYBHY ve TBDY’de deprem aşılma olasılıklarına bağlı olarak sağlanması gereken hasar sınırları sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmektedir. Bu çizelgelerden DBYBHY’de binanın kullanım amacı ve türüne göre hedef performans seviyesi belirlenirken, TBDY’de ise deprem tasarım sınıfına bağlı olarak hedef performans seviyesinin belirlendiği görülmektedir.

**Tablo 3.** DBYBHY göre farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri  
**Table 3.** The minimum performance targets foreseen for buildings at different seismic levels to DBYBHY

<b>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</b>	<b>Deprem Aşılma Olasılığı</b>		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, afet yönetim merkezleri vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, cezaevleri, müzeler vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı maddelerin bulunduğu binalar	-	HK	GÖ
<b>Diğer Binalar:</b> Konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları	-	CG	-

CG: Can Güvenliği, HK: Hemen Kullanım ve GÖ: Göçme Önlenmesi

**Tablo 4.** TBDY’ye mevcut binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları

**Table 4.** Performance targets and design approaches for existing buildings to TBDY

Deprem Düzeyi	<b>DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a</b>		<b>DTS=1a, 2a</b>	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

KH: Kontrollü Hasar, SH: Sınırlı Hasar ve ŞGDT: Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım

### 3. Misakı Milli ilkokulundan bilgi toplanması

#### 3. Gathering information from Misaki Milli primary school

Bu makalede Karabük ili Safranbolu ilçesinde bulunan Misakı Milli ilköğretim okulu incelenmiştir. Söz konusu okul binasının ekonomik ömrünü tamamlamamış olması sayısal örnek olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Bu amaçla seçilen okul binalarının önce Sta4-CAD programıyla DBYBHY ve TBDY'e göre performans analizleri yapılarak elde edilen bulgular karşılaştırılmış, daha sonra söz konusu yönetmeliklere göre güçlendirme projeleri hazırlanarak tasarım kuralları çerçevesinde maliyetleri değerlendirilmiştir.

Misakı Milli ilkokul binasının yapım yılı 2002'dir. Söz konusu okul binasının taşıyıcı sistemi, 3 katlı betonarme çerçeve ve duvar sistemden oluşmaktadır. Buna göre bodrum, zemin ve 1. normal kattan oluşan okul binası toplam 1792.99 m<sup>2</sup>'dir. Misakı Milli ilkokulunun bodrum katı 4.1 m, zemin katı ve 1. normal katı 3.2 m yüksekliğindedir. Ayrıca söz konusu okul binası 1.4 m gömülü olarak inşa edilmiştir. Okul binasının statik ve mimari projesi bulunmadığından röleve çalışması yapılarak projeleri hazırlanmıştır (Coşkun, 2022). Hazırlanan röleve projelerine göre taşıyıcı elemanların yerleri tespit edilerek gerekli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Söz konusu deneysel çalışmaların adetleri TBDY'de verilen kapsamlı bilgi düzeyine göre belirlenmiştir. Misakı Milli ilkokulunun daha önceden her katından 3'er adet karot örneği alınmıştır. Ancak mevcut beton basınç dayanımının daha sağlıklı olarak değerlendirilebilmesi için her katından ek olarak 1'er adet daha karot örneği alınmıştır (bkz. Tablo 5). Bu tablo incelendiğinde her kat için ayrı beton basınç dayanımı değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu tablodan bodrum ve 1.katın en düşük değerlerinde sapma olurken, zemin katta en düşük değerin dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir. Elde edilen *Ortalama-Standart sapma* ve *Ortalama\*0.85* değerlerinden büyük olan değerin mevcut beton basınç dayanımı değeri olacağı kabul edildiğinde; bodrum katta 17 MPa, zemin katta 22 MPa ve 1.katta 19 MPa'lık beton basınç dayanımı değerlerinin kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Misakı Milli okul binasında donatıları tespit etmek için sıyırma ve röntgen işlemleri TBDY'de belirtilen koşullara göre yapılmıştır. Misakı Milli okulunun statik rölevesi dikkate alındığında 36 adet kolon ve 6 adet perde duvarın bulunduğu görülmektedir. TBDY'de verilen koşullar gereği kolon ve perde duvarların, en az 1 tanesinde sıyırma yapmak koşuluyla, %5'inde sıyırma yapılmalıdır. Buna göre okul binasının kolonlarında minimum 2 adet ve perde duvarlarında ise 1 adet sıyırma işlemi yapılmıştır. Diğer taraftan kirişler hakkında bilgi edinmek amacıyla her katta minimum 1 adet sıyırma işlemi yapılmalıdır. Röntgen işlemi için sıyırma yapılmayan kolonlar ve perde duvarların da minimum %20'sinde donatı tespiti yapılması gerekmektedir (bkz. Tablo 6 ve Tablo 7). Ayrıca Misakı Milli okulunun temel sisteminin belirlenmesi için muayene çukuru açılmış ve 40 cm kalınlığında kirişsiz radye temel olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Misakı Milli ilkokulunun mevcut karot sonuçları ve ortalama basınç değerleri

**Table 5.** The current drilling core results and average compression values of Misakı Milli primary school

Katlar	Karotlar	Basınç Dayanımı (MPa)	En düşük değerin değerlendirilmesi	Standart Sapma (SS)	Ortalama SS	Ort.*0.85	
Bodrum kat	Önceden alınan karot sonuçları	1	19.62	20.02*0.75=15.015>9.15 9.15 MPa dikkate alınmayacaktır.	7.137	12.883	17.017
		2	13.09				
		3	9.15				
	Güncel karot sonucu	1	27.35				
Zemin kat	Önceden alınan karot sonuçları	1	34.75	28.073*0.75=21.055<21.2 21.2 MPa dikkate alınacaktır.	6.077	20.278	22.401
		2	26.80				
		3	22.67				
	Güncel karot sonucu	1	21.2				
1. Kat	Önceden alınan karot sonuçları	1	26.14	22.35*0.75=16.76>15.89 15.89 MPa dikkate alınmayacaktır.	3.49	18.86	19
		2	21.65				
		3	15.89				
	Güncel karot sonucu	1	19.26				

**Tablo 6.** Misakı Milli ilkokulunun hasarsız donatı tespit raporu  
**Table 6.** The undamaged rebar detection report of Misakı Milli primary school

Katlar	Yapılan İşlem	Yapısal Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Bodrum Kat	Röntgen 1	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 2	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 3	Kolon	30x90	6	2	12Ø16	Ø8/12
	Röntgen 4	Kolon	30x90	5	2	10Ø16	Ø8/12
	Röntgen 5	Kolon	30x90	7	3	16Ø16	Ø8/15
	Röntgen 6	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/12
	Röntgen 7	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/15
	Röntgen 8	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/15
	Röntgen 9	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/15
	Röntgen 10	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/19
	Röntgen 11	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/27	Ø8/15
	Röntgen 12	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/16
	Röntgen 13	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/12	Ø8/20
	Röntgen 14	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/19	Ø8/20
Zemin Kat	Röntgen 15	Kolon	30x90	7	2	14Ø16	Ø8/15
	Röntgen 16	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 17	Kolon	30x90	8	4	20Ø16	Ø8/12
	Röntgen 18	Kolon	30x90	11	3	24Ø16	Ø8/10
	Röntgen 19	Kolon	30x90	11	4	26Ø16	Ø8/11
	Röntgen 20	Kolon	30x90	7	2	14Ø16	Ø8/12
	Röntgen 21	Kolon	90x30	6	3	14Ø16	Ø8/13
	Röntgen 22	Kolon	30x90	9	4	22Ø16	Ø8/13
	Röntgen 23	Kolon	90x30	8	2	16Ø16	Ø8/13
	Röntgen 24	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/13
	Röntgen 25	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/22	Ø8/19
	Röntgen 26	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/12
	Röntgen 27	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/23	Ø8/28
	Röntgen 28	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/11	Ø8/18
	Röntgen 29	Kiriş altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/13
1. Kat	Röntgen 30	Kolon	30x90	9	3	20Ø16	Ø8/13
	Röntgen 31	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/12
	Röntgen 32	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/15
	Röntgen 33	Kolon	30x90	10	2	20Ø16	Ø8/14
	Röntgen 34	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/14
	Röntgen 35	Kolon	30x90	11	2	22Ø16	Ø8/16
	Röntgen 36	Kolon	90x30	8	2	16Ø16	Ø8/17
	Röntgen 37	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/19
	Röntgen 38	Kolon	90x30	9	2	18Ø16	Ø8/21
	Röntgen 39	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/19
	Röntgen 40	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/21
	Röntgen 41	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/17	Ø8/22
	Röntgen 42	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/13	Ø8/20
	Röntgen 43	Perde duvar	100x100	-	-	Ø16/22	Ø8/14
	Röntgen 44	Kiriş altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/12

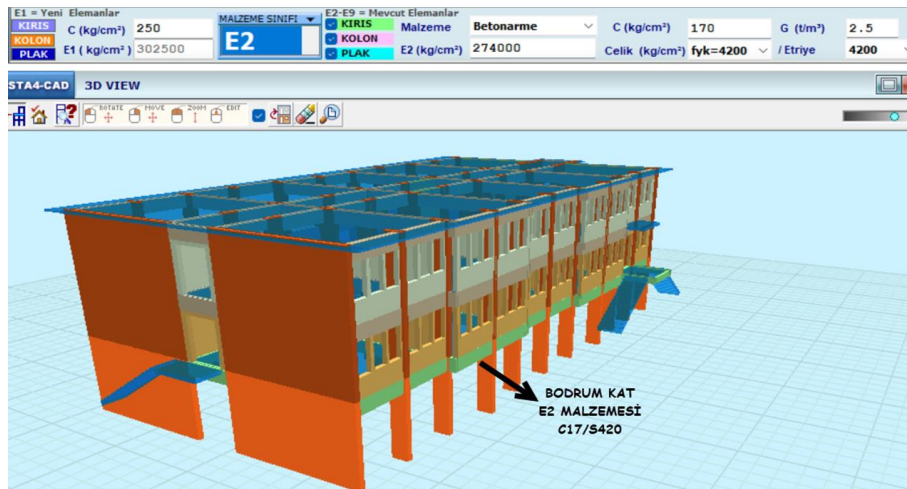
**Tablo 7.** Misakı Milli ilkokulu hasarlı donatı tespit raporu**Table 7.** Misakı Milli primary school damaged rebar detection report

Katlar	Yapılan İşlem	Yapısal Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna/Asal Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Bodrum Kat	Sıyırma 1	Perde duvar	30x735	-	-	Ø16/14	Ø8/16
	Sıyırma 2	Perde duvar	30x735	-	-	Ø16/27	Ø8/15
	Sıyırma 3	Perde duvar	420x30	-	-	Ø16/19	Ø8/20
	Sıyırma 4	Perde duvar	420x30	-	-	Ø16/15	Ø8/21
	Sıyırma 5	Kolon	90x30	6	2	12Ø16	Ø8/16
	Sıyırma 6	Kolon	90x30	6	4	16Ø16	Ø8/16
	Sıyırma 7	Perde duvar	410x30	-	-	Ø14/20	Ø8/20
Zemin Kat	Sıyırma 8	Kolon	90x30	8	4	20Ø16	Ø8/12
	Sıyırma 9	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/15
	Sıyırma 10	Perde duvar	410x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 11	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/15
	Sıyırma 12	Kolon	30x90	6	4	16Ø16	Ø8/12
	Sıyırma 13	Kolon	30x90	8	4	20Ø16	Ø8/14
1. Kat	Sıyırma 14	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/10
	Sıyırma 15	Kolon	90x30	9	2	18Ø16	Ø8/11
	Sıyırma 16	Perde duvar	420x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 17	Perde duvar	410x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 18	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/10

#### 4. Misakı Milli ilkokulunun modellenmesi ve yapısal çözümlerinin yapılması

##### 4. Modelling and structural analyses of Misakı Milli primary school

Röleve çalışmaları tamamlanan Misakı Milli ilkokulunun Sta4-Cad programıyla laboratuvar çalışmalarından elde edilen değerler ve bugün yürürlükteki yönetmelikler de (TS498, 1997; TS500, 2000) dikkate alınarak yapısal modeli oluşturulmuştur. Ancak sıyırma ve röntgen işlemleri binaların taşıyıcı sistemleri hakkında bir bilgi verse de betonarme projesi olmayan binalarda tam anlamıyla yeterli bilgiye sahip olunamamaktadır. Örneğin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve döşemelerde mevcut donatılar tespit edilememektedir. Bu nedenle Misakı Milli ilkokulunun performans analizi yapılmadan önce yapım yılı da dikkate alınarak deprensiz analizi yapılmıştır. Burada performans analizi yapılırken söz konusu binanın temelini performans etkisi olmadığını belirtmek uygun olacaktır. Ancak güçlendirme projesinin hazırlanması durumunda, bina temeli de modellenerek güçlendirilmiş binanın temele olan etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Böylece oluşan kesit tesirlerine göre okul binasının temeli de güçlendirmelidir. Deprensiz durum için tüm binanın yeni malzemeye (E1) ve mevcut malzemenin (E2~E9) sınıflarına göre yapısal çözümlenmesi yapılarak buna göre donatı ataması yapılabilmektedir. Bu makalede mevcut taşıyıcı sistem elemanlarına E2~E4 malzeme bilgileri girilerek yapısal çözümlenmeler yapılmıştır (bkz. Şekil 2 ve Tablo 8).



**Şekil 2.** Misakı Milli ilkokulunun bodrum katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi

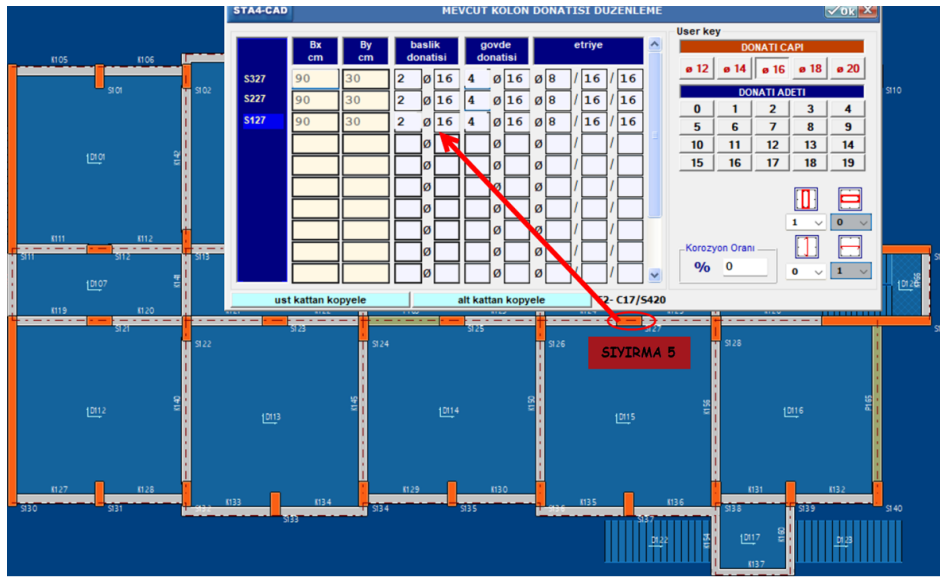
**Figure 2.** E2 material class information entry in the basement of Misakı Milli primary school

**Tablo 8.** Misakı Milli ilkokulunun yapısal çözümlerinde kullanılan malzeme özellikleri**Table 8.** Material properties used in structural analyses of Misakı Milli primary school

Malzeme Özellikleri	Beton Sınıfı	Çelik Sınıfı		
Yeni Güçlendirme Elemanları	E1	C25	B420C	
Bodrum kat	E2	C17	S420	
Mevcut Yapısal Elemanların	Zemin kat	E3	C22	S420
	1. Kat	E4	C19	S420

Burada Misakı Milli ilkokulunun taşıyıcı elemanlarına E2~E9 malzeme sınıfı atamaları yapıldıktan sonra sadece düşey yüklere göre lineer analiz yapılacağından **Yapı Performansı Projesi** kısmının seçili olmaması gerektiğini belirtmek uygun olacaktır.

Depremsiz çözümü yapılan okul binasının donatı aktarımını yapmak için yapı donatı düzenleme sekmesinden **E2~E9 Mevcut Eleman Donatısına, Analiz Sonucundaki Donatıları Kopyala** ile depremsiz yapısal çözümler sonucunda hesaplanan donatılar atanmaktadır. Donatı atamaları donatı gerçekleşme katsayısı %85 alınarak yapılmıştır. Bu katsayı güvenli bölgede kalmak amacıyla kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır. Yerinde donatıları tespit edilerek işaretlenen yapısal elemanların donatı bilgileri hazırlanan raporlar doğrultusunda Sta4-Cad programında atanmıştır (bkz. Şekil 3).

**Şekil 3.** Sıyırma işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi**Figure 3.** Entering structural members of stripping process information

#### 4.1. Kapsamlı bilgi düzeyine göre performans analizlerinin yapılması

##### 4.1. Performing performance analyses according to comprehensive knowledge level

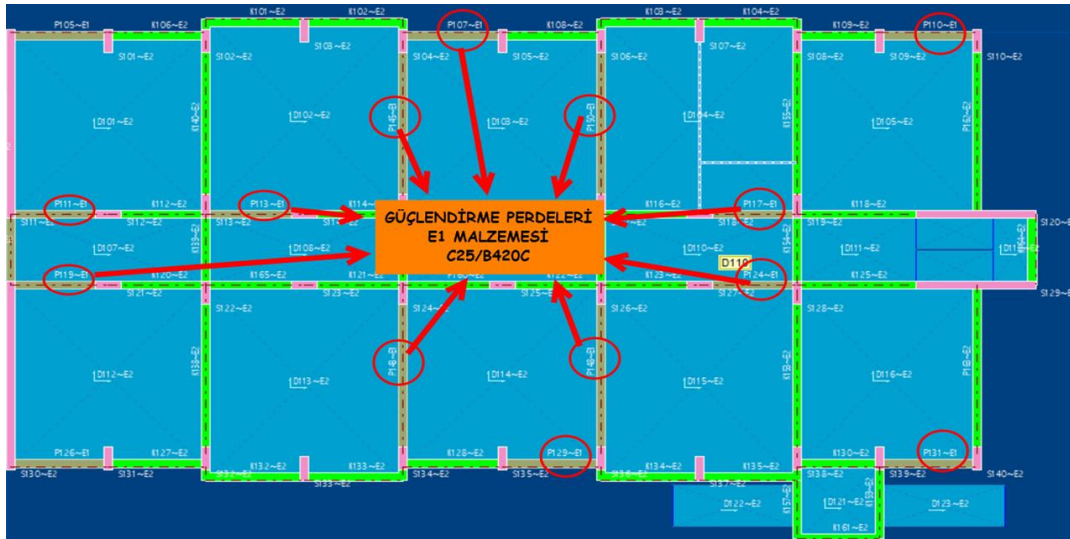
Donatı bilgi girişi yapılan Misakı Milli okul binasının DBYBHY ve TBDY’de verilen kapsamlı bilgi düzeyine göre performans analizleri yapılmıştır. Söz konusu okul binasının DBYBHY’e göre performans analizinin yapılabilmesi için Tablo 3’ün dikkate alınması gerekmektedir. Buna göre Misakı Milli okul binasının DBYBHY’e göre yapılan performans analizlerinden CG ve HK performans seviyelerini sağlamadığı görülmektedir. Misakı Milli okul binasının Tablo 4 ve Tablo 9’da verilen tasarım parametreleri dikkate alınarak TBDY’ye göre gerçekleştirilen performans analizlerinden DD1 deprem düzeyinde hedef performans seviyesinin (KH) sağlanamadığı, buna karşın DD3 deprem düzeyinde ise hedef performans seviyesinin (SH) sağlandığı görülmektedir (bkz. Tablo 10). TBDY’ye göre her iki deprem düzeyinde de performans hedefinin sağlanması gerektiğinden güçlendirme projesinin hazırlanması gerekmektedir.

**Tablo 9.** Misakı Milli ilkokulunun yapısal çözümlerinde kullanılan deprem parametreleri  
**Table 9.** Earthquake parameters used in structural analyses of Misakı Milli primary school

Deprem Parametreleri (İleri performans hedefi koşulları dikkate alınacaktır)				
Bina Önem Katsayısı (I)	Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	$S_{DS}$	Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)
1.5	1	0.85	1a	7

Burada DBYBHY'e göre performans analizleri yapılırken bina önem katsayısının deprem aşılma olasılıklarına göre dikkate alındığını dolayısıyla spektrum ivmelerinin buna bağlı olarak ölçeklendirildiğini ve TBDY'e göre yapılan analizlerde okul binasının bina önem katsayısının I=1 alındığını belirtmek yararlı olacaktır.

Misakı Milli okul binasında güçlendirme yöntemi olarak mevcut taşıyıcı sisteme perde duvarların ilave edilmesi tercih edilmiştir (bkz. Şekil 4). Perde duvarlar ilave edilirken, mimari gereksinimler de göz önüne alınarak, burulma düzensizliğinin oluşmamasına dikkat edilmiştir. Güçlendirilmiş Misakı Milli okul binasının DBYBHY ve TBDY'de belirtilen kapsamlı bilgi düzeylerine göre performans analizleri yapılmıştır. Performans analizlerinden, güçlendirilmiş okul binasının DBYBHY'e göre CG deprem düzeyinde hedef performans seviyesinin sağlanamadığı buna karşın HK deprem düzeyinde hedef performans seviyesinin sağlandığı ve TBDY'ye göre ise hem DD1 deprem düzeyinde hem de DD3 deprem düzeyinde hedef performans seviyelerinin sağlandığı görülmektedir (bkz. Tablo 10). Ayrıca Tablo 10'dan güçlendirilmiş okul binasındaki spektral yerdeğiştirme değerlerinin söz konusu okul binasının mevcut durumuna göre önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan güçlendirilmiş okul binasındaki performans seviyesindeki spektral yerdeğiştirme değerleri müsaade edilen spektral yerdeğiştirme değerlerinden daha küçük olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.** Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi amacıyla ilave edilen perde duvarların yerleri  
**Figure 4.** The locations of the shear walls added to strengthen the Misakı Milli primary school

**Tablo 10.** Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları için kapsamlı bilgi düzeylerine göre elde edilen performans seviyeleri, spektral ivme ve yerdeğiştirme değerleri  
**Table 10.** Performance levels, spectral acceleration and displacement values obtained according to comprehensive knowledge levels for the current and strengthened status of Misakı Milli primary school

Deprem Düzeyleri	Yapı Durumu	Performans Seviyesi Değerleri				Performans Hedefi Değerleri				Performans Seviyesi	Performans Hedefi	
		X doğrultusu		Y doğrultusu		X doğrultusu		Y doğrultusu				
		$S_a$	$S_d$	$S_a$	$S_d$	$S_a$	$S_d$	$S_a$	$S_d$			
CG	Mevcut durum	6.05	8.88	17.15	4.22	14.72	4.42	14.72	1.61	Göçme durumu	Can Güvenliği	X
	Güçlendirilmiş durum	14.54	1.71	15.02	0.84	14.72	1.73	12.45	0.70	Hemen kullanım	Can Güvenliği	X



**Tablo 10.** Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları için kapsamlı bilgi düzeylerine göre elde edilen performans seviyeleri, spektral ivme ve yerdeğiştirme değerleri (Devam)

**Table 10.** Performance levels, spectral acceleration and displacement values obtained according to comprehensive knowledge levels for the current and strengthened status of Misakı Milli primary school (Continuing)

Deprem Düzeyleri	Yapı Durumu	Performans Seviyesi Değerleri				Performans Hedefi Değerleri				Performans Seviyesi	Performans Hedefi	
		X doğrultusu		Y doğrultusu		X doğrultusu		Y doğrultusu				
		S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>			
HK	Mevcut durum	5.59	5.20	13.85	2.83	9.81	2.95	9.81	1.07	Göçme durumu	Hemen Kullanım	X
	Güçlendirilmiş durum	9.79	1.15	10.28	0.58	9.81	1.15	8.30	0.47	Hemen kullanım	Hemen Kullanım	✓
DD1	Mevcut durum	5.40	3.90	11.64	1.93	13.80	3.16	13.80	0.98	Göçme durumu	Kontrollü Hasar	X
	Güçlendirilmiş durum	13.80	1.18	13.80	0.51	11.63	1.17	11.90	0.54	Sınırlı hasar	Kontrollü Hasar	✓
DD3	Mevcut durum	3.19	0.88	3.63	0.27	3.85	0.88	3.85	0.27	Sınırlı hasar	Sınırlı Hasar	✓
	Güçlendirilmiş durum	3.85	0.33	3.85	0.14	4.66	0.41	3.83	0.14	Sınırlı hasar	Sınırlı Hasar	✓

S<sub>a</sub>: Spektral ivme (cm/s<sup>2</sup>)      S<sub>d</sub>: Spektal yerdeğiştirme (cm)

#### 4.2. Sınırlı bilgi düzeyine göre performans analizlerinin yapılması

##### 4.2. Performing performance analyses according to limited knowledge level

Bu başlık altında Misakı Milli ilkokulunun sınırlı bilgi düzeyine göre performans analizleri yapılarak kapsamlı bilgi düzeyinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun, sınırlı bilgi düzeyi dikkate alınarak, DBYBHY ve TBDY'e göre gerçekleştirilen performans analizleri sonuçlarının kapsamlı bilgi düzeyi için elde edilenlerle aynı olduğu görülmektedir. Ancak yapısal sistemde oluşan spektral ivme ve yerdeğiştirme değerlerinde farklılıklar oluşmaktadır (bkz. Tablo 10 ve Tablo 11). Elde edilen bu sonuçlardan her iki yönetmeliğe göre gerekli performans hedefleri sağlanamadığından güçlendirme projesinin hazırlanması gerekmektedir.

Güçlendirilmiş Misakı Milli okul binasının sınırlı bilgi düzeyine göre yapılan performans analizlerinden hem DBYBHY hem de TBDY'de belirtilen performans hedeflerini sağladıkları görülmektedir (bkz. Tablo 11). Ancak söz konusu yönetmeliklere göre performans hedefinin sağlanmasıyla birlikte yapısal elemanlarda gevreklik olup olmadığının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca Tablo 11'den güçlendirilmiş okul binasındaki spektral yerdeğiştirme değerlerinin mevcut durumuna göre önemli ölçüde azaldığı ve performans seviyesindeki spektral yerdeğiştirme değerlerinin müsaade edilen spektral yerdeğiştirme değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir.

**Tablo 11.** Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları için sınırlı bilgi düzeylerine göre elde edilen performans seviyeleri, spektral ivme ve yerdeğiştirme değerleri

**Table 11.** Performance levels, spectral acceleration and displacement values obtained according to limited knowledge levels for the current and strengthened status of Misakı Milli primary school

Deprem Düzeyleri	Yapı Durumu	Performans Seviyesi Değerleri				Performans Hedefi Değerleri				Performans Seviyesi	Performans Hedefi	
		X doğrultusu		Y doğrultusu		X doğrultusu		Y doğrultusu				
		S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>			
CG	Mevcut durum	5.87	8.99	16.92	4.10	14.72	4.42	14.72	1.63	Göçme durumu	Can Güvenliği	X
	Güçlendirilmiş durum	14.61	1.70	12.30	0.69	14.72	1.71	12.45	0.70	Hemen kullanım	Can Güvenliği	X
HK	Mevcut durum	5.74	5.22	14.50	2.80	9.81	2.95	9.81	1.09	Göçme durumu	Hemen Kullanım	X
	Güçlendirilmiş durum	9.79	1.14	8.23	4.60	9.81	1.14	8.30	4.64	Hemen kullanım	Hemen Kullanım	✓
DD1	Mevcut durum	5.44	3.92	12.48	2.05	13.80	3.16	13.80	0.99	Göçme durumu	Kontrollü Hasar	X
	Güçlendirilmiş durum	11.80	1.17	11.20	0.54	13.80	1.17	13.80	0.51	Sınırlı hasar	Kontrollü Hasar	✓
DD3	Mevcut durum	3.01	0.874	3.60	0.275	3.85	0.88	3.85	0.277	Sınırlı hasar	Sınırlı Hasar	✓
	Güçlendirilmiş durum	4.20	0.36	3.82	0.142	3.85	0.33	3.85	0.143	Sınırlı hasar	Sınırlı Hasar	✓

S<sub>a</sub>: Spektral ivme (cm/s<sup>2</sup>)      S<sub>d</sub>: Spektal yerdeğiştirme (cm)

## 5. Bulgular ve değerlendirmeler

### 5. Findings and evaluations

DBYBHY'e göre Misakı Milli okul binasının kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeylerinde güçlendirilmiş durumu için yapılan performans analizlerinden CG ve HK performans düzeylerinin sağladığı görülmektedir. Söz konusu hedef performans seviyesinin elde edilmesinde yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları sırasıyla Tablo 12 ve Tablo 13'te verilmektedir. Bu tablolardan kapsamlı bilgi düzeyine göre yapılan yapısal çözümlemede CG düzeyinde 17 adet ve HK deprem düzeyinde ise 9 adet gevrek yapısal elemanın olduğu görülmektedir. Sınırlı bilgi düzeyine göre yapılan yapısal çözümlerden ise CG deprem düzeyinde 27 adet ve HK deprem düzeyinde 26 adet gevrek yapısal eleman oluşmaktadır. Her iki performans hedefi değerlendirildiğinde tüm yapısal elemanların MN hasar bölgesinde olduğu dolayısıyla okul binasında tüm yapısal elemanların yeterli olduğu görülmüştür.

**Tablo 12.** DBYBHY'e göre CG / HK performans deprem düzeylerinde kiriş hasar ve kolon kesme kuvveti yüzdeleri

**Table 12.** Percentages of beam damage and column shear force at CG / HK performance earthquake levels according to DBYBHY

Kat No	Kiriş hasar yüzdeleri																Kolon kesme kuvveti yüzdeleri																											
	-X				+X				-Y				+Y				-X				+X				-Y				+Y															
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB								
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100																100																											

MN: Minimum Hasar, BH: Belirgin Hasar, İH: İleri Hasar ve GB: Göçme Bölgesi

**Tablo 13.** DBYBHY'e göre CG / HK performans deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri

**Table 13.** Shear force percentages of columns exceeding the MN region in their lower and upper sections at CG / HK performance earthquake levels according to DBYBHY

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100		100		100		100	

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumu kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeyi için TBDY'e göre de analiz edilmiştir. Buna göre yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları Tablo 14 ve Tablo 15'te verilmektedir. Bu tablodan da tüm yapısal elemanların SH bölgesinde olduğu ve hedef performans seviyesini sağladığı görülmektedir. Ancak gevrek elemanların güçlendirilmesi açısından kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeylerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Kapsamlı bilgi düzeyi için DD1 ve DD3 depremlerinde gevrek elemanlar bulunmazken, sınırlı bilgi düzeyinde ise sadece DD1 depreminde 9 adet gevrek yapısal eleman oluşmaktadır.

**Tablo 14.** TBDY'e göre DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde kiriş hasar ve kolon kesme kuvveti yüzdeleri

**Table 14.** Percentages of beam damage and column shear force at DD1 and DD3 earthquake levels according to TBDY

Kat No	Kiriş hasar yüzdeleri																Kolon kesme kuvveti yüzdeleri																											
	-X				+X				-Y				+Y				-X				+X				-Y				+Y															
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB								
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100																100																											

SH: Sınırlı Hasar, BH: Belirgin Hasar, İH: İleri Hasar ve GB: Göçme Bölgesi

**Tablo 15.** TBDY’ e göre DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri

**Table 15.** Shear force percentages of columns exceeding the BH region in their lower and upper sections at DD1 and DD3 performance earthquake levels according to TBDY

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

Kapsamlı bilgi düzeyi için yapılan yapısal analizler sonucunda Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ve perde duvarların taşıma oranları Tablo 16’da ve sınırlı bilgi düzeyi için ise Tablo 17’de verilmektedir. Bu tablolardan hem DBYBHY hem de TBDY’ e göre güçlendirilmiş durum için taban kesme kuvveti ve taban momenti değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca güçlendirilmiş durum için perde duvarların taşıma oranları da x ve y doğrultularında artmaktadır. Diğer taraftan mevcut ve güçlendirilmiş durum için sınırlı bilgi düzeyinden elde edilen perde duvar taşıma oranlarında ve taban kesme kuvvetlerinde kapsamlı bilgi düzeyine göre x doğrultusunda azalma olduğu görülmektedir.

**Tablo 16.** DBYBHY’ e göre kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeylerinde Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için taban kesme kuvveti oranları

**Table 16.** Base shear force ratios for existing and strengthened situations of Misakı Milli primary school at the comprehensive and limited levels of knowledge according to DBYBHY

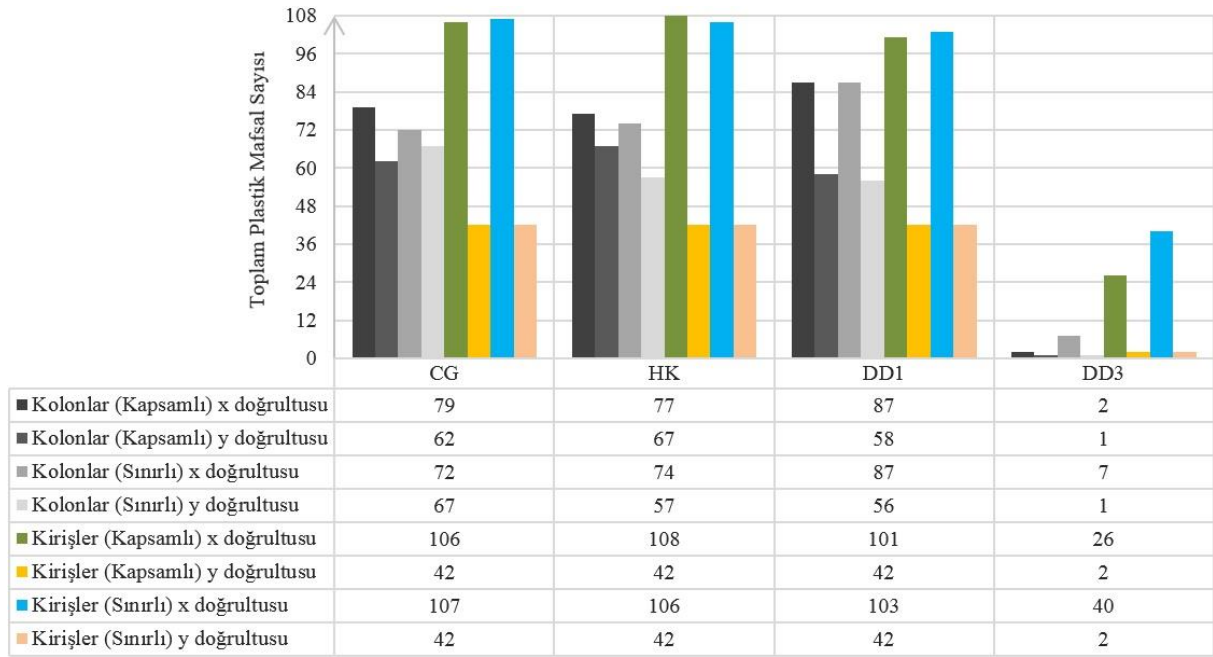
Deprem Düzeyi	Bina Durumu	Kapsamlı Bilgi Düzeyi						Sınırlı Bilgi Düzeyi					
		X Doğrultusu			Y Doğrultusu			X Doğrultusu			Y Doğrultusu		
		Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)
CG	Mevcut durum	694.1	850.2	82	747.7	850.2	88	218.2	849.91	26	753.7	849.9	89
	Güçlendirilmiş	701.2	958.2	73	788	819.4	96	702.1	957.80	73	784.2	818.4	96
HK	Mevcut durum	462.7	566.8	82	498.5	566.8	88	145.5	566.61	26	502.4	566.6	89
	Güçlendirilmiş	467.4	638.8	73	525.4	546.3	96	468.1	638.50	73	522.8	545.6	99

**Tablo 17.** TBDY’ e göre kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeylerinde Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için taban moment oranları

**Table 17.** Base moment ratios for existing and strengthened situations of Misakı Milli primary school at the comprehensive and limited levels of knowledge according to TBDY

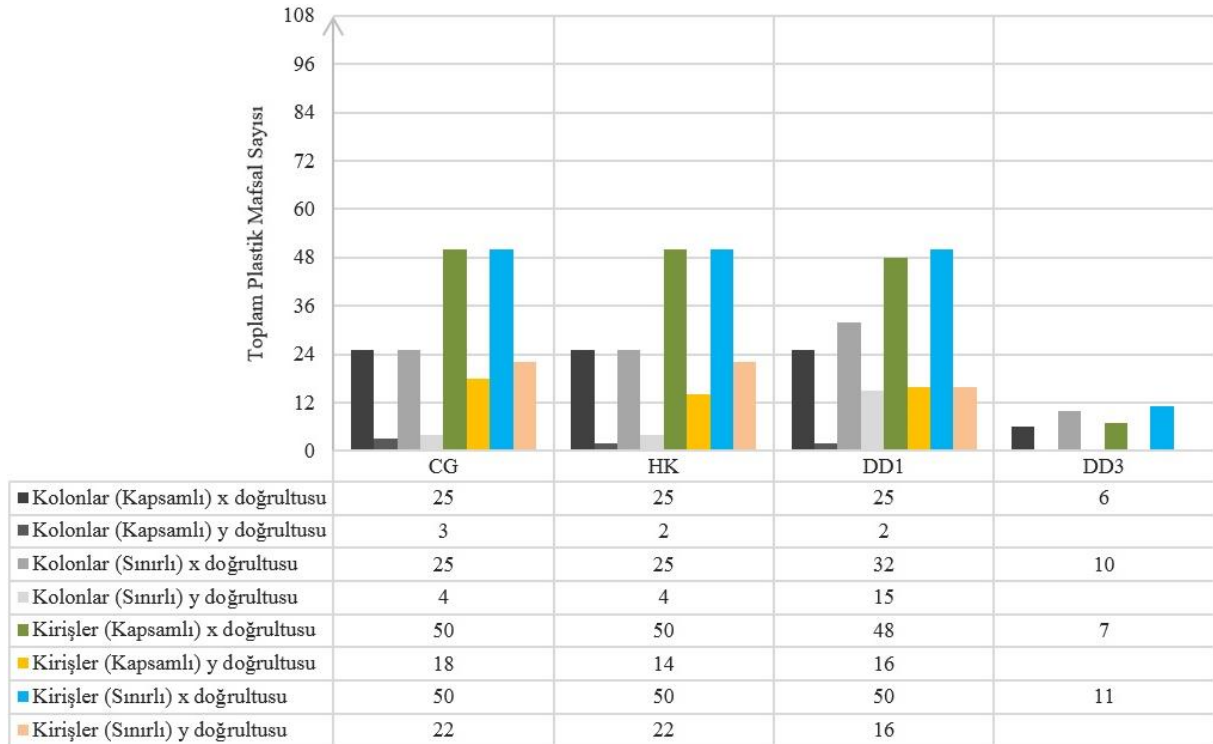
Deprem Düzeyi	Bina Durumu	Kapsamlı Bilgi Düzeyi						Sınırlı Bilgi Düzeyi					
		X Doğrultusu			Y Doğrultusu			X Doğrultusu			Y Doğrultusu		
		Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)	Taban Yığışımli	Perde taşıma	oranları (%)
DD1	Mevcut durum	3552.8	7084.29	50	4921.9	7084.29	69	1107.6	7082.16	16	4938.6	7082.16	70
	Güçlendirilmiş	6077.1	8002.23	76	9563.7	9563.65	100	6040.5	8000.10	75	8000.1	8000.10	100
DD3	Mevcut durum	992.1	1978.24	50	1374.4	1978.24	69	309.3	1977.65	16	1379	1977.65	70
	Güçlendirilmiş	1970.1	2242.79	88	2679.6	2679.62	100	1686.8	2233.98	75	2233.9	2233.90	100

Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumunun kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeyleri için DBYBHY ve TBDY’ e göre gerçekleştirilen performans analizlerinden söz konusu yönetmeliklerde önerilen deprem seviyelerine göre kolonlarda ve kirişlerde oluşan toplam plastik mafsalları sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmektedir. Bu şekillerden söz konusu okul binasının güçlendirilmiş durumunda oluşan plastik mafsalları sayılarının mevcut durumuna göre önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca sınırlı bilgi düzeyi için kolon ve kirişlerde oluşan toplam plastik mafsalları sayısında kapsamlı bilgi düzeyine göre genel olarak artış olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.** Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun x ve y deprem doğrultularında plastikleşen yapısal eleman sayıları

**Figure 5.** Number of structural elements plasticized in x and y earthquake directions of the current situation of Misakı Milli primary school



**Şekil 6.** Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun x ve y deprem doğrultularında plastikleşen yapısal eleman sayıları

**Figure 6.** Number of structural elements plasticized in x and y earthquake directions of the strengthened situation of Misakı Milli primary school

Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının, kapsamlı ve sınırlı bilgi düzeyleri dikkate alınarak, gerçekleştirilen yapısal çözümlenmeleri sonucu oluşan gevrek yapısal elemanlar Tablo 18'de verilmektedir. Bu tablodan sınırlı bilgi düzeyine, DD3 deprem düzeyi hariç diğer deprem düzeyleri, göre yapılan performans analizlerinden daha fazla gevrek yapısal elemanların oluştuğu görülmektedir. Yapısal

elemanlarda ortaya çıkan gevrek elemanlar taşıyıcı sisteme eklenen güçlendirme perde duvarlarında oluşabildiği gibi mevcut yapısal elemanlarda da oluşabilmektedir. Yeni eklenen güçlendirme elemanlarında gevreklik durumu yatay donatı aralıkları sıklaştırılarak ortadan kaldırılabilirken mevcut taşıyıcı elemanlarda ise lokal onarım ya da taşıyıcı sisteme yeni güçlendirme elemanları eklenerek ortadan kaldırılabilir. Bunlar dikkate alındığında sınırlı bilgi düzeyine göre yapılacak olan güçlendirme ve onarım maliyetinin daha fazla olacağı ortaya çıkmaktadır.

**Tablo 18.** Güçlendirilmiş okul binasında bilgi düzeylerine göre gevrek eleman sayıları

*Table 18. The number of brittle elements as to their knowledge levels in the strengthened school building*

Deprem Düzeyleri	Gevrek Eleman Sayıları	
	Kapsamlı Bilgi Düzeyi	Sınırlı Bilgi Düzeyi
CG	17	27
HK	9	26
DD1	-	9
DD3	-	-

Misakı Milli ilkokulunun TBDY'e göre hazırlanan güçlendirme projesinin güçlendirme maliyetinin hesabı OSKA programı yardımıyla yapılmıştır (OSKA, 2022). Söz konusu okul binasının metraj ve yaklaşık maliyet hesabında 2021 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. Misakı Milli ilkokulunun kaba inşaat güçlendirme maliyeti, yapı yaklaşık maliyeti vb. hesaplar Tablo 19'da verilmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının yapım yılına göre bina maliyet oranı (Mutlu, 2015) belirlenerek yapı yaklaşık maliyetinin de bu oran ile çarpılması gerekmektedir (bkz. Tablo 20). Sonuç olarak Misakı Milli ilkokulu güçlendirme maliyeti, yapı yaklaşık maliyeti ile kıyaslandığında güçlendirme maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir.

**Tablo 19.** TBDY'e göre Misakı Milli ilkokulu kaba inşaat güçlendirme maliyeti

*Table 19. Misakı Millil Primary school rough construction strengthened cost according to TBDY*

Misakı Milli İlkokulu Maliyet Hesabı (2021)	Güçlendirme Maliyeti / Yaklaşık Maliyet	Fayda – Maliyet Analizi
Toplam Alan (m <sup>2</sup> )	1793	
Yaklaşık Maliyet (₺)	2438480	
Maliyet Oranı (%)	49	%39
YM*MO (₺)	1194855.2	
Güçlendirme Maliyeti (₺)	969568.74	Güçlendirme Maliyeti daha az hesaplanmıştır.

**Tablo 20.** Misakı Milli ilkokulunun bina yaşı-maliyet oranı ilişkisi

*Table 20. Age-cost ratio relationship of Misakı Milli primary school*

Binanın Yaşı	Maliyet Oranı (%)
50	0
40	16
30	32
25	40
20	48
10	64
5	72
1	78

## 6. Sonuçlar ve öneriler

### 6. Conclusions and recommendations

Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumunun DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerine göre gerçekleştirilen performans analizlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 21'de verilmektedir.

**Tablo 21.** Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için performans analizi sonuçları  
**Table 21.** Performance analysis results for Misakı Milli primary school current and strengthened situations

Analiz Türü	Deprem Düzeyi	Hesap Yöntemi	Hedef Performans	Sonuç Performans			Açıklama	
				Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum	Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum	
İtme analizi	DBYBHY I=1,5	Çok modlu	CG	Göçme durumu	HK	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır (Gevrek elemanlar bulunmaktadır)	
İtme analizi	DBYBHY I=1	Çok modlu	HK	Göçme durumu	HK	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır (Gevrek elemanlar bulunmaktadır)	
İtme analizi	TBDY DD1	Tek modlu	KH	Göçme durumu	SH	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır	
İtme analizi	TBDY DD3	Tek modlu	SH	SH	SH	Hedef performans sağlanmıştır	Hedef performans sağlanmıştır	

Bu tablodan;

- Misakı Milli ilkokulunun mevcut durumu için DBYBHY'e göre CG deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerden hedef performans seviyesinin sağlanamadığı ve HK deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerden de *Göçme Durumu* performans sonucu elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
- Misakı Milli ilkokulunun mevcut durumu için TBDY'e göre DD1 depremine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerden *Göçme Durumu* performans sonucu elde edildiği ve DD3 depremine göre ise SH performans seviyesi elde edildiği dolayısıyla DD3 deprem düzeyi için hedef performansın sağlandığı görülmektedir. Ancak DD1 deprem düzeyinde hedef performans seviyesi sağlanamadığından TBDY'e göre Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi gerekmektedir.
- Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DBYBHY'e göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerden dikkate alınan her iki deprem düzeyi için de hedef performans seviyelerinin sağlandığı ancak CG seviyesinde 17 adet ve HK seviyesinde ise 9 adet gevrek yapısal eleman bulunduğu dolayısıyla bunların güçlendirilerek sünek davranış sağlanması gerektiği görülmektedir.
- Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun TBDY'ye göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerden DD1 ve DD3 deprem düzeyleri için hedef performans seviyelerinin sağlandığı görülmektedir.

Bu tablodan elde edilen sonuçlara ek olarak yapısal sistem davranışı her iki yönetmeliğe göre değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Misakı Milli ilkokuluna x ve y doğrultularında güçlendirme amacıyla perde duvarlar ilave edildiğinden her iki doğrultuda da perde duvarların kesme kuvvetini taşıma oranları büyük bir artış görülmektedir.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun bu çalışmada dikkate alınan deprem düzeyleri için plastik mafsallı oluşan yapısal elemanlarının sayısı mevcut duruma göre azalmaktadır. Bu durum taşıyıcı sisteme etkileyen deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmının güçlendirme amacıyla ilave edilen perde duvarları tarafından karşılanarak mevcut yapısal elemanların daha az zorlanması olarak açıklanabilmektedir.

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirme maliyeti 969568.74 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca Misakı Milli ilkokulunun %49'luk yapı yaklaşık maliyeti 1194855.2 ₺ olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak Misakı Milli ilkokulu için güçlendirme tercihi rasyonel bir seçim olmaktadır.

Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumu için hem DBYBHY hem de TBDY'ye göre hedef performans seviyesi sağlanmakta, ancak DBYBHY'e göre söz konusu okul binasında gevrek yapısal elemanlar bulunmaktadır. Elde edilen bu sonuç Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY'e göre güçlendirme maliyetinin TBDY'ye göre daha fazla olduğu ortaya koymaktadır.

Yapısal çözümlerden DBYBHY'den elde edilen sonuçların TBDY'e göre elde edilenlerden daha ağır olduğu görülmektedir. Bu durum DBYBHY'deki 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %10 olan deprem düzeyleri olduğu buna karşın TBDY'de ise 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %50 olan düzeylerinden olduğu dolayısıyla TBDY'de dikkate alınan deprem düzeylerinden birinin daha az şiddete sahip olması ile açıklanabilir. Ayrıca DBYBHY'de CG depremi için bina önem katsayısı (I) 1.5 alınırken TBDY'de CG



depreminin eşdeğeri olan DD1 depremi için I=1 olarak alınmaktadır. Bu nedenle CG deprem düzeyinde deprem kuvvetleri yapısal sisteme 1.5 kat daha fazla etki etmektedir.

DBYBHY ve TBDY kıyaslandığında; DBYBHY’de farklı deprem bölgeleri bulunurken buna bağlı olan etkin ivme katsayısı ( $A_0$ ) söz konusu bölgede her yerde eşit olarak alınmaktadır. TBDY’de ise deprem bölgeleri yerine yapının bulunduğu yer için zemin sınıflarına bağlı olarak spektral ivme değerleri elde edilmektedir. Bu husus taşıyıcı sisteme etki eden deprem kuvvetlerini etkilemekte dolayısıyla elde edilen sonuçlarda farklılıklar oluşturmaktadır.

Yapısal çözümlenmelerden elde edilen bulgular TBDY’nin DBYBHY’e göre daha kapsamlı, daha ekonomik ve daha gerçekçi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Çünkü TBDY’de malzeme dayanımları (beton ve donatı) gerçeğe daha yakın olarak dikkate alınabilmektedir. Yazarlar betonarme binaların güçlendirilmesinde 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin (TBDY) daha rasyonel olacağını önermektedirler.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Bu makale Prof. Dr. Şenol GÜRSOY’un danışmalığında Mustafa Esat COŞKUN’un “*Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme İlkelerinin 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması*” başlıklı Yüksek Lisans tezinin bir parçasıdır. Araştırmacılarından Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP, Mustafa Esat COŞKUN’un yüksek lisans tez savunmasının jüri üyesidir ve söz konusu tezin gelişmesinde, bu makalenin yazımı ve denetlenmesinde katkıda bulunmuştur.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

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

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Adalier, K., & Aydingun, O. (2001), Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake”, *Engineering Structures*, 23(4), 343-355 [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(00\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00046-8)
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2019a). Çerçeve türü betonarme binaların periyod hesaplarının farklı ampirik bağıntılara göre irdelenmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 569-581. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.476312>
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2019b). Çerçeve + perde türü betonarme binaların periyod hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382. <https://doi.org/10.17482/uumfd.603437>
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2021). 2007 ve 2019 Deprem yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 359-374. <https://doi.org/10.29137/umagd.844186>
- Aksoylu, C., & Kara, N. (2019). Güçlendirme tekniği olarak yeni nesil ön üretimli beton panel uygulamasının araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 346-361. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2019.204>
- Aksoylu, C., & Kara, N. (2020). Strengthening of RC frames by using high strength diagonal precast panels, *Journal of Building Engineering*, 31, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101338>

- Aksoylu, C. & Sezer, R. (2018). Investigation of precast new diagonal concrete panels in strengthened the infilled reinforced concrete frames, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 236-246. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1290-6>
- Aksoylu, C., Mobark, A., Hakan Arslan, M., & Erkan, İ. H. (2020). A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción*, 19(2), 282-305. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.2.282>
- Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey?, *Engineering Failure Analysis*, 14, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2006.01.003>
- Baran, M. (2021). Comparison of seismic performances of reinforced concrete frames strengthened by different techniques, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 18(2), 1-22. <https://doi.org/10.1590/1679-78256340>
- Baran, M., Aktaş, M., & Aykaç, S. (2014). Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 23-33. <https://doi.org/10.17341/gummfd.43725>
- Celep, Z., Erken, A., Taşkın, B., & İlki, A. (2011). Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) earthquakes in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, v 18, 868-889. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.11.001>
- Coşkun, M.E. (2022). *Betonarme okul binalarında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Çağlar, N., Garip, Z.Ş., & Ala, N.T. (2016). Investigation of the contribution of soil conditions to damage and failure of RC structures in Adapazarı, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2), 1-12. <https://doi.org/10.21541/apjes/68853>
- Çavdar, Ö., & Sunca, F. (2014). 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde yıkılmış betonarme üç katlı bir okul binasının statik ve dinamik analizi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GÜFBED)*, 4(1): 36-45. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2014.04.003>
- DBYBHY (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl earthquake in Turkey, *Engineering Structures*, 26, 841-856. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.02.005>
- Garip, Z.Ş., & Eren, E., (2022). Perde duvarlı ve çerçevesiz betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 700-715. <https://doi.org/10.29130/dubited.937668>
- Gürsoy, Ş., (2013). Farklı rijitleştirici elemanlara sahip binaların depreme göre maliyetlerinin karşılaştırılması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 533-544. <https://doi.org/>
- Gürsoy, Ş., (2014). Comparative investigation of the costs and performances of torsional irregularity structures under seismic loading according to TEC, *Computers and Concrete*, 14(4), 405-417. <https://doi.org/10.12989/cac.2014.14.4.405>
- Gürsoy, Ş., & Çavuşoğlu, A. (2021). Examination of the effects on earthquake behavior and rough construction costs of short column situation occurring in reinforced concrete buildings, *Earthquakes and Structures*, 20(3), 309-323. <https://doi.org/10.12989/eas.2021.20.3.309>
- Gürsoy, Ş., Öz, R., & Baş, S., (2015). Investigation of the effect of weak-story on earthquake behavior and rough construction costs of RC buildings, *Computers and Concrete*, 16 (1), 141-161. <https://doi.org/10.12989/cac.2015.16.1.141>
- İnan, T., Korkmaz, K., & Gagatay, I.H. (2014), The effect of architectural form on the earthquake behavior of symmetric RC frame systems, *Computers and Concrete*, 13(2), 271-290. <http://dx.doi.org/10.12989/cac.2014.13.2.271>

- İnan Günaydın, T., (2022), Türk bina deprem yönetmeliği'ne göre yapı düzensizliklerinin analizi, *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 6(21), 204-201. <https://dx.doi.org/10.38063/ejons.605>
- Kalkan, İ., Aykaç, B., Baran, M., Babayani, R., & Aykaç, S. (2013). Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların deprem davranışı, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Çelik Yapılar Sempozyumu*, 13-15 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E., & Cetinkaya, N. (2004), May 1, 2003 Turkey-Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures” *Engineering Failure Analysis*, 11(3), 279-291. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2003.08.00>
- Mutlu, A.H. (2015). Mevcut yapıların güçlendirilmesi ya da yıkılmasına karar verilmesi aşamasında göz önüne alınması gereken kriterler, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14-16 Ekim İzmir.
- OSKA, (2022). Oska bilgisayar sistemleri yazılım, donanım sanayi ve ticaret Ltd. Şti., [www.oska.com.tr](http://www.oska.com.tr)
- Özbayrak, A., & Altun, F. (2020). Torsional effect of relation between mass and stiffness center locations and diaphragm characteristics in RC structures, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(4), 1755-1775. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00744-8>
- Scawthorn, C., & Johnson, G.S. (2000), Preliminary report Kocaeli (Izmit) earthquake of 17 August 1999, *Engineering Structures*, 22(7), 727-745. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(99\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(99)00106-6)
- Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K. J. & Mosalam, K. M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey, *Engineering Structures*, 25, 103-114. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00121-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00121-9)
- Spence, R., Bommer, J., Del Re, D., Bird, J., Aydınoglu, N. & Tabuchi, S. (2003), Comparing loss estimation with observed damage: a study of the 1999 Kocaeli earthquake in Turkey”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1(1), 83-113. <https://doi.org/10.1023/A:1024857427292>
- Sta4-CAD (2021). Structural analysis for computer aided design ”, ver.14.1. [www.sta.com.tr](http://www.sta.com.tr)
- TBDY (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364 Sayılı Resmi Gazete.
- TS-498 (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS-500 2000. *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Yel, N. S., Arslan, M. H., Aksoylu, C., Erkan, İ. H., Arslan, H. D., & Işık, E. (2022). Investigation of the earthquake performance adequacy of low-rise RC structures designed according to the simplified design rules in TBEC-2019, *Buildings*, 12(10), 1722. <https://doi.org/10.3390/buildings12101722>
- Yön, B., Sayın, E., & Köksal, T.S. (2013), Seismic response of buildings during the May 19, 2011 Simav, Turkey earthquake, *Earthquakes and Structures*, 5(3), 343-357. <https://doi.org/10.12989/eas.2013.5.3.343>

## Numerical analysis of the effect of the evaporator inlet-outlet position on the PV-T performance

*Evaporatör giriş-çıkış konumunun PV-T performansı üzerindeki etkisinin sayısal analizi*

Rıdvan YAKUT \*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Kafkas University, Kars 36100, Turkey

• Received: 10.04.2022

• Accepted: 30.11.2022

### Abstract

The increase in global energy consumption and carbon dioxide emissions increase the interest in renewable energy sources. Solar energy is at the forefront of renewable energy sources, and the decrease in cell efficiency due to various reasons during operation is an obstacle to this technology. Increasing the temperature of photovoltaic cells during operation causes a decrease in cell efficiency. Control of photovoltaic cells temperature is crucial in terms of both prolonging the economic life of the cells and increasing the efficiency of the system. The effect of the evaporator inlet and outlet position of the fluid on the heat transfer is known, but this effect was not examined in the studies carried out to increase the efficiency of the PV-T (photovoltaic-thermal) system. In the current study, the system efficiency parameters and COP (coefficient of performance) values of a PV-T evaporator cooled by forced air circulation were investigated by CFD (computational fluid dynamics) analysis. The analyzes were carried out in a single array for three different flow rates (0.0125 kg/s, 0.0250 kg/s, 0.0500 kg/s) and nine different evaporator inlet-outlet positions (CC, CL, CR, RC, RL, RR, LC, LL, LR), constant radiation of 1000 W/m<sup>2</sup>. It was determined that there is a total efficiency difference of over 20% and an overall COP difference of over 25% between the best and worst inlet-outlet positions. The highest total and thermal efficiency were obtained for the RR condition, and the highest electrical efficiency was obtained for the LR condition but in the long-term, the highest efficiency can be achieved with the LC design. In the study also the highest COP values were calculated for the CL condition and the worst COP values for the RR condition.

**Keywords:** CFD, COP, Electrical efficiency, Photovoltaic thermal collectors, Thermal efficiency

### Öz

Küresel enerji tüketimindeki ve karbondioksit emisyonlarındaki artış, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi gelmektedir ve çalışma esnasında çeşitli sebeplerle hücre verimliliğinin düşmesi bu teknolojinin önündeki engeldir. Fotovoltaik hücrelerin çalışma sırasında sıcaklığının artması hücre veriminin düşmesine neden olmaktadır. Fotovoltaik hücre sıcaklığının kontrolü hem hücrelerin ekonomik ömrünü uzatmak hem de sistemin verimini artırmak açısından çok önemlidir. Akışkanın buharlaştırıcıya giriş ve çıkış konumunun ısı transferine etkisi bilinmektedir ancak PV-T (fotovoltaik-termal) sisteminin verimini artırmak için yürütülen çalışmalarda bu etki incelenmemiştir. Bu çalışmada, cebri hava sirkülasyonu ile soğutulan bir PV-T evaporatörün sistem verimlilik parametreleri ve COP (performans katsayısı) değerleri, HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) analizi ile incelenmiştir. Analizler, tek dizide, üç farklı debide (0.0125 kg/s, 0.0250 kg/s, 0.0500 kg/s), dokuz farklı buharlaştırıcıya giriş-çıkış pozisyonu (CC, CL, CR, RC, RL, RR, LC, LL, LR) ve 1000 W/m<sup>2</sup> sabit radyasyon için yürütülmüştür. En iyi ve en kötü giriş-çıkış konumları arasında %20'nin üzerinde bir toplam verimlilik farkı ve %25'in üzerinde bir genel COP farkı olduğu belirlenmiştir. En yüksek toplam ve termal verim RR koşulu için, en yüksek elektriksel verim LR koşulu için elde edilmiştir ancak uzun vadede en yüksek verim LC tasarımı ile elde edilebilmektedir. Çalışmada ayrıca CL koşulu için en yüksek COP değerleri ve RR koşulu için en kötü COP değerleri hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** HAD, COP, Elektriksel verim, Fotovoltaik termal sistem, Termal verim

\* Rıdvan Yakut: r\_yakut@yahoo.com

## 1. Introduction

In the last two centuries, factors such as industrialization, urbanization, and human population growth cause an upsurge in global energy consumption. Nowadays, 80% of the global energy demand is provided by fossil fuels and it is expected to increase by 48% in the next 20 years (Moodley, 2021). As a result of fossil fuels combustion, which is a non-renewable energy source and contains high levels of carbon, harmful and polluting gases such as carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen, sulfur oxide are released and mixed with the atmosphere. The approximately two-fold increase in atmospheric carbon dioxide concentration in the last century caused the world temperature to increase by more than 1 °C (Morice et al., 2012; Ritchie & Roser, 2020). The increase in atmospheric carbon dioxide levels causes an increase in the greenhouse effect and global warming. The biggest source of sector-based global greenhouse gas emissions is energy consumption (Ritchie & Roser, 2020). Due to global warming, the life of all living things in the world is in danger, and many plant and animal species are in danger of extinction. For a cleaner environment and a more livable world, energy sources must be converted to renewable energy sources. Currently, the most used renewable energy sources are solar, wind, geothermal, bio-power, and hydropower. Solar power is the most abundant and the cleanest renewable energy source in use around the world and is becoming increasingly popular for generating electricity.

Solar energy is based on the principle of converting the energy carried by photons from the sun into electrical energy with photovoltaic systems. The essential energy range for photovoltaic cells to generate voltage is 0-1.12 eV (Masters, 2004). Therefore, PV (photovoltaic) systems can convert a limited part of the radiation coming to its surface into electrical energy. The photon above this energy range is stored as heat in the system and causes a decrease in system efficiency and materials lifespan (Kandilli et al., 2013; Omeroğlu, 2018). On the other hand, PV-T systems eliminate these disadvantages in PV systems, remove the heat load above the energy level from the system and enable it to be used as thermal energy. Although PV-T systems are a good method for converting solar energy, their efficiency decreases due to reflection (15%), absorption (5%), and poor insulation (~45%) (Rahman et al., 2018). Many studies were carried out in the literature to eliminate these losses.

Abdullah et al. (2019) reported that researches on channel/collector depth (Delfani et al., 2019) and length (Do Ango et al., 2013), number of collectors (Zadeh et al., 2015), solar tracking system (Rizk & Chaiko, 2008), absorber plate design parameters (tube diameter (Kim & Seo, 2007), tube spacing (Ghamari & Worth, 1992), fin thickness (Pottler et al., 1999)), booster diffuse reflector (Tripanagnostopoulos et al., 2002), collector tilt angle (Handoyo & Ichسانی, 2013), PV module type (Jiang et al., 2011), glass thickness (Bakari et al., 2014), glazing material (Dondapati et al., 2018), anti-reflective coating (Ali et al., 2014), riser-header configuration (Zwalnan et al., 2021), riser location (Ekramian et al., 2014), thermal conductivity of tedlar (Koech et al., 2012), thermal insulation (Kehrer et al., 2003), absorber material (Kennedy, 2002), absorber thickness (Belaidi et al., 2008), fins (Ozakin et al., 2020), multi-inlet (Hassan & Abo-Elfadl, 2018), PV cell material (Dhass et al., 2020), solar radiation (Hamrouni et al., 2008), relative humidity (Ettah et al., 2012), wind speed (Ozakin & Kaya, 2019), ambient temperature (Alshawaf et al., 2020), accumulated dust (Adinoyi & Said, 2013), mass flow rate (Yakut, 2021), thermal resistance (Zondag, 2008), inlet and outlet temperatures (Richert et al., 2015), heat loss coefficient (Sekhar et al., 2009), heat removal factor (Malvi et al., 2017), packing factor (Ji et al., 2006), and effect of fan (Arslan et al., 2020) were carried out in the literature to improve the performance of solar systems (Abdullah et al., 2019). In addition to all these effects, the effects of parameters such as fluid type (Atmaca & Pektemir, 2020), absorber plate (Atmaca & Pektemir, 2019a) and glass cover properties (Atmaca & Akiskalioglu, 2020) on the efficiency of PV-T systems were investigated. Although the effects of many parameters were examined in these studies, the effect of fluid inlet and outlet positions on system performance was not examined. However, the decrease in the operating temperatures of photovoltaic systems increases the cell efficiency and the fluid inlet-outlet positions are effective on heat transfer (Chein & Chen, 2009; Fesharaki et al., 2011). In this study, the effect of the input and output positions of the fluid to the solar collector was investigated numerically.

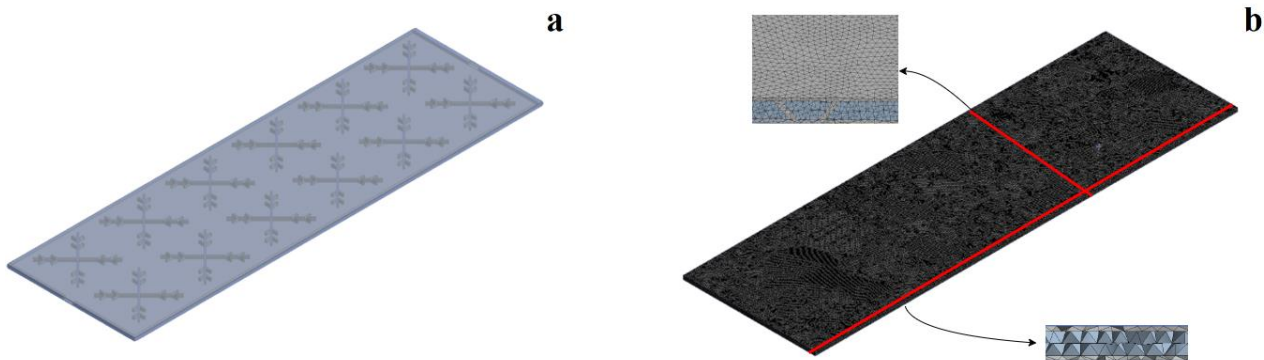
The effect of many parameters examined in studies on solar systems can be determined numerically, but the effect of constantly changing environmental conditions such as relative humidity, solar radiation, ambient temperature, wind speed, and accumulated dust cannot be determined (Abdullah et al., 2019). Moreover, solar system efficiency decreases in long-term because photovoltaic cells are exposed to sunlight for a long time (Chegaar et al., 2004; Cuce & Cuce, 2014; Cuce et al., 2013; Du et al., 2012). Therefore, it is difficult to

determine the system efficiency with high numerical accuracy. These effects should be taken into account when determining the amortization periods of solar systems (Ozakin et al., 2020). Numerical analyzes provide more economical solutions in a short time compared to experimental studies although there are many uncertainties in the numerical determination of the efficiency of solar systems. Another advantage of numerical analysis is that the variables on the system can be adapted much more easily than the experimental process. In addition, analytically difficult or impossible problems are solved easily. For this reason, CFD is crucial to calculate with high accuracy the effects of operating and basic design parameters on solar system performance (Kalkan et al., 2019).

In the literature, most of the numerical studies are 1D or 2D studies with low computational performance, and erroneous predictions are made because PV temperature is neglected in the airflow direction (Kalkan et al., 2019). In the current study, a steady-state 3D numerical model was developed in the ANSYS-FLUENT program, and in-line array heat sinks were used to evaluate the heat transfer properties of a PV-T system. The present study is the first in the literature to examine the effect of fluid inlet - outlet position on PV-T panel performance. Numerical simulations are carried out to determine the effect of operating conditions (mass flow rate), and design parameters of the PV-T system (evaporator inlet-outlet position). Analysis results are presented the total, thermal and electrical efficiency of the PV-T evaporator, thermal and overall coefficient of performance, temperature and velocity contours.

## 2. Computational model

The numerical model simulated and analyzed in ANSYS Fluent program to determine the effect of input-output position on PV-T system performance is shown in Figure 1. Since the PV evaporator ( $1.6 \times 1$  m) geometry is suitable for symmetrical modeling, a semi-symmetrical model was created. The advantage of the symmetric model over the full model is that it allows more grids to be created on the geometry and to be calculated in a shorter time.



**Figure 1.** (a) Solid geometry, (b) Mesh structure of PV evaporator

Air was used as the fluid in the study because of its low corrosive character (Atmaca & Pektemir, 2019b). In the current study, snowflake heat sinks were used to remove the heat from the evaporator. The variables of the heat sinks in the numerical study are given in Figure 2.

PV-T evaporator solid model was generated in nine evaporator inlet – outlet position (CC, RC, LC, CR, RR, LR, CL, RL, LL). The part shown with the dashed line in Figure 3 is the symmetry axis, thus the inlet-outlet from the left part is from the middle of the whole evaporator. The names of the input and output positions are abbreviated as shown in Figure 3.



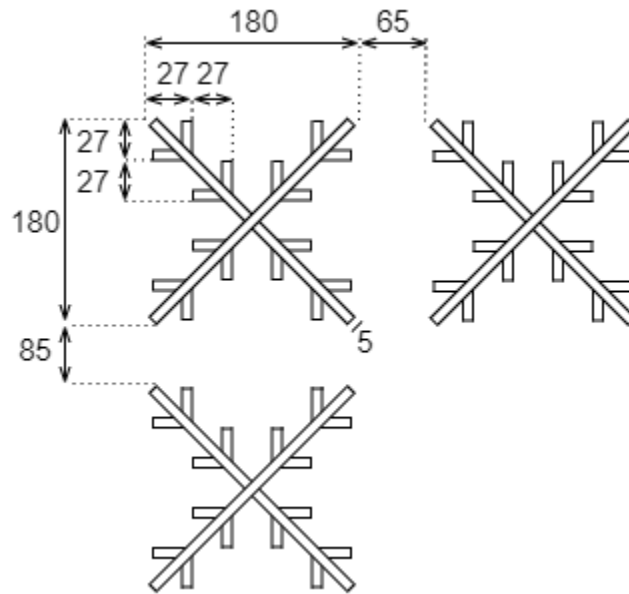


Figure 2. Snowflake heat sink

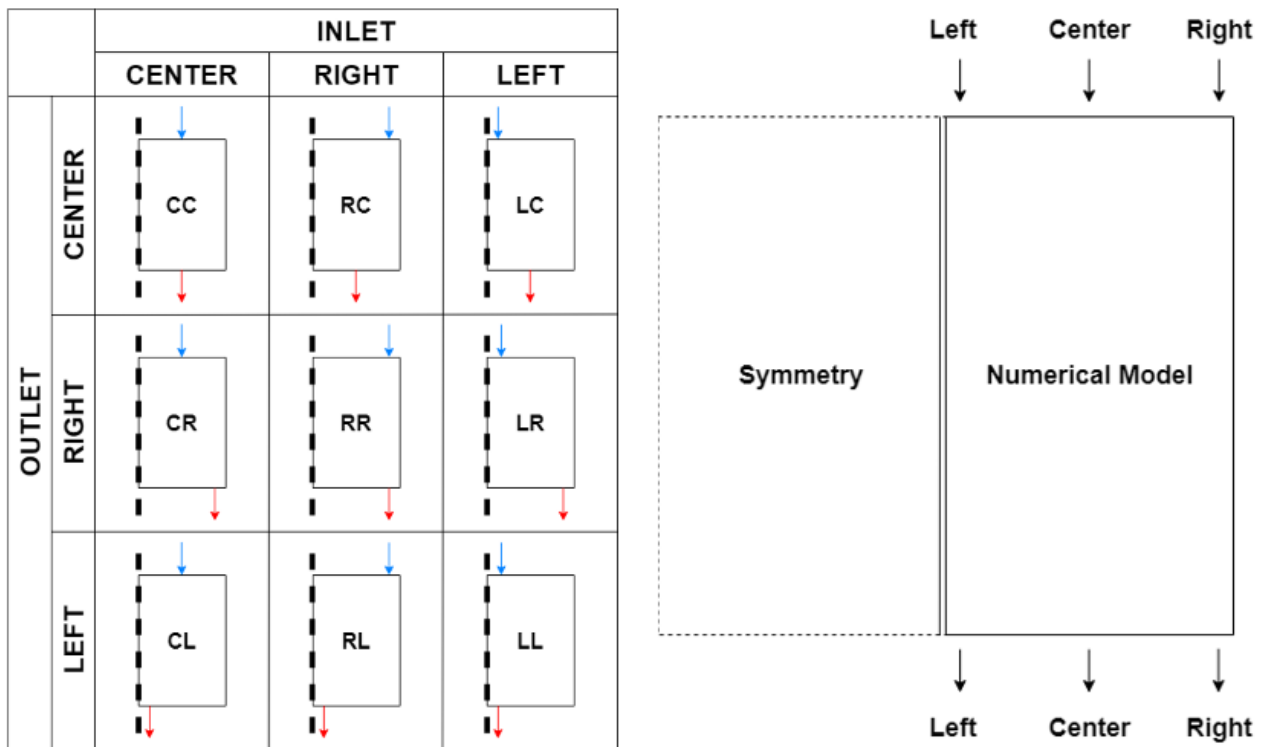


Figure 3. Inlet and outlet positions of the fluid to the PV evaporator

Grid quality is significant for convergence of analyzes. Although there are many grid quality parameters, the most important parameters are skewness, aspect ratio and orthogonal quality. In the numerical analysis, it is not desired for the aspect ratio to exceed 20, for the skewness value to approach 1, and for the orthogonal quality to approach 0 (Ansys, 2009). Grid quality increases with increasing grid number, but not always. In addition, the increase in the number of grids causes an increase in the solution times and a heavy load on the processor. For this reason, it is necessary to perform grid independence analyzes in numerical analysis. In the current study, grid independence analyzes were performed for the model and optimum grid number was determined as 587104. Table 1 shows the mesh qualities and the results obtained in the grid independence studies.

**Table 1.** Grid independence analyzes results

	<b>Mesh I</b>	<b>Mesh II</b>	<b>Mesh III</b>	<b>Mesh IV</b>
Number of Elements	314982	<b>587104</b>	930614	1589264
Aspect Ratio	3.05	<b>2.46</b>	2.23	2.00
Skewness	0.51	<b>0.41</b>	0.37	0.29
Orthogonal Quality	0.48	<b>0.59</b>	0.63	0.71
Mean Velocity in Channel	2.88	<b>3.24</b>	3.24	3.4
Temperature	318	<b>316</b>	317	316

The realizable  $k - \varepsilon$  model exhibits high-performance for strong streamline curvature, rotation, and vortex flows compared to other methods (Fluent, 2013). Therefore,  $k - \varepsilon$  model was used as the turbulence model. Enhanced wall treatment was used as near-wall treatment option. The convergence criterion was set at  $10^{-6}$  for energy equation, and 1000 iterations were applied to converge. The boundary conditions of the numerical model are shown in Table 2.

**Table 2.** Boundary conditions

<b>Model</b>	<b>Symmetry</b>
Fluid	Air
Heat Flux ( $W/m^2$ )	1000
Flow Rate (kg/s)	0.0125-0.0250-0.0500
Outlet	Pressure outlet
Number of Iterations	1000
Number of Grids	~ 600000

### 3. Calculations

#### 3.1. Governing equations

Three-dimensional continuity, energy and momentum equations for steady state turbulent flow in Cartesian coordinates are solved in ANSYS Fluent program. These conservation equations are defined below (Ansys, 2009; Yang & Peng, 2009).

Continuity equation

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum equation

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

Energy equation

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu_l}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

Transport equation for  $k$

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (4)$$

Transport equation for  $\varepsilon$

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

The constants in the equations are turbulent viscosity ( $\mu_t$ ), kinetic energy ( $k$ ), dissipation rate ( $\varepsilon$ ).  $\sigma_k$  and  $\sigma_\varepsilon$  are turbulent Prandtl number for  $k$  and epsilon, respectively. The values of the empirical constants ( $C_\mu$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ) in the equation are  $\sigma_k = 1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$ ,  $C_\mu = 0.09$ ,  $C_1 = 1.44$ ,  $C_2 = 1.92$ .

### 3.2. Efficiency calculations

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.

The total efficiency of a PV-T system ( $\eta_{PV-T}$ ) is equal to the sum of the electrical efficiency ( $\eta_{PV}$ ) and the thermal efficiency ( $\eta_T$ ), and is expressed as follows:

$$\eta_{PV-T} = \eta_{PV} + \eta_T \quad (6)$$

The thermal efficiency of the PV-T system ( $\eta_T$ ) is stated as

$$\eta_T = \frac{\dot{Q}_a}{A_{PV} \times I} \quad (7)$$

$A_{PV}$ , and  $I$  are collector area and radiation, respectively.  $\dot{Q}_a$  is the heat absorbed by the evaporator and is expressed as the difference between the thermal power of the heat transfer fluid at the inlet and outlet of the collector as follows (Alessandro et al., 2021)

$$\dot{Q}_a = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (8)$$

where  $\dot{m}$ ,  $C_p$ ,  $T_o$ , and  $T_i$  respectively represent mass flow rate, specific heat of fluid, outlet and inlet fluid temperatures.

The electrical efficiency of PV cells ( $\eta_{PV}$ ) can be defined by the following expression.

$$\eta_{PV} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{A_{PV} \times I} \quad (9)$$

$V_{max}$  and  $I_{max}$  represent maximum voltage and maximum current, respectively. The present study was carried out numerically and it is not possible to determine the voltage and current values for the PV-T system. Therefore, the following equation developed by Evans (Evans, 1981) was used to determine the electrical efficiency of the PV cells ( $\eta_{PV}$ ).

$$\eta_{PV} = \eta_{ref} [1 - \beta (T_{PV} - T_{ref})] \quad (10)$$

where  $\eta_{ref}$  is the reference efficiency ( $\eta_{ref} = 0.12$ ) under standard conditions. In this study, the standard conditions are  $1000 \text{ W/m}^2$  and  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $\beta$  is the thermal coefficient for cell efficiency and here the value determined for silicon cells ( $\beta = 0.00045/\text{K}$ ) is taken (Joshi et al., 2009; Nahar et al., 2017).  $T_{PV}$  and  $T_{ref}$  respectively represent cell and reference temperature.

### 3.3. COP calculations

The thermal coefficient of performance ( $COP_T$ ) for the PV-T system was calculated from the equation below.

$$COP_T = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_C} \quad (11)$$

$\dot{Q}_A$  and  $\dot{Q}_C$  represent the heat absorbed by the evaporator and power consumption of the PV-T system, respectively. Classic heat pump only generates heat, Therefore COP is calculated by Eq. 11, but photovoltaic heat pump can produce electricity ( $\dot{Q}_{PV}$ ) in addition to heat, therefore the overall coefficient of performance for the PVT system ( $COP_{PVT}$ ) is defined by the following equation (Lu et al., 2019; Song et al., 2021; Zhang et al., 2014; Zhou et al., 2016). In the current study, the  $\dot{Q}_{PV}$  and  $\dot{Q}_C$  values were obtained from the study conducted in literature (Lu et al., 2019).

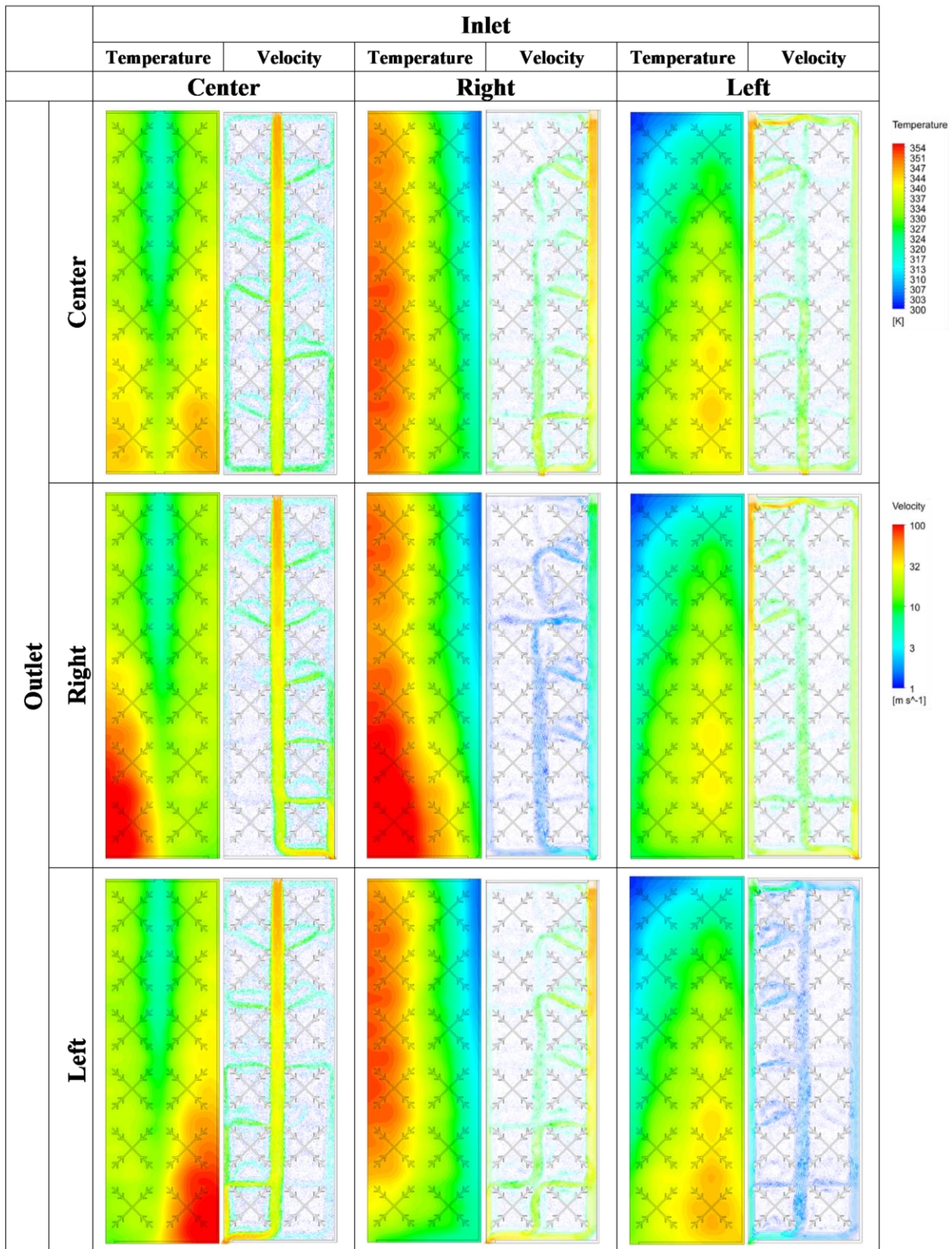
$$COP_{PVT} = \frac{\dot{Q}_A + \dot{Q}_{PV}/0.38}{\dot{Q}_C} \quad (12)$$

## 4. Results

### 4.1. Evaporator inlet – outlet position contours

Figure 4 shows the temperature and velocity contours of nine different evaporator inlet-outlet locations at a flow rate of 0.025 kg/s. Similar velocity and temperature distributions were obtained at other flow rates, thus only the velocity and temperature distributions at 0.025 kg/s flow rate are presented. It is seen in the figure that the most homogeneous velocity distribution is in LL. In this case, the fluid passed through almost every space with equal flow and caused a flow with a homogeneous velocity distribution, without high-speed flow along the channel. The homogeneity of the flow is important both in terms of preventing the formation of high-temperature zones on the panel and in preventing the abrasion of the fins in long-term use. It is seen that the flow of the fluid from the left side ensures a more controlled and homogeneous flow of the fluid. In cases where the fluid enters from the center, it is seen that the flow velocity is very high on the main channel. Although this situation is well reflected in the temperature contours, it will cause wear of the heat sinks and cavitation in long-term use. In the conditions where the fluid enters from the center and the outlet is on the right and left, it is seen that there is almost no flow in the opposite direction of the outlet. For this reason, the surface temperature increased in these regions where there is no flow. In cases where the fluid enters from the right, it is seen that the fluid reaches some areas on the left side of the channel very little and some areas do not reach it at all. This causes the flow rate to be very high on the right side and very low on the left side, and because the fluid does not reach the left side of the panel, it causes the formation of high-temperature contours.

It is seen in the Figure 4 that the most homogeneous temperature distribution is at CC. In CR and CL, the temperature distribution is similar and the mean surface temperature is very close to each other. It is seen that high-temperature regions do not occur with the inlet of the fluid from the left side. In the cases where the fluid enters from the left side, the temperature distributions are very similar, but the minimum mean surface temperature was LR. It is seen that the flow of the fluid from the right side prevents homogeneous temperature distribution. This is because the fluid enters from the right side and cannot reach the left side due to the structure of the fins. The highest temperature region was formed in the RR. In this case, the fluid is confined to the right side only, thus the left side is not sufficiently cooled. According to the temperature contours obtained as a result of the analysis, it can be said that since high-temperature zones are not formed in the CC, LC, LR, LL designs, it can enable the photovoltaic cells to work for a long-term at the optimum operating temperature.



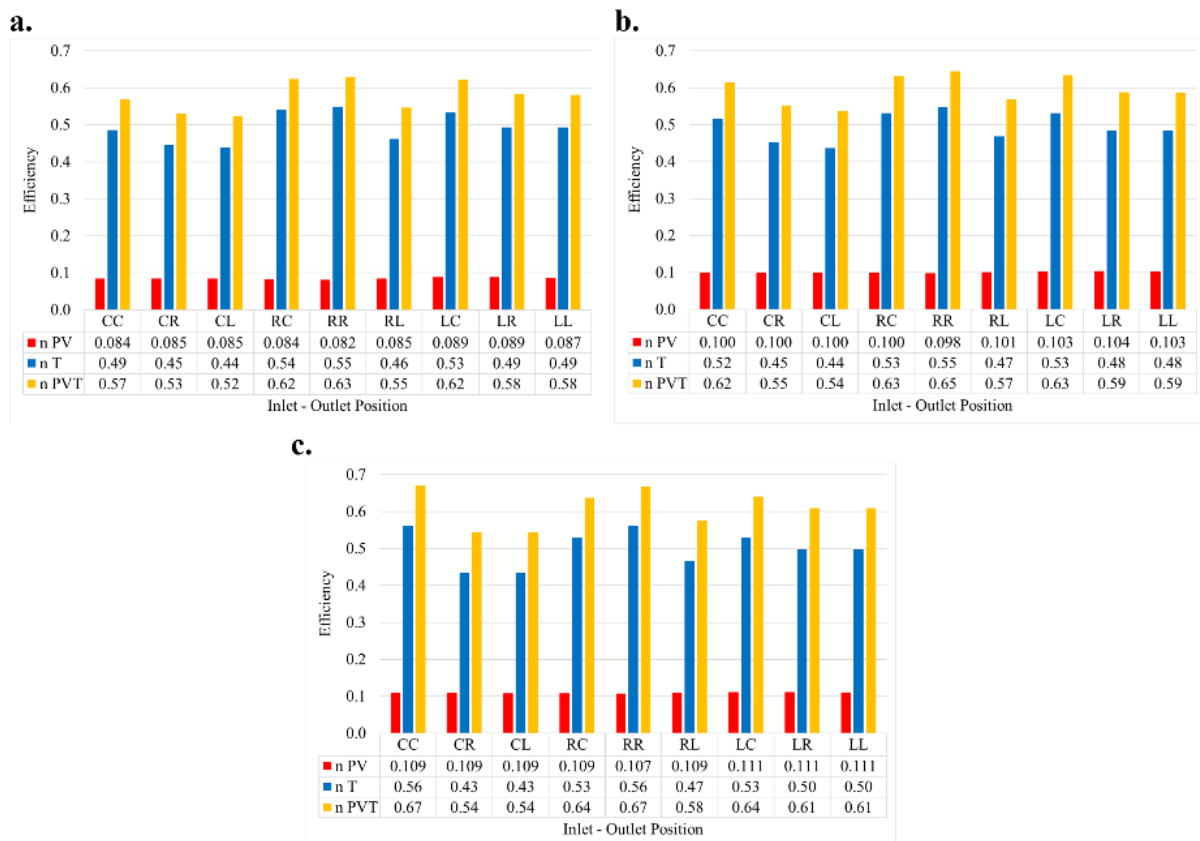
**Figure 4.** Temperature contours and velocity vectors for a flow rate of 0.025 kg/s

#### 4.2. Efficiency results

Figure 5 presents the thermal, electrical and total efficiency of the PV system. The figure clearly shows the effects of the evaporator inlet and outlet position of the fluid on the efficiency. In all three flow rates, the highest total and thermal efficiency were obtained for the RR condition, and the highest electrical efficiency was obtained for the LR condition. Total and thermal efficiency remained almost the same except for the CC



flow condition. The electrical efficiency increased with the increase in flow rate. Between the minimum and maximum flow rate, there was an increase in electrical efficiency of 25-30%. The decrease in mean surface temperature resulted in an increase in electrical efficiency. It has been determined that the effect of the evaporator inlet and outlet position of the fluid on the electrical efficiency is greater at low flow rates, while the effect decreases as the mean surface temperatures close to each other with the increase in flow rate. Since the thermal efficiency is higher in the cases where the fluid enters from the right and the electrical efficiency of the PV cells is limited, it has ensured that the total efficiency is higher than other conditions. However, considering the temperature and velocity contours presented in Figure 4, the flow of the fluid from the right-side causes both the unbalanced flow in the panel and the formation of high-temperature zones. For this reason, although the inflow of the fluid from the right side ensures that the thermal efficiency of the system is high in the short term, it will cause both the evaporator elements to wear faster in the long-term and the efficiency of the PV cells, which are constantly exposed to high temperatures, to decrease much more. Although the efficiency of the CC design increases with the increasing flow rate and provides homogeneous heat distribution, it will cause wear of the evaporator elements in the long-term due to the fact that the fluid reaches very high velocities in some areas in the channel. Therefore, in the long-term, the highest efficiency can be achieved with the LC design.



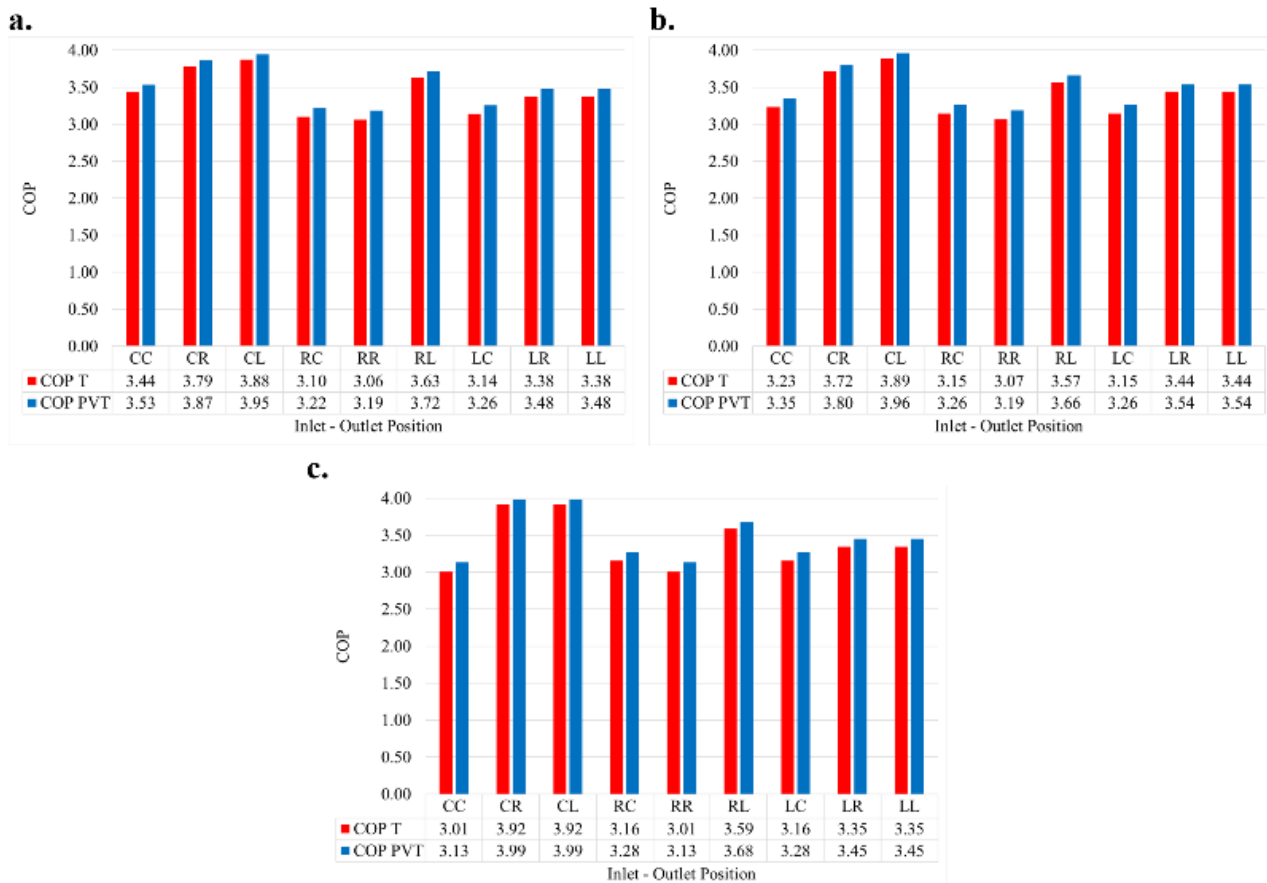
**Figure 5.** The effect of the evaporator inlet and outlet position on thermal, electrical, and total efficiency for a flow rate of (a) 0.0125 kg/s (b) 0.0250 kg/s (c) 0.0500 kg/s

### 4.3. COP results

Figure 6 shows the variation of the thermal and overall coefficient of performance of the system with increasing flow rate and evaporator inlet-outlet position. The results showed that the evaporator inlet and outlet position of the fluid affects the COP values. It was observed that the changes in thermal and overall COP values were similar to each other. It was determined that the difference between the highest and lowest thermal and overall COP values was around 25% in all three flow rates. Similar results were obtained for all three flow rates under all conditions except the CC condition. It has been observed that the COP calculated in the CC design decreases with the increase in flow rate. The highest COP values were calculated for the CL condition and the worst COP values for the RR condition. The results showed that the central entry of the fluid is a good way to achieve high COP values. Although LC was determined as the best design when the efficiencies and temperature–



velocity contours were evaluated, it was observed that the COP values were low. When evaluated together with COP values and temperature–velocity contours, it is seen that the most efficient design is the CL design, although it includes high temperature contours.



**Figure 6.** The effect of the evaporator inlet and outlet position on the COP values for a flow rate of (a) 0.0125 kg/s (b) 0.0250 kg/s (c) 0.0500 kg/s

## 5. Discussion and conclusions

Although the effect of many parameters to increase the efficiency of PV-T systems are examined in the literature, the effect of the evaporator inlet and outlet positions of the fluid in the PV-T evaporator is not examined. Present paper has a significant reference value for related studies. In the present numerical study, the effect of fluid inlet and outlet positions on PV-T system performance was investigated at three flow rates. The following conclusions could be drawn:

- The velocity and temperature contours showed that the evaporator inlet and outlet positions of the fluid have a crucial effect on the flow and temperature characteristics. In the ideal PV-T evaporator; (I) the fluid should pass through all channels, (II) there should be homogeneous velocity distribution, and (III) high-temperature zones should not occur. The fact that the flow is not homogeneous causes both the fluid to flow at a high velocity in a certain region and the temperature to increase in places where there is no flow. High temperature causes the efficiency of the PV cells to decrease in the long term, and the high velocity causes the evaporator elements to wear out over time.
- As a result of the analysis, the lowest surface temperature was reached in the LR condition. Analysis results show that the entrance of the fluid from the left side has a positive effect on the heat transfer, but when it enters from the right side, it affects the heat transfer badly since it cannot reach the left side of the evaporator.
- According to the velocity contours obtained as a result of the analysis, the most homogeneous velocity distribution was obtained in the LL state. It has been observed that when the fluid enters from the left side, flow occurs from almost every channel, and when it enters from the right side, the fluid cannot reach the

left side. When the fluid enters from the center, it has been observed that it reaches very high velocities on the mainline.

- In all three flow rates, the highest total and thermal efficiency were obtained for the RR condition, and the highest electrical efficiency was obtained for the LR condition. However, since the most homogeneous velocity and temperature conditions are provided by the LC condition, both velocity and temperature-related wear can be kept at a minimum in the long run and the highest efficiency can be obtained.
- It was determined that the difference between the highest and lowest thermal and overall COP values was around 25% in all three flow rates. The highest COP values were calculated for the CL condition and the worst COP values for the RR condition. The results showed that the central entry of the fluid is a good way to achieve high COP values.

In future work,

This study, in which the effect of evaporator inlet and outlet position on efficiency and COP is determined numerically, will be carried out experimentally. The effect of inlet and outlet dimensions in the experimental set to be established will also be examined.

### Author contribution

The author provided the literature review of the article, the preparation and analysis of the model, the preparation of all figures and tables, and the evaluation of the results.

### Declaration of ethical code

The author declare that he has no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

### Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M. A. M., & Sachit, F. A. (2019). A Review: Parameters affecting the PVT collector performance on the thermal, electrical, and overall efficiency of PVT system. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 60(2), 191-232. <https://akademiabaru.com/submit/index.php/arfmts/article/view/2643/1707>
- Adinoyi, M. J., & Said, S. A. M. (2013). Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 60, 633-636. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.014>
- Alessandro, M., Niccolao, A., & Fabrizio, L. (2021). Photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump systems for building applications: Integration and design methods. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.07.002>
- Ali, K., Khan, S. A., & Jafri, M. Z. M. (2014). Effect of double layer (SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>) anti-reflective coating on silicon solar cells. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(12), 7865-7874. <http://www.electrochemsci.org/papers/vol9/91207865.pdf>
- Alshawaf, M., Poudineh, R., & Alhajeri, N. S. (2020). Solar PV in Kuwait: The effect of ambient temperature and sandstorms on output variability and uncertainty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110346. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110346>
- Ansys, I. (2009). Ansys fluent 12.0 user's guide. *New Hampshire: Ansys Inc*, 35-47. [https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main\\_pre.htm](https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main_pre.htm)

- Arslan, E., Aktaş, M., & Can, Ö. F. (2020). Experimental and numerical investigation of a novel photovoltaic thermal (PV/T) collector with the energy and exergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123255>
- Atmaca, M., & Akiskalioglu, E. (2020). PV/T sisteminde cam kapak özelliklerinin elektriksel ve termal verime etkilerinin araştırılması. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(2), 52-65. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jonas/issue/57209/766617>
- Atmaca, M., & Pektemir, İ. Z. (2019a). PV panelinin altına serbest olarak yerleştirilen siyah emici plakanın termal kapasitesinin belirlenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(4), 280-285. <https://doi.org/10.7240/jeps.470175>
- Atmaca, M., & Pektemir, İ. Z. (2019b). An investigation on the effect of the total efficiency of water and air used together as a working fluid in the photovoltaic thermal systems. *Processes*, 7(8), 516. <https://doi.org/10.3390/pr7080516>
- Atmaca, M., & Pektemir, İ. Z. (2020). Photovoltaic-thermal system for building application: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1817180>
- Bakari, R., Minja, R. J. A., & Njau, K. N. (2014). Effect of glass thickness on performance of flat plate solar collectors for fruits drying. *Journal of Energy*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/247287>
- Belaidi, A., Dittrich, T., Kieven, D., Tornow, J., Schwarzburg, K., & Lux-Steiner, M. (2008). Influence of the local absorber layer thickness on the performance of ZnO nanorod solar cells. *Physica Status Solidi*, 2(4), 172-174. <https://doi.org/10.1002/pssr.200802092>
- Chegaar, M., Ouennoughi, Z., & Guechi, F. (2004). Extracting dc parameters of solar cells under illumination. *Vacuum*, 75(4), 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2004.05.001>
- Chein, R., & Chen, J. (2009). Numerical study of the inlet/outlet arrangement effect on microchannel heat sink performance. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(8), 1627-1638. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.12.019>
- Cuce, E., & Cuce, P. M. (2014). Improving thermodynamic performance parameters of silicon photovoltaic cells via air cooling. *International Journal of Ambient Energy*, 35(4), 193-199. <https://doi.org/10.1080/01430750.2013.793481>
- Cuce, E., Cuce, P. M., & Bali, T. (2013). An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Applied Energy*, 111, 374-382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.025>
- Delfani, S., Esmaeili, M., & Karami, M. (2019). Application of artificial neural network for performance prediction of a nanofluid-based direct absorption solar collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100559. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100559>
- Dhass, A. D., Kumar, R. S., Lakshmi, P., Natarajan, E., & Arivarasan, A. (2020). An investigation on performance analysis of different PV materials. *Materials Today: Proceedings*, 22, 330-334. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.005>
- Do Ango, A. C. M., Médale, M., & Abid, C. (2013). Optimization of the design of a polymer flat plate solar collector. *Solar Energy*, 87, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.10.006>
- Dondapati, R. S., Agarwal, R., Saini, V., Vyas, G., & Thakur, J. (2018). Effect of glazing materials on the performance of solar flat plate collectors for water heating applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 27680-27689. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.002>
- Du, B., Hu, E., & Kolhe, M. (2012). Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(9), 6732-6736. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.007>
- Ekramian, E., Etemad, S. G., & Haghshenasfard, M. (2014). Numerical analysis of heat transfer performance of flat plate solar collectors. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (JFFHMT)*, 1, 38-42. <https://doi.org/10.11159/jffhmt.2014.006>
- Ettah, E. B., Udoimuk, A. B., Obiefuna, J. N., & Opara, F. E. (2012). The effect of relative humidity on the efficiency of solar panels in Calabar, Nigeria. *Universal Journal of Management and Social Sciences*, 2(3), 8-11.

<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Relative-Humidity-on-the-Efficiency-Ettah-Udoimuk/55e0a5bbaca26d012ad99b0291240935813b47>

- Evans, D. L. (1981). Simplified method for predicting photovoltaic array output. *Solar Energy*, 27(6), 555-560. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(81\)90051-7](https://doi.org/10.1016/0038-092X(81)90051-7)
- Fesharaki, V. J., Dehghani, M., Fesharaki, J. J., & Tavasoli, H. (2011). The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation* 1-6. [https://research.iaun.ac.ir/pd/jfesharakiold/pdfs/PaperC\\_4124.pdf](https://research.iaun.ac.ir/pd/jfesharakiold/pdfs/PaperC_4124.pdf)
- Fluent, A. (2013). Ansys fluent theory guide; Ansys Inc., Release, 15. [https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main\\_pre.htm](https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main_pre.htm)
- Ghamari, D. M., & Worth, R. A. (1992). The effect of tube spacing on the cost-effectiveness of a flat-plate solar collector. *Renewable Energy*, 2(6), 603-606. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(92\)90025-X](https://doi.org/10.1016/0960-1481(92)90025-X)
- Hamrouni, N., Jraidi, M., & Chérif, A. (2008). Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system. *Journal of Renewable Energies*, 11(1), 95-106. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/119583>
- Handoyo, E. A., & Ichsan, D. (2013). The optimal tilt angle of a solar collector. *Energy Procedia*, 32, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.022>
- Hassan, H., & Abo-Elfadl, S. (2018). Experimental study on the performance of double pass and two inlet ports solar air heater (SAH) at different configurations of the absorber plate. *Renewable Energy*, 116, 728-740. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.047>
- Ji, J., Han, J., Chow, T.-t., Yi, H., Lu, J., He, W., & Sun, W. (2006). Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system. *Energy and Buildings*, 38(12), 1380-1387. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.02.010>
- Jiang, H., Lu, L., & Sun, K. (2011). Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. *Atmospheric Environment*, 45(25), 4299-4304. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.084>
- Joshi, A. S., Tiwari, A., Tiwari, G. N., Dincer, I., & Reddy, B. V. (2009). Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T)(glass-to-glass) system. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(1), 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.05.001>
- Kalkan, C., Ezan, M. A., Duquette, J., Yilmaz Balaman, Ş., & Yilanci, A. (2019). Numerical study on photovoltaic/thermal systems with extended surfaces. *International Journal of Energy Research*, 43(10), 5213-5229. <https://doi.org/10.1002/er.4477>
- Kandilli, C., Külahlı, G., & Savcı, G. (2013). *Fotovoltaik termal (PVT) sistem 2D termodinamik modellenmesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (pp. 17-20). [http://www1.mmo.org.tr/etkinlikler/tesisat/etkinlik\\_bildirileri\\_detay.php?etkinlikkod=246&bilkod=1857](http://www1.mmo.org.tr/etkinlikler/tesisat/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=246&bilkod=1857)
- Kehrer, M., Künz, H. M., & Sedlbauer, K. (2003). Ecological insulation materials-does sorption moisture affect their insulation performance? *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 26(3), 207-212. <https://doi.org/10.1177/109719603027869>
- Kennedy, C. E. (2002). *Review of mid-to high-temperature solar selective absorber materials*. <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31267.pdf>
- Kim, Y., & Seo, T. (2007). Thermal performances comparisons of the glass evacuated tube solar collectors with shapes of absorber tube. *Renewable Energy*, 32(5), 772-795. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.016>
- Koehn, R. K., Ondieki, H. O., Tonui, J. K., & Rotich, S. K. (2012). A steady state thermal model for photovoltaic/thermal (PV/T) system under various conditions. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 1(11), 1-5. <http://www.ijstr.org/final-print/dec2012/A-Steady-State-Thermal-Model-For-Photovoltaicthermal-Pvt-System-Under-Variou-Conditions.pdf>

- Lu, S., Liang, R., Zhang, J., & Zhou, C. (2019). Performance improvement of solar photovoltaic/thermal heat pump system in winter by employing vapor injection cycle. *Applied Thermal Engineering*, 155, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.038>
- Malvi, C. S., Gupta, A., Gaur, M. K., Crook, R., & Dixon-Hardy, D. W. (2017). Experimental investigation of heat removal factor in solar flat plate collector for various flow configurations. *International Journal of Green Energy*, 14(4), 442-448. <https://doi.org/10.1080/15435075.2016.1268619>
- Masters, G. M. (2004). Photovoltaic materials and electrical characteristics. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. <https://doi.org/10.1002/0471668826.ch8>
- Moodley, P. (2021). *1 - Sustainable biofuels: opportunities and challenges*. In Sustainable Biofuels (pp. 1-20). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820297-5.00003-7>
- Morice, C. P., Kennedy, J. J., Rayner, N. A., & Jones, P. D. (2012). Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D8). <https://doi.org/10.1029/2011JD017187>
- Nahar, A., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2017). Numerical and experimental investigation on the performance of a photovoltaic thermal collector with parallel plate flow channel under different operating conditions in Malaysia. *Solar Energy*, 144, 517-528. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.041>
- Omeroğlu, G. (2018). Fotovoltaik-Termal (PV/T) sistemin sayısal (CFD) ve deneysel analizi. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167. <https://dergi.firat.edu.tr/index.php/mbd/article/view/505>
- Ozakin, A. N., & Kaya, F. (2019). Effect on the exergy of the PVT system of fins added to an air-cooled channel: A study on temperature and air velocity with Ansys Fluent. *Solar Energy*, 184, 561-569. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.100>
- Ozakin, A. N., Yakut, K., & Khalaji, M. N. (2020). Performance analysis of photovoltaic-heat pump (PV/T) combined systems: A comparative numerical study. *Journal of Solar Energy Engineering*, 142(2). <https://doi.org/10.1115/1.4045313>
- Pottler, K., Sippel, C. M., Beck, A., & Fricke, J. (1999). Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors. *Solar Energy*, 67(1-3), 35-52. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00036-0)
- Rahman, S., Sarker, M. R. I., Mandal, S., & Beg, M. R. A. (2018). Experimental and numerical analysis of a stand-alone PV/T system to improve its efficiency. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 1, 28-33. <https://doi.org/10.4172/2090-4541.1000253>
- Richert, T., Riffelmann, K., & Nava, P. (2015). The influence of solar field inlet and outlet temperature on the cost of electricity in a molten salt parabolic trough power plant. *Energy Procedia*, 69, 1143-1151. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.184>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. *Our World In Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Rizk, J., & Chaiko, Y. (2008). Solar tracking system: More efficient use of solar panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 41(2008), 313-315. <https://www.semanticscholar.org/paper/Solar-Tracking-System%3A-More-Efficient-Use-of-Solar-Rizk-Chaiko/5594b5bbb72021eafd8a96452b6bb551d8208094>
- Sekhar, Y. R., Sharma, K. V., & Rao, M. B. (2009). Evaluation of heat loss coefficients in solar flat plate collectors. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(5), 15-19. <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-Of-Heat-Loss-Coefficients-In-Solar-Flat-Sekhar-Sharma/d2f0a067b0ade05d73ab14164400eb7fba3a9d5f>
- Song, Z., Ji, J., Zhang, Y., Cai, J., & Li, Z. (2021). Experimental and numerical investigation on a photovoltaic heat pump with two condensers: A micro-channel heat pipe/thermoelectric generator condenser and a submerged coil condenser. *Energy*, 122525. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122525>
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T. H., Souliotis, M., & Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 72(3), 217-234. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00096-2)

- Yakut, R. (2021). A numerical study on determining the effect of original evaporator design on DX-SAHP system performance. *European Journal of Science and Technology*(28), 1052-1055. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1012486>
- Yang, Y.-T., & Peng, H.-S. (2009). Numerical study of the heat sink with un-uniform fin width designs. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(15-16), 3473-3480. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.02.042>
- Zadeh, P. M., Sokhansefat, T., Kasaeian, A. B., Kowsary, F., & Akbarzadeh, A. (2015). Hybrid optimization algorithm for thermal analysis in a solar parabolic trough collector based on nanofluid. *Energy*, 82, 857-864. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.096>
- Zhang, X., Zhao, X., Shen, J., Xu, J., & Yu, X. (2014). Dynamic performance of a novel solar photovoltaic/loop-heat-pipe heat pump system. *Applied Energy*, 114, 335-352. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.063>
- Zhou, J., Zhao, X., Ma, X., Qiu, Z., Ji, J., Du, Z., & Yu, M. (2016). Experimental investigation of a solar driven direct-expansion heat pump system employing the novel PV/micro-channels-evaporator modules. *Applied Energy*, 178, 484-495. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.063>
- Zondag, H. A. (2008). Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 891-959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.012>
- Zwalnan, S. J., Caleb, N. N., Mangai, M. M., & Sanda, N. Y. (2021). Comparative analysis of thermal performance of a solar water heating system based on the serpentine and risers-head configurations. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 8(2), 21-30. <https://doi.org/10.30501/jree.2020.251190.1150>



## Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin jeolojisi ve mineral kimyası özellikleri

*Geology and mineral chemistry features of Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Fe-Cu skarn mineralization*

Enver AKARYALI\*<sup>1</sup> , Adem SİVRİKAYA<sup>1</sup> , Mehmet Ali GÜCER<sup>1</sup> 

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

• Geliş tarihi / Received: 26.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 09.11.2022

### Öz

Bu çalışmada, Doğu Pontidler' in Kuzey Zonunda Trabzon ili sınırlarında Köprüyanı mevkiindeki Fe-Cu skarn cevherleşmesinin; jeolojisi, petrografisi, cevher mikroskopisi özellikleri ve mineral kimyası içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Köprüyanı cevherleşme sahasında, aktinolit, tremolit, pirit, kalkopirit, manyetit ve malakit mineralleri ile kırık çatlak zonları boyunca gelişmiş limonitleşme, hematitleşme kloritleşme ve epidotlaşma türü alterasyonlar gözlenmektedir. Manyetit minerallerinin genellikle kalkopirit, pirit ve granat ile birlikte bulunduğu, TiO<sub>2</sub> içeriklerinin çok düşük (%0,02-1.02) olduğu buna karşılık FeO<sup>I</sup> içeriklerinin ise %83,13-92,00 arasında değiştiği belirlenmiştir. Manyetit ile beraber bulunan ve ekzoskarn zonunda yer alan kalkopirit minerallerinin Cu içeriğinin %33,50-43,27 ve Fe içeriği %29,84-39,11 arasında değiştiği belirlenmiştir. Epidot minerallerinin Al içeriklerinin yüksek (2.06-2.46), Mn içeriklerinin düşük (0.01-0.03) ve Fe<sup>+3</sup> içeriklerinin ise nispeten yüksek (0.59-0.96) olduğu belirlenmiştir. Al bakımından zengin olan epidotların türünün ise klinozoisit olduğu tespit edilmiştir. Granat türleri ağırlıklı olarak andradit ve grossular-andradittir. Cevher mikroskopisi ve mineral kimyası çalışmaları kapsamında derlenen verilere bağlı olarak, Köprüyanı cevherleşmesinin Fe-Cu skarn tipinde olduğu ve bölgede var olan skarn cevherleşmelerinin parajenez, süksesyon ve mineral kimyası verileri ile benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Epidot, Granat, Köprüyanı, Mineral kimyası, Skarn

### Abstract

In this study, it is aimed to determine the geology, petrography, ore microscopy properties and mineral chemistry content of Fe-Cu skarn mineralization in Köprüyanı locality within the borders of Trabzon province in the Northern Zone of the Eastern Pontides. Actinolite, tremolite, pyrite, chalcopyrite, magnetite and malachite minerals; and limonitization, hematitization, chloritization and epidotization type alterations developed along the fractured crack zones are observed in the Köprüyanı mineralization area. Magnetite minerals are generally found together with chalcopyrite, pyrite and garnet, TiO<sub>2</sub> contents are very low (0.02-1.02%), whereas FeO<sup>I</sup> contents vary between 83.13-92.00%. It has been determined that the Cu content of the chalcopyrite minerals found together with magnetite and located in the exoskarn zone varies between 33.50-43.27% and the Fe content varies between 29.84-39.11%. It was determined that Al contents of epidote minerals were high (2.06-2.46), Mn contents were low (0.01-0.03) and Fe<sup>+3</sup> contents were relatively high (0.59-0.96). It has been determined that the type of epidotes rich in Al is clinzoisite. Garnet species are predominantly andradite and grossular-andradite. Based on the data compiled within the scope of ore microscopy and mineral chemistry studies, it was concluded that Köprüyanı mineralization is of Fe-Cu type and shows similar features in paragenesis, succession and mineral chemistry data when compared to that of the existing skarn mineralizations in the region.

**Keywords:** Epidote, Garnet, Köprüyanı, Mineral chemistry, Skarn

\*Enver AKARYALI; eakaryali@gmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Alpin Orojenezi etkisi ile oluşmuş Doğu Pontid Metalojenik Kuşağı cevherleşme açısından zengin bir alan konumunda olup birçok farklı tür cevherleşmeye ev sahipliği yapmaktadır. Çalışma alanının içinde yer aldığı Doğu Pontidlerin Kuzey zonu da Au ve Ag gibi değerli metallerin yanı sıra Cu, Pb ve Zn gibi metaller açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Kuzey zonda gözlenen cevherleşmelere yönelik önemli çalışmalar; masif sülfür (Eyüboğlu vd., 2014; Abdioglu vd., 2015; Tüysüz, 2000), porfiri bakır (Yalçınalp, 1992), skarn (Sipahi, 1996, 2011; Saraç & Van, 2005; Sipahi vd., 2017, 2020, 2022) ve epitermal damar tipi (Akaryalı, 2010, 2016; Akaryalı & Tüysüz 2013a,b; Akbulut vd., 2015; Akaryalı & Akbulut, 2016) cevherleşmelerine yönelik yapılmıştır.

Doğu Pontidler’de gerek jeolojik ve jeokimyasal gerekse jeofiziksel veriler kullanılarak yapılmış birçok çalışma ile bölgedeki benzer cevherleşmeler ortaya çıkarılmıştır. Bölgedeki benzer cevherleşmeler çoğunlukla granitik sokulumlarla ilişkili olup Güzelyayla (Maçka- Trabzon) porfiri Cu-Mo oluşumları buna örnek gösterilebilir. Pontid Alt Bazik Karmaşığı ve kuvarslı mikrodioritlerde (Zigana Granitoyidi) gelişen maden yatağı storkwork ve saçınım şeklinde yerleşmiş olup mezotermal karakterde ve 280-460°C koşullarda meydana gelmiştir (Yalçınalp, 1992). Potasik, fillik ve propilitik ayrışma zonlarının izlenebildiği maden yatağında arjilik kuşağın gelişmediği de öne sürülmüştür (Yalçınalp, 1992). Doğu Karadeniz bölgesi Giresun ve Ordu illerinde yer alan skarn cevherleşmelerinin oluşumu ve kökenine yönelik Saraç ve Van (2005) tarafından yapılan araştırmalar sonucu, Çambaşı (Ordu) yöresindeki skarn cevherleşmesindeki granatların grossular-andradit, Dereli (Giresun) yöresindeki granatların ise andradit ve andradit-grossular bileşiminde olduğunu belirlemiştir. Gümüşhane ili Arnastal mevkiinde yer alan skarn yatağına ait parajenezinin piroksen, granat, epidot minerallerinden oluştuğu tespit eden Sipahi (2011), aynı zamanda cevherleşmesinin Fe-Skarn tipinde olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle bölgede gözlenen masif sülfür oluşumlarının Kuruko tip masif sülfür cevherleşmelerinden farklı özellikte olduğundan bölgedeki bu tür cevherleşmeler için bazı araştırmacılar tarafından Doğu Karadeniz Tip Masif Sülfür Yatağı (örneğin Eyüboğlu vd., 2014) kullanımı tercih edilmiştir. Pb-Zn Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) cevherleşmesinin adakitik olmayan granitik kayaların etkili olduğunu, sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop analiz sonuçlarından yararlanarak ortaya koyan Akaryalı & Akbulut (2016)’nın yanı sıra, bölgedeki bir başka Pb-Zn (Altınpınar-Torul) cevherleşmesinin de benzer analiz yöntemleri ile cevherleşmenin granitik kayalarla ilişkili epitermal damar tip olduğunu Akaryalı, (2016) belirlemiştir. Sipahi vd. (2017, 2020 ve 2022), Eğrikar Fe-Cu (Torul-Gümüşhane), Karadağ Fe-Cu (Torul, Gümüşhane) ve Kopuz Fe (Torul, Gümüşhane) skarn cevherleşmelerinde gerçekleştirdiği duraylı izotop çalışmaları sonucunda bölgedeki skarn cevherleşmelerindeki demir oluşumunu kontrol eden mekanizmaları tespit etmiştir. Bölgede bir başka skarn cevherleşmesi üzerinde yapılan çalışmada, cevherleşmenin Fe-Skarn tipinde olduğu, silikat minerallerinde gerçekleştirilen mineral kimyası çalışmaları sonuçlarından yararlanarak belirlenmiştir (Akaryalı & Kurt, 2021).

Madencilik açısından önemli bir potansiyele sahip Trabzon ilinde gözlenen cevherleşmeler de genel olarak bölgede hâkim olan kuzeybatı-güneydoğu ve doğu-batı kırık sistemleri ile ilişkilidir. Köprüyanı cevherleşmesi söz konusu kırık sistemine bağlı olarak hidrotermal çözeltilerin yan kayalarla etkileşimi sonucu andezit ve kireçtaşı dokanaklarında ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında, Köprüyanı cevherleşme alanlarında alterasyon, cevher mikroskopisi ve mineral kimyası çalışmaları sonucu elde edilecek bulgulardan yararlanarak cevherleşmenin oluşum tipinin tespit edilmesi ve bölgede yer alan diğer skarn cevherleşmeleri ile olan ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Doğu Pontidler’in Kuzey Zonu’nda Trabzon ili sınırlarında Köprüyanı mevkiindeki Fe-Cu skarn cevherleşmesinin; jeolojisi, petrografisi, cevherin içinde geliştiği kayaların jeokimyası ve cevher mikroskopisi özellikleri ile mineral kimyası özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışma kapsamında cevher örneklerinden mineral kimyası analizleri yapılmış ve elde edilen bulgular Doğu Pontid Orojenik Kuşağı’nda yapılan diğer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları oluşturmaktadır. Köprüyanı cevherleşmesinin de içinde bulunduğu yaklaşık 15 km<sup>2</sup>’lik bir alan içinde yaygın olan birimlerin tanımlanması, stratigraflerinin ortaya konması ve yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik arazi çalışması yapılmıştır. Bu doğrultuda, Köprüyanı ve çevresinde yaygın olan

birimlerde yapılan gözlemler neticesinde mevcut yapısal unsurlardan ölçümler alınmış, formasyon sınırları haritaya işlenmiş ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma sahasından toplanan kayaçların, petrografik ve mineralojik tayinlerine yönelik ince kesitler Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında Petrothin cihazı kullanılarak, cevherli örnekler ise Gümüştaş Madencilik A.Ş.'nin laboratuvarında hazırlanmıştır. Cevherleşme sahasından alınan 3 adet örnek üzerinde, epidot, granat, manyetit, pirit ve kalkopirit minerallerine ait mikroprob analizleri, 20 kV ve 30 nA şartlarında çalışan CAMECA SX-100 model analiz aleti ile Amerika'da bulunan New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources New Mexico Institute of Mining & Technology laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

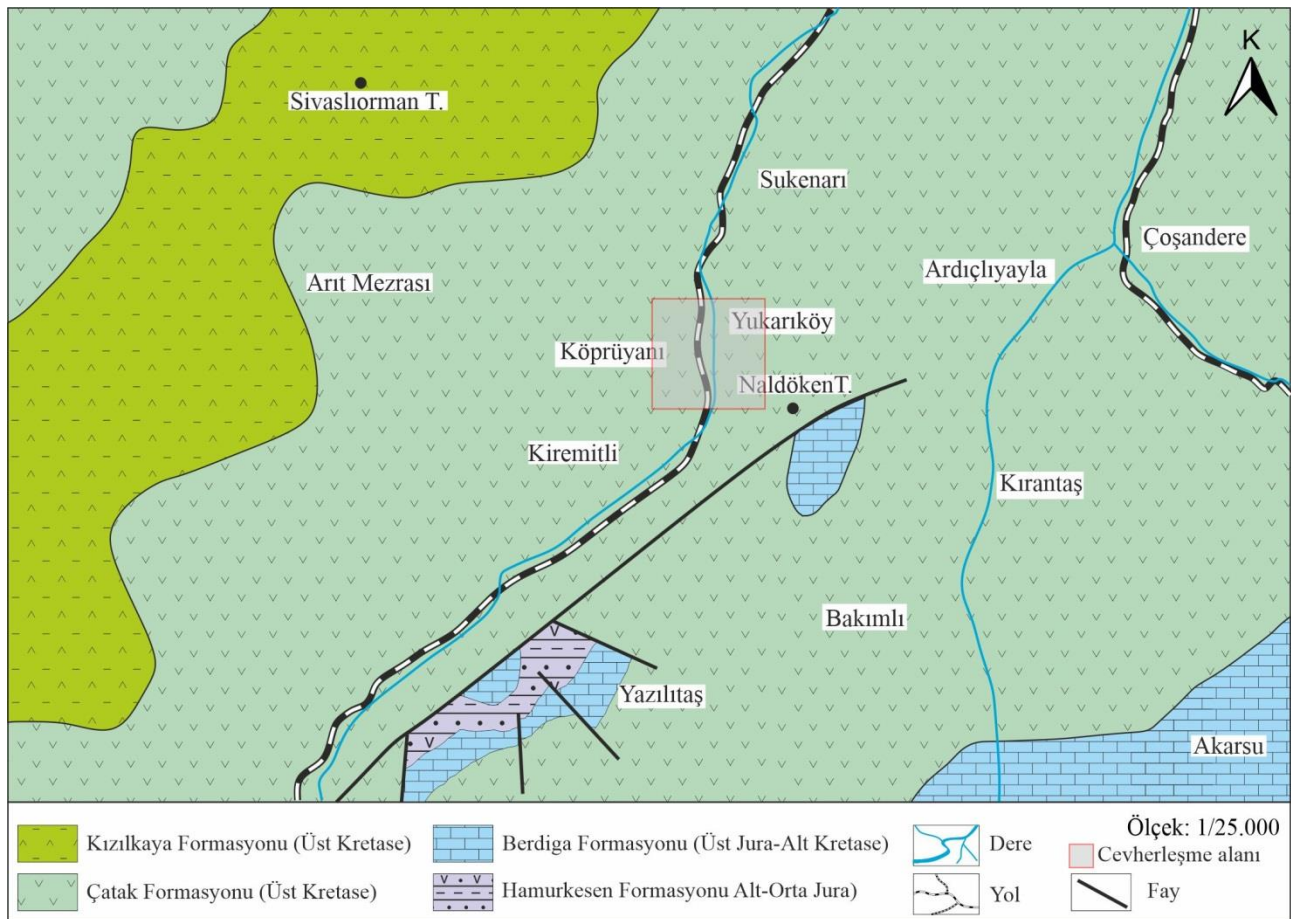
### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

#### 3.1. Stratigrafi ve petrografi

##### 3.1. Stratigraphy and petrography

Çalışma konusunu oluşturan cevherleşme, Güven (1993) tarafından adlandırılan Çatak Formasyonu içinde gelişmiştir. Bu birim inceleme alanında Kiremitli, Köprüyanı, Sukenarı mahalleleri ve civarında yüzeyleme verir. Formasyonun tabanı inceleme alanında görülmekte olup, Kızılkaya Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir. Çatak Formasyonu, inceleme alanında genelde andezitlerden, az oranda da tuf ve breşlerden oluşmakta ve killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, gri kireçtaşı ve tüffit ara seviyeleri içermektedir. Tuf ve breşler, andezitlere oranla daha fazla ayrılmış olarak görülürler (Şekil 1).



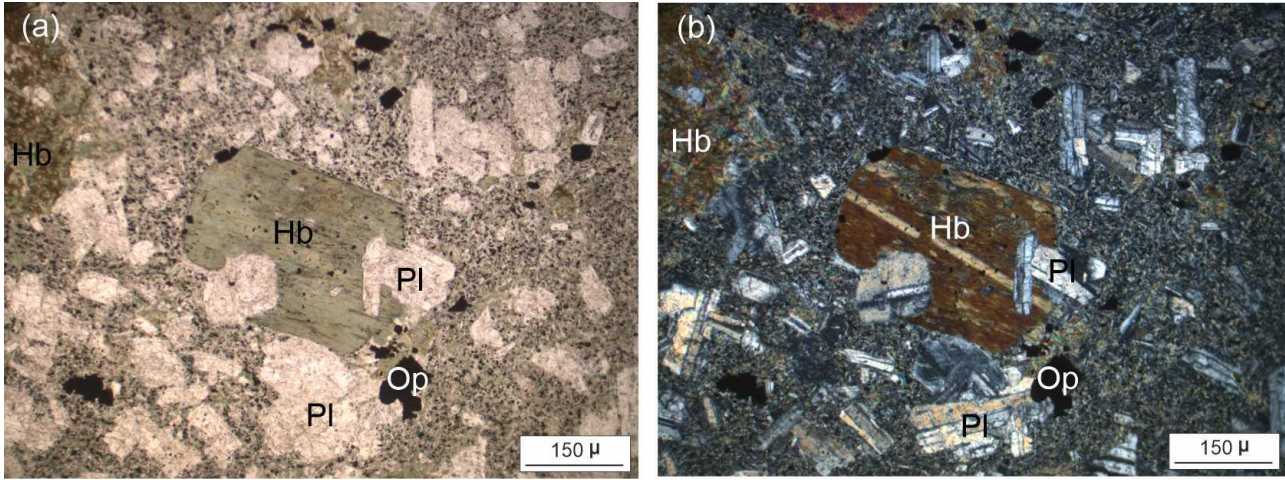
Şekil 1. Köprüyanı çevresinin genel jeoloji haritası

Figure 1. General geological map of Köprüyanı area

Çatak formasyonunda gözlenen andezitik kayaçların genellikle grimsi yeşil ve koyu yeşil renge sahip olduğu, makro görünümünde hornblend ve plajiyoklasların gözlemlendiği tespit edilmiştir. Yapılan mikroskobik incelemelerde, andezitlerin porfirik ve mikrolitik porfirik doku gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2).



Plajiyoklaslar, iri kristaller ve hamur içinde mikro kristaller halinde izlenmekte olup, sönme açısı kullanılarak yapılan tür tayini çalışmalarına göre türlerini andezin ( $An_{35-43}$ ) olarak tespit edilmiştir. Öz ve yarı öz şekilli kristaller halinde izlenen hornblend mineralleri plajiyoklas ve opak mineral inklizyonları içermektedir. Biyotit küçük prizmatik kristaller halinde, piroksen ise küçük taneler halinde ve az oranda görülmektedir. Piroksenler 40-42 derece arasında değişen sönme açısına sahip olup, kalsit ve epidota dönüşmüştür. Opak mineral, ince kesitte çoğunlukla düzensiz şekilde izlenir. Andezitte ayrışma ürünü olarak ise genellikle klorit ve-serisit mineralleri bulunurlar.



**Şekil 2.** Andezitlerdeki porfirik doku a) Paralel nikol ve b) Çapraz nikol (Pl: Plajiyoklas, Hb: Hornblend, Op: Opak mineral)

**Figure 2.** Prophyritic texture in andezites a) Parallel nicol and b) Cross nicol (Pl: Plagioclase, Hb: Hornblende, Op: Opaque mineral)

Piroklastik kayalar genellikle tüf, az oranda da volkanik breşlerden oluşur. Tüflerde plajiyoklas ve hornblend mineralleri tanınabilmektedir. Breşi oluşturan çakıllar köşeli olup, boyutları 2 cm'den 20 cm'ye kadar değişen andezitik bileşimde kayaç parçalarından oluşur. Değişik seviyelerde ince tabakalı killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, gri kireçtaşı ve tüffit ara seviyeleri, andezitlerle ara katkılı olarak bulunur. Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda [Gedikoğlu \(1978\)](#), [Taslı \(1984\)](#), [Türk-Japon Ekibi \(1985\)](#), [Bulut \(1989\)](#) ve [Yalçınalp \(1992\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda formasyonun yaşı Üst Kretase olarak belirtilmiştir. [Güven \(1993\)](#), bu birim içindeki kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşlarından saptadığı fosil türlerine bağlı olarak birimin yaşını Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen olarak tespit etmiştir.

### 3.2. Cevherleşme

#### 3.2. Mineralizations

##### 3.2.1. Köprüyanı skarn cevherleşmesi

###### 3.2.1. Köprüyanı skarn mineralizations

Çatak Formasyonun volkano-tortul seviyelerinin yer aldığı galerinin üst korlarında, kırık çatlak zonları boyunca limonitleşme ve malakit-azurit sıvamaları (Şekil 3a), kireçtaşlarının andezitlerle kontak yaptığı zonlarda kalsit yer yer silisleşme+kalsit (Şekil 3b,c), taze andezitlerde kloritleşme (Şekil 3d), cevherleşme sahasında gözlenen alterasyon ve gang minerallerini oluşturmaktadır. Köprüyanı cevherleşme sahasında, bölgede gözlenen kırık sistemlerine paralellik gösteren K35-50 doğrultu girişli galeri bulunmaktadır. Cevherleşmenin gözlendiği K30-50 doğrultulu ana kırık sistemini kesen yer yer paralellik gösteren küçük ölçekli (mikro) kırıklar da gözlenmektedir. Ayrıca galeriden alınan makro örneklerde, aktinolit, tremolit (Şekil 3e), pirit, kalkopirit ve granat ile epidotlaşma gözlenmiştir (Şekil 3f).

### 3.3. Cevher mikroskobisi ve mineral kimyası

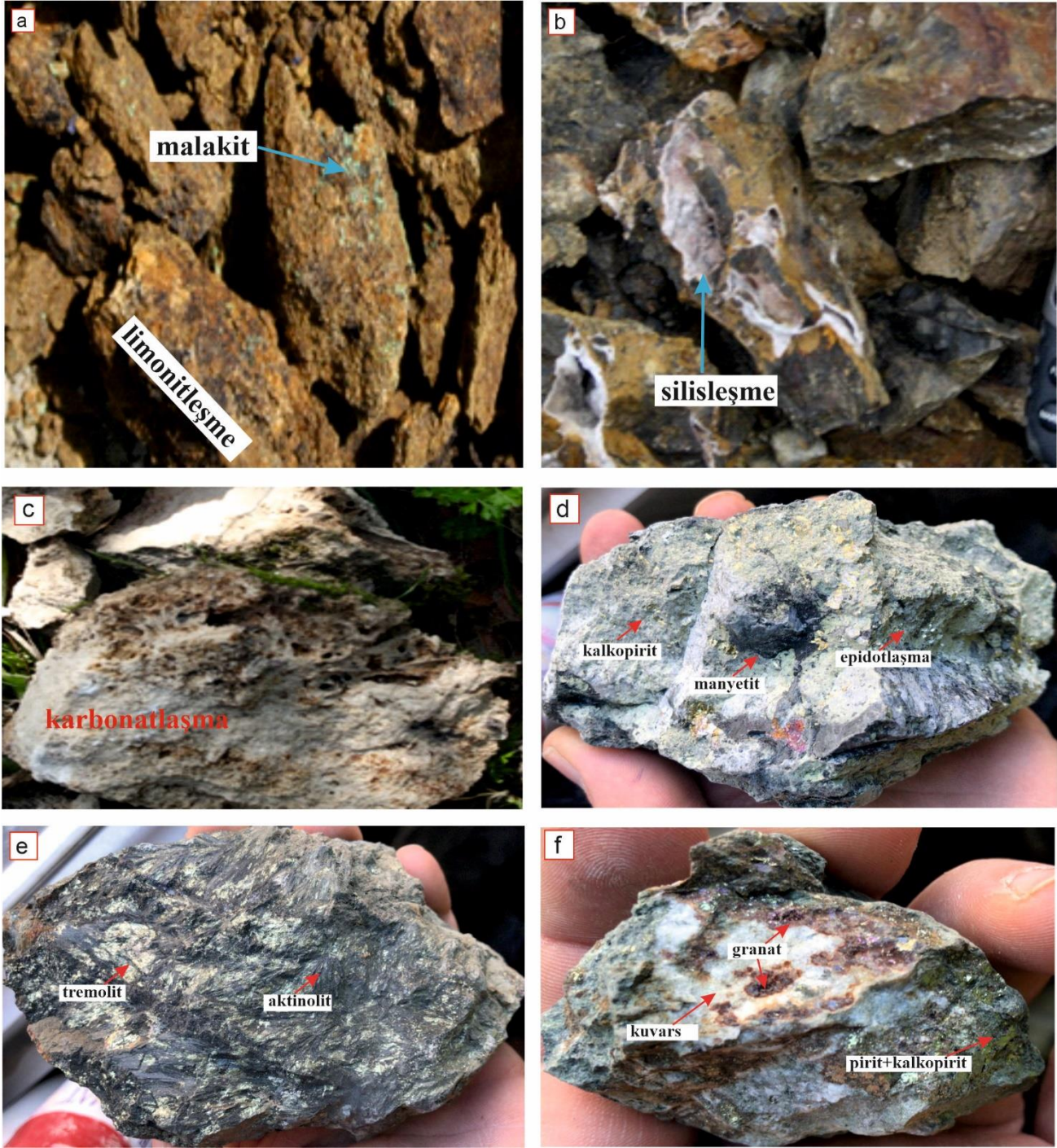
#### 3.3. Ore microscopy and mineral chemistry

Köprüyanı cevherleşmesindeki epidot ve granat gibi silikat mineralleri ile pirit, kalkopirit ve manyetit gibi cevher minerallerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesine yönelik mikroprob analizleri 3 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sülfür grubu pirit ve kalkopirit minerallerinin analizi çoğunlukla 1 ve 13 nolu örnekler



üzerinde, oksit grubu manyetit mineralinin analizleri 1, 5 ve 13 nolu örneklerde, silikat grubu granat ve epidot minerallerinin analizi ise sırasıyla 1, 13 ve 5 nolu örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Ekzoskarn zonundan alınan pirit minerali analizleri 1 nolu örnekte 4 nokta üzerinde, kalkopirit minerali analizleri 1 nolu örnekte 6 nokta üzerinde, 13 nolu örnekte ise 26 nokta üzerinde yapılmıştır. 1, 5 ve 13 nolu örnekte gerçekleştirilen ekzoskarn zonuna ait manyetit minerallerinin analizleri sırasıyla 4, 6 ve 23 nokta üzerinde yapılmıştır. Epidot mineralinin üzerinde yapılan toplam analiz sayısı 53 olmakla birlikte, bu analizlerin 45 tanesi ekzoskarn zonuna ait 5 nolu örnek üzerinde, 8 tanesi ise 1 nolu örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Granat analizi 1 nolu örnekte toplam 14 noktada ve 13 nolu örnekte ise toplam 15 noktada granat mineralinde analiz yapılmıştır. Mineral kimyası kapsamında yapılan analizlere ait ölçüm sonuçları ve hesaplamalar Ek Tablo 1-5'te verilmiştir.



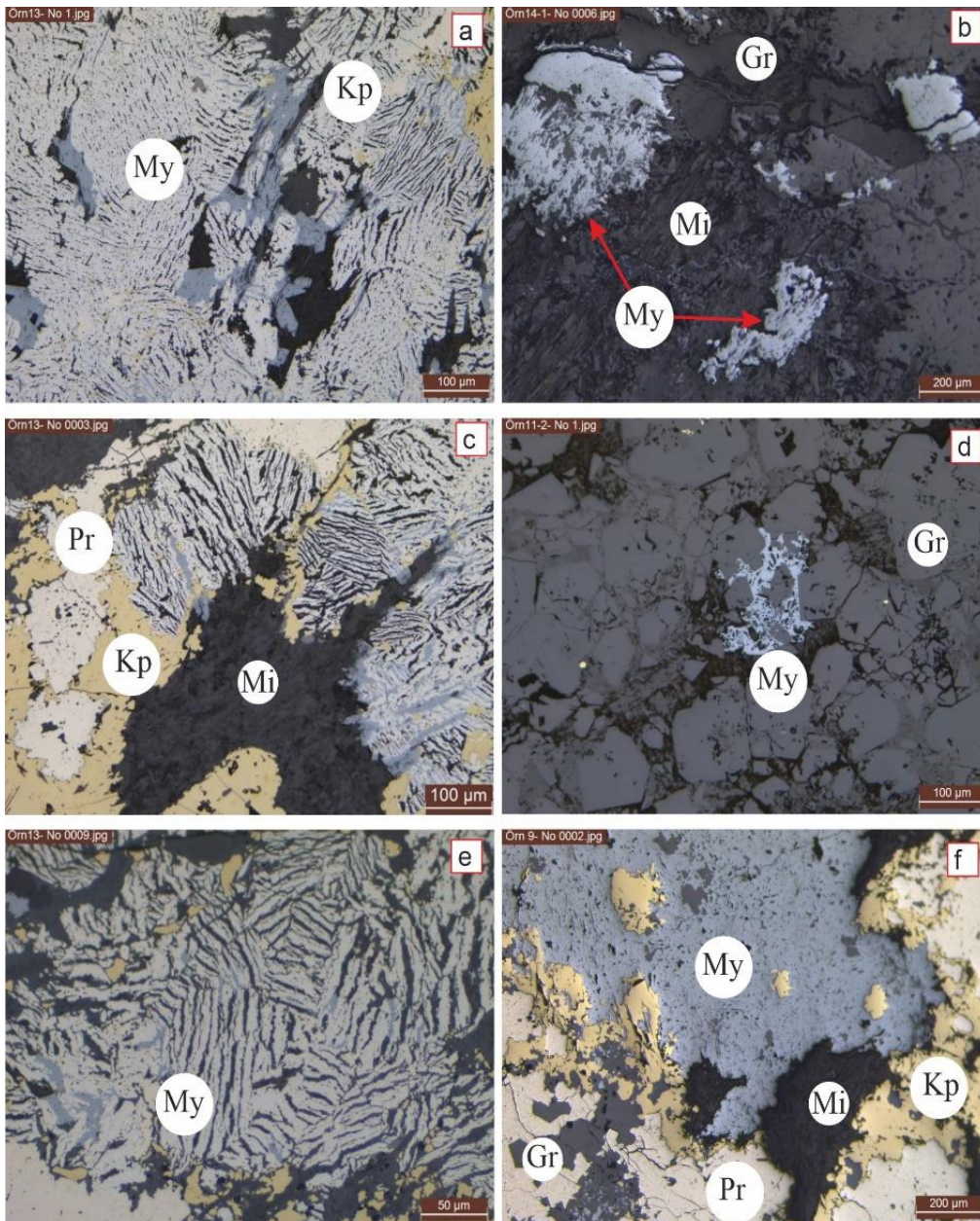
**Şekil 3.** Cevherleşme sahasında gözlenen minerallerin makroskobik ve alterasyon görünüşleri  
**Figure 3.** Macroscopic and alteration views of the minerals observed in the mineralization area



### 3.3.1. Manyetit

#### 3.3.1. Magnetite

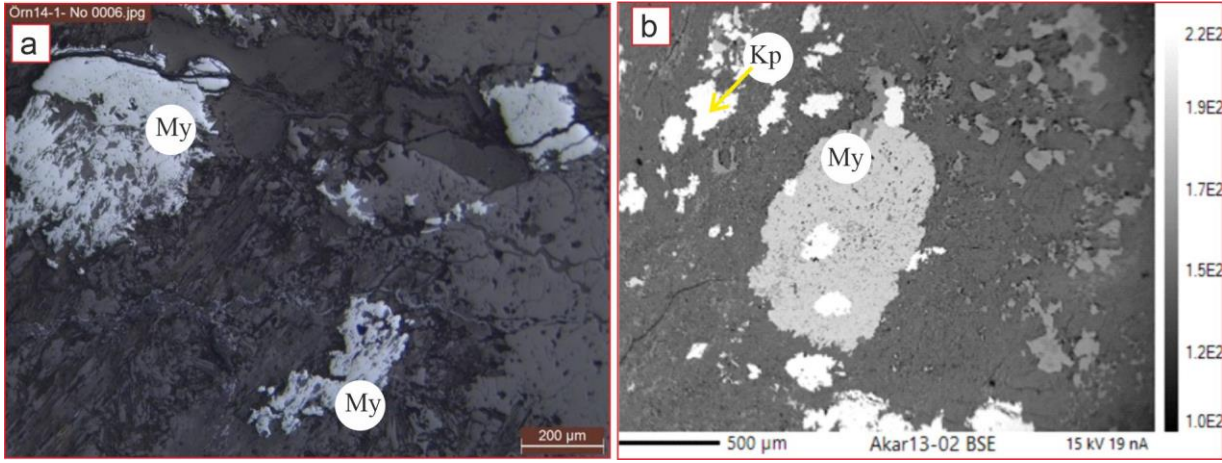
Köprüyanı Fe-Cu skarn yatağı ekzoskarn zonunda çoğunlukla kuvars mineralleri ile birlikte bulunan manyetit az miktarda da olsa granat minerallerinin arasındaki boşluklarda, 1 mm'ye kadar varan boyutlarda ve öz şekilsiz olarak gözlenmektedir. Manyetitlerde hematit lataları da gelişmiştir. İki evrede oluşan manyetit minerallerinin gang tarafından ornatıldığı ve ilk evrede oluşmuş olanların alterasyon sonucu hematite dönüştüğü, genel olarak öz şekilsiz ve kırıklı olarak gözlenen manyetitlerin ise ikinci evrede oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4). Köprüyanı Fe-Cu skarn yatağında ekzoskarn zonunda manyetit minerallerinin genellikle kalkopirit, pirit ve granat ile birlikte bulunduğu (Şekil 4) gözlenmektedir.  $TiO_2$  içeriklerinin çok düşük (%0,02-1,02) olduğu buna karşılık  $FeO^t$  içeriklerinin ise %83,13-92,00 arasında değiştiği belirlenmiştir.  $SiO_2$  içerikleri %0,13-3,06 arasında değişmekte olup ekzoskarn zonundaki manyetit ve hematitlerde merkezden kenara doğru  $SiO_2$  içeriği artmaktadır (Şekil 5b, Ek Tablo 1).  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  kanyonları sırasıyla 8,02-8,93 ve 13,67-15,90 arasında değişmekte olup Bacon ve Hirschmann (1988) tarafından önerilen diyagrama göre türlerinin manyetit (Şekil 6) olduğu belirlenmiştir.



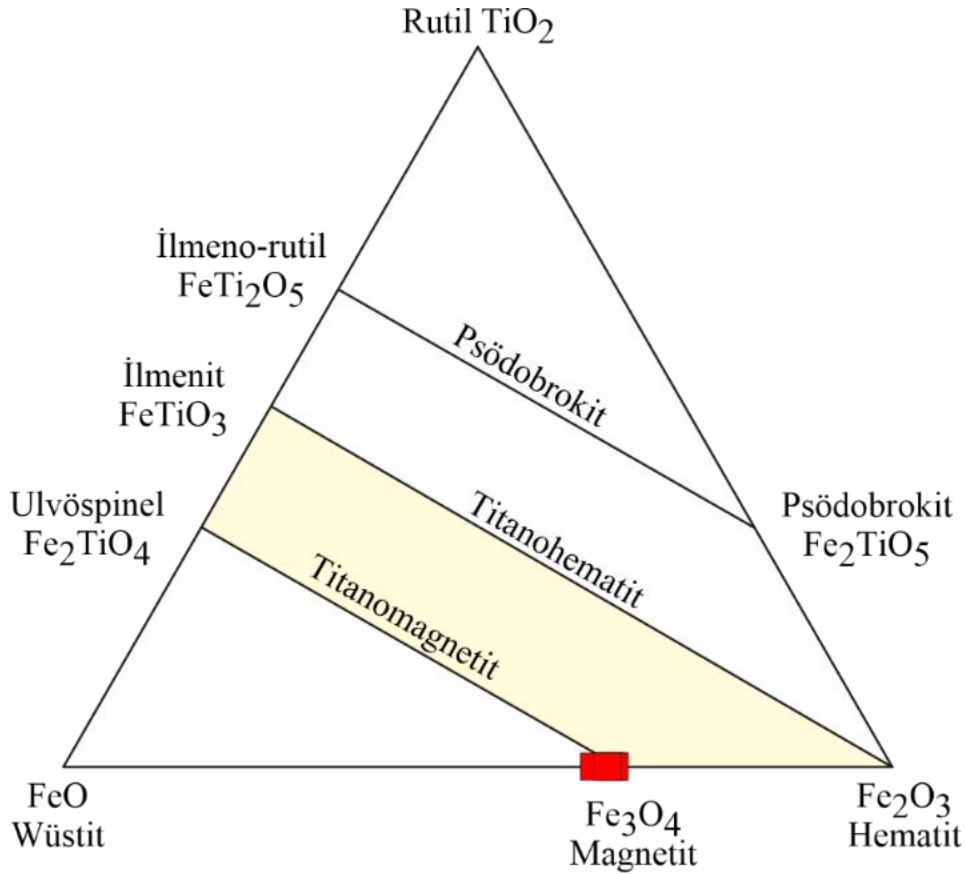
**Şekil 4.** Manyetit minerallerinin cevher mikroskobu görünümleri (Pr: Pirit, Kp: Kalkopirit, My: Manyetit, Gr: Granat, Mi: Mika.)

**Figure 4.** Ore microscope views of magnetite minerals (Pr: Pyrite, Kp: Chalcopyrite, My: Magnetite, Gr: Garnet, Mi: Mica)





**Şekil 5.** Manyetit minerallerinin mikroskopik (a) ve BSE (b) görünümleri (My: Manyetit, Kp: Kalkopirit)  
**Figure 5.** Microscopic (a) and BSE (b) views of magnetite minerals (My: Magnetite, Kp: Chalcopyrite)



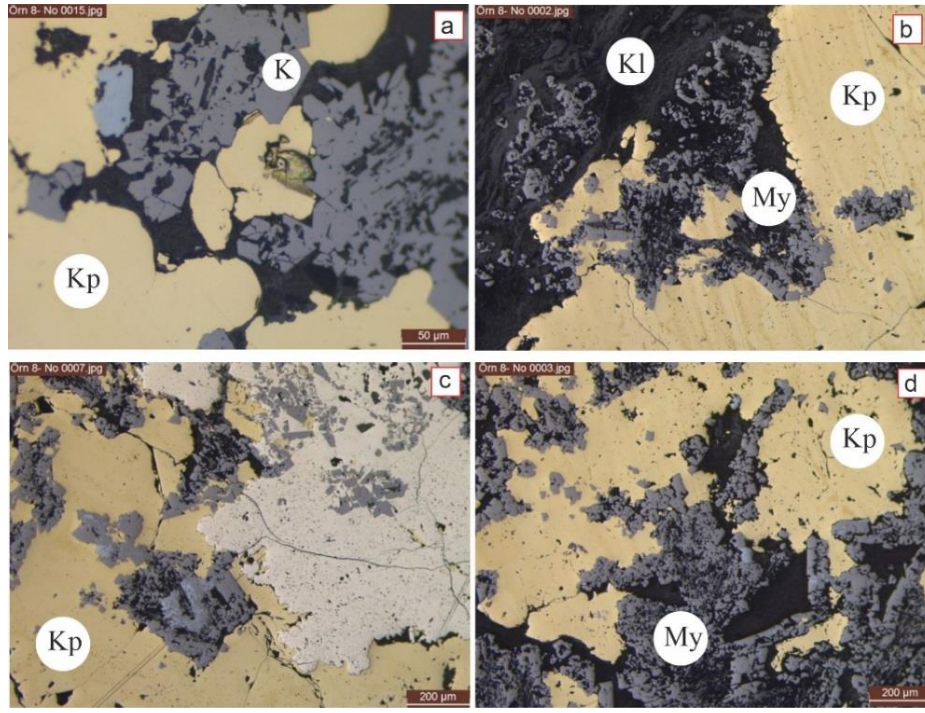
**Şekil 6.** Fe-Ti oksit minerallerinin bileşimi (Bacon & Hirschmann, 1988).

**Figure 6.** Composition of Fe-Ti oxide minerals (Bacon & Hirschmann, 1988).

### 3.3.2. Kalkopirit

#### 3.3.2. Chalcopyrite

Kalkopirit minerali açık sarı renklere ve çoğunlukla öz şekilsiz olarak gözlenmektedir. Köprüyanı Fe-Cu skarn yatağında bulunan kalkopirit minerali, manyetit mineralinden sonra en fazla gözlenen cevher minerali olup, genellikle açık sarı renklere ve çoğunlukla öz şekilsiz olarak gözlenmektedir. İki farklı evrede gelişen kalkopirit, manyetit mineralleri arasında küçük ve öz şekilsiz kapanımlar halinde bulunurken, genellikle manyetiti ornatmış olarak gözlenmesinin yanı sıra, kalsit ve kuvars tarafından ise kataklasta uğratılmıştır (Şekil 7).



**Şekil 7.** Kalkopirit minerallerinin cevher mikroskobu görünümleri (Pr: Pirit, Kp: Kalkopirit, My: Manyetit, K: Kuvars, Kl: Kalsit)

**Figure 7.** Ore microscope views of chalcopyrite minerals (Pr: Pyrite, Kp: Chalcopyrite, My: Magnetite, K: Quartz, Kl: Calcite)

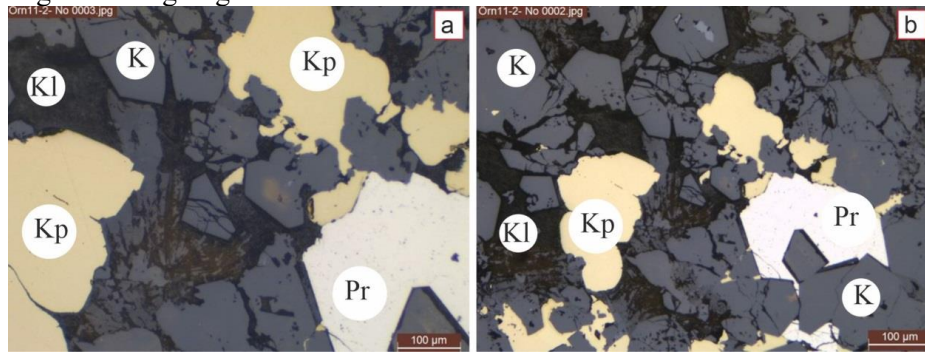
Manyetit ile beraber bulunan ve ekzokarn zonunda yer alan kalkopirite ait mineral kimyası analiz sonuçlarına (iki örnek üzerinde 46 noktada) göre, Cu içeriğinin %33,50-43,27 ve Fe içeriğinin %29,84-39,11 arasında değiştiği, kimyasal bileşiminde herhangi bir iz element zenginleşmesi olmadığı belirlenmiştir.

### 3.3.3. Pirit

#### 3.3.3. Pyrite

Pirit, manyetit ve kalkopiritten sonra yaygın olarak gözlenen bir diğer cevher mineralidir. Öz şekilsiz ve kısmen de öz şekilli olarak ekzokarn zonunda gözlenen piritlerin oluşumları iki farklı evrede gerçekleşmiş olup, aynı zamanda pirit minerali tektonik faaliyetlere bağlı olarak kataklastik doku da sunmaktadır (Şekil 8).

Pirit minerallerinde yapılan kimyasal analiz (Ek Tablo 3) sonuçlarına göre Fe içeriği %46,01-46,73 arasında olup çok az Cu (%0,05-0,07) belirlenmiştir. Merkezde %0,06-0,07 arasında Cu bulunurken kenar kısımda %0,05-0,07 arasında Cu içeriği tespit edilmiştir. Bu durum mineralin merkez ve kenar arasında belirgin bir bileşimsel farklılığın olmadığını göstermektedir.



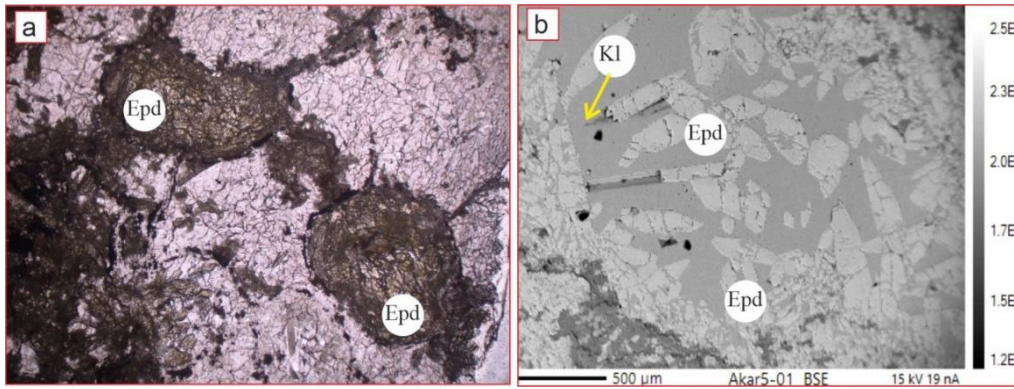
**Şekil 8.** Pirit minerallerinin cevher mikroskobu görünümleri (Pr: Pirit, Kp: Kalkopirit, K: Kuvars, Kl: Kalsit)

**Figure 8.** Ore microscope views of pyrite minerals (Pr: Pyrite, Kp: Chalcopyrite, K: Quartz, Kl: Calcite)

### 3.3.4. Epidot

#### 3.3.4. Epidote

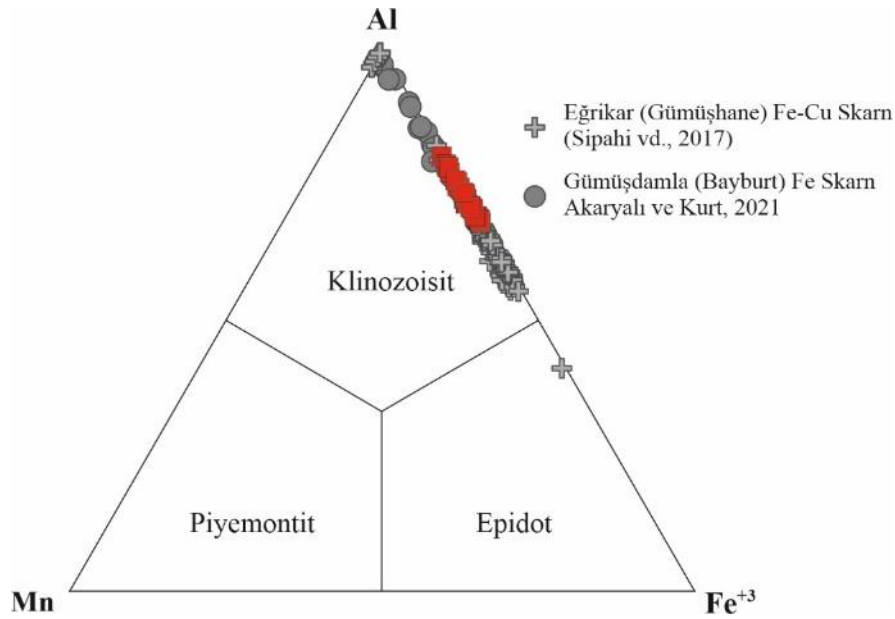
Köprüyanı Fe-Cu skarn cevherleşmesinde, yapılan parajenez ve süksesyon çalışmaları sonucu, epidot minerallerinin ekzoskarn zonda oluştuğu tespit edilmiş olup, mikroskopik ve BSE görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Cevhere yakın alanda daha az oranda ve andezitlerin kırık ve çatlaklarında damarlar halinde bulunmakta iken, ekzoskarn zonunda granat ve manyetit ile birlikte bol miktarda ve küçük kristaller şeklinde gözlenmektedir. Epidot minerallerinin (Ek Tablo 4)  $\text{SiO}_2$  içerikleri; %36,22-38,54 arasında değişmektedir. Epidot minerallerinin  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{FeO}^t$  bileşimleri sırasıyla %21,92-26,66 ve %9,05-14,44 arasında değişmekte ve yüksek CaO (%22,15-23,76) değerleri göstermektedir. İri kristallerde merkezden kenara doğru  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriğinin nispeten arttığı, buna karşılık  $\text{FeO}^t$  içeriğinin ise nispeten azaldığı, diğer ana oksitlerde ise belirgin bir değişikliğin gözlenmediği ortaya konmuştur. Özellikle ekzoskarn zonunda gözlenen  $\text{FeO}^t$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  arasındaki bu ilişki dikkat çekmekte olup  $\text{FeO}^t$  içeriği artarken  $\text{Al}_2\text{O}_3$  azalmaktadır (Ek Tablo 4). Benzer durum Ayazmant (Balıkesir) Fe-Cu skarn (Oyman, 2010) ve Eğrikar Fe-Cu skarn (Sipahi vd., 2017) yataklarındaki ekzoskarn epidotlarının  $\text{FeO}^t$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriklerinde de gözlenmekte olup çalışılan cevherleşme ile benzer olduğu görülmektedir.



**Şekil 9.** Epidot minerallerinin mikroskopik (a) ve BSE (b) görüntüleri (Epd: Epidot, Kl: Kalsit)  
**Figure 9.** Microscopic (a) and BSE (b) views of epidote minerals (Epd: Epidote, Kl: Calcite)

Epidot mineralleri Köprüyanı Fe-Cu skarn cevherleşmesinde en yaygın gözlenen sulu silikat mineralini oluşturmaktadır. Al içeriklerinin yüksek (2.06-2.46), Mn içeriklerinin düşük (0,01-0,03) ve  $\text{Fe}^{+3}$  içeriklerinin ise nispeten yüksek (0,59-0,96) olduğu epidot grubu minerallerinin Al bakımından zengin olduğu belirlenmiş, Armbruster vd. (2006) üçgen sınıflama diyagramına göre ise türü klinozoisit olarak bulunmuştur (Şekil 10). Epidot grubu minerallerin Doğu Pontid Orojenik Kuşağı Kuzey Zonu'nda yer alan Eğrikar ve Karadağ (Gümüşhane) Fe-Cu skarn (Sipahi vd., 2017; Sipahi vd., 2022) cevherleşmesi ile güney zonda yer alan Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn (Akaryalı & Kurt, 2021) cevherleşmesinde gözlenen epidot mineralleri ile benzer bileşime sahip oldukları, ancak Al içeriklerinin Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn epidotlarına göre nispeten yüksek, Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn epidotlarına göre ise nispeten düşük olduğu görülmektedir.



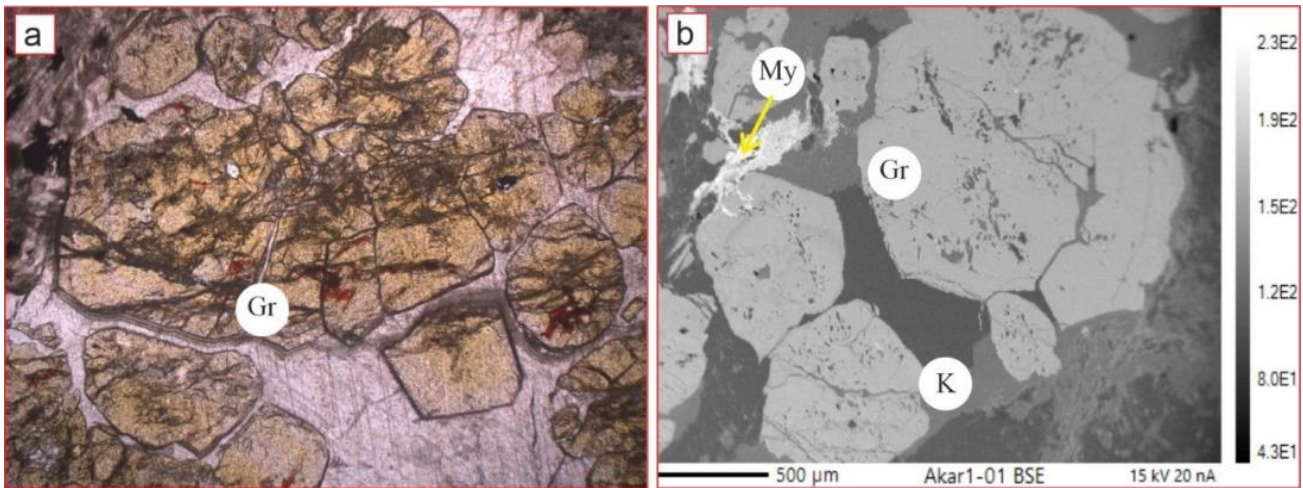


**Şekil 10.** Epidot grubu minerallerinin üçgen sınıflama diyagramı (Armbruster vd., 2006).  
**Figure 10.** Triangular classification diagram of epidote group minerals (Armbruster vd., 2006).

### 3.3.5. Granat

#### 3.3.5. Garnet

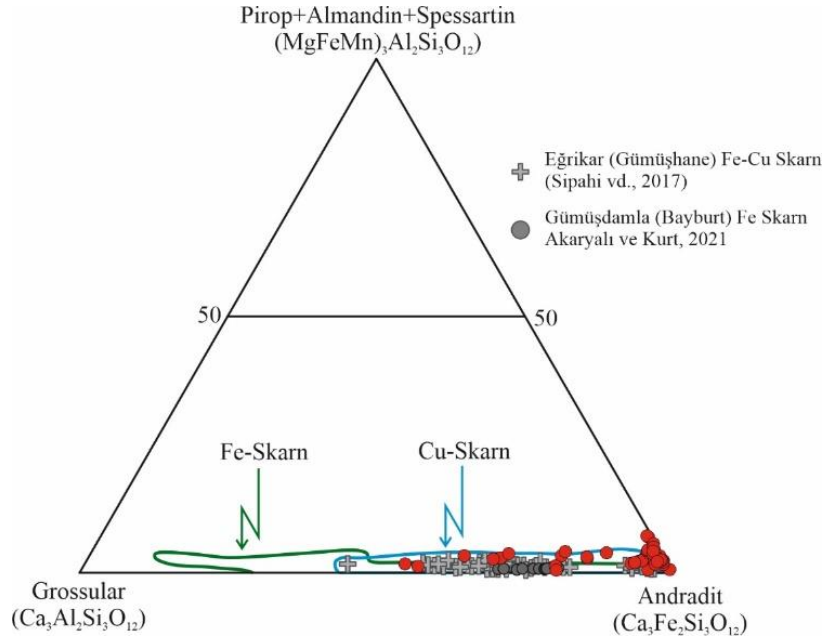
Granat mineralleri genel olarak yeşilimsi kahverenginde ve yuvarlağımsı, iri ve küçük kristalli, öz ve yarı öz şekilli halde gözlenmektedir. Granatlar bazı örneklerde kalıntı olarak kalmış ve yerleri kısmen kuvars, Fe-oksit ve epidot tarafından alınmış şekilde izlenir. Kırıklı ve kataklastik doku gösteren granat mineralleri (Şekil 11) bazı kesitlerde manyetitle birlikte ve küçük kristaller halinde izlenmektedir.



**Şekil 11.** Granat minerallerinin mikroskopik (a) ve BSE (b) görünüşleri (Gr: Granat My: Manyetit, K: Kuvars)  
**Figure 11.** Microscopic (a) and BSE (b) views of garnet minerals (Gr: Garnet, My: Magnetite, K: Quartz)

Analiz sonuçlarına göre (Ek Tablo 5) granatların merkezden kenara belirgin bileşimsel farklılıklar göstermediği belirlenmiştir. Granatlarda  $Al_2O_3$  (%0,06-10,47),  $MnO$  (%0,46-1,43) ve  $MgO$  (%0,01-0,06) içerikleri düşük, buna karşın  $Fe_2O_3$  (%17,84-32,58) ve  $CaO$  (%30,65-33,89) içerikleri ise yüksektir. Yapılan hesaplamalar türlerinin andradit ve grossular-andradit ( $And_{54.99}Gr_{S0.3.44}$ ) olduğunu göstermektedir (Şekil 12). Granat minerallerinde ferro demir ( $Fe^{+2}$ ) çok düşük (0,01-0,11) olup örneklerde ferri demirin ( $Fe^{+3}$ ) hâkim olduğu (1,2-2,24) ortaya konmuştur. Çalışılan cevherleşmedeki granat minerallerine ait kimyasal veriler üçgen sınıflandırma diyagramına aktarıldığında, söz konusu cevherleşmesinin Fe ve Cu skarn alanlarında yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla, mikroskopik ve mineral kimyası incelemelerinde manyetit varlığının tespit

edilmesine bağlı olarak, Köprüyanı cevherleşmesinin Fe-Cu skarn tipinde olduğu değerlendirilmektedir. Granat grubu minerallerin Doğu Pontid Orojenik Kuşağı kuzey zonunda yer alan Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn (Sipahi vd., 2017) cevherleşmesi ile güney zonda yer alan Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn (Akaryalı ve Kurt, 2021) cevherleşmesinde gözlenen granat mineralleri ile benzer bileşime sahip oldukları, ancak Ca ve Fe içeriklerinin Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn ve Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn granatlarına göre ise nispeten yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 12).



**Şekil 12.** Granatların üçgen diyagramında sınıflandırılması (Fe- ve Cu-Skarn alanları Meinert, (1992)'den alınmıştır).

**Figure 12.** Triangular classification diagram of garnet (Fe- and Cu-Skarn fields are taken from Meinert, (1992))

### 3.4. Parajenez ve süksesyon

#### 3.4. Paragenesis and succession

Köprüyanı cevherleşmesi kapsamında yapılan mikroskobik çalışmalar neticesinde cevherleşmenin parajenezinin granat, epidot, manyetit, pirit, kalkopirit, kuvars ve kalsitten oluştuğu belirlenmiştir. Söz konusu mineraller arasında tespit edilen dokusal özelliklere bağlı olarak belirlen süksesyon Şekil 13'te verilmiştir.

Mineraller	Endoskarn	Ekzoskarn		Oksidasyon
		I. Faz	II. Faz	
Granat	? - - - - -	- - - - -	- - - - -	
Epidot	? - - - - -	- - - - -	- - - - -	
Manyetit	? - - - - -	- - - - -	- - - - -	
Pirit		- - - - -	- - - - -	
Kalkopirit		- - - - -	- - - - -	
Kuvars	? - - - - -	- - - - -	- - - - -	
Kalsit	? - - - - -	- - - - -	- - - - -	
Hematit			- - - - -	- - - - -
Limonit				- - - - -
Malakit				- - - - -
Azurit				- - - - -

**Şekil 13.** Köprüyanı Fe-Cu skarn cevherleşmesinin parajenez ve süksesyonu

**Figure 13.** Paragenesis and succession of Köprüyanı Fe-Cu skarn mineralization

Epidot ve granat minerallerinin iki farklı fazda gözleendiği Şekil 13'te görülmektedir. Benzer şekilde manyetit, kuvars ve kalsitin de oluşumunun ekzoskarn zonunda gerçekleştiği, buna karşın pirit ve kalkopiritin ekzoskarn zonunda birinci faz ve ikinci fazda oluşumlarının gözleendiği belirlenmiştir. Cevher oluşumundan sonra gerçekleşen oksidasyon zonunda ise hematit, limonit, malakit ve azurit minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Köprüyanı cevherleşmesinin Fe-Cu skarn tipinde olduğunu ortaya koyan en önemli veriler, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen, cevher mikroskobisi ve mineral kimyası çalışmalarıdır. Bu çalışmalar sonucunda, inceleme alanının bulunduğu bölgedeki skarn yataklarına (Aslan 1991; Sadıklar, 1993; Sipahi, 2011; Sipahi vd., 2017; Sipahi vd., 2018; Akaryalı ve Kurt 2021) ait mikrokimyasal analiz verileri, Köprüyanı skarn cevherleşmesi ile karşılaştırıldığında önemli benzerlikler elde edilmiştir. Bu bağlamda, yapılan karşılaştırmalar neticesinde elde edilen veriler, Köprüyanı cevherleşmesinin Fe-Cu skarn tip bir cevherleşme olduğu yönündeki görüşü desteklemektedir

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Doğu Pontidler'in Kuzey Zonu'nda Trabzon ili sınırlarında Köprüyanı mevkiindeki Fe-Cu skarn cevherleşmesine yönelik cevher mikroskobisi ve mineral kimyası çalışmaları ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Çalışma alanı ve yakın çevresindeki yaşlıdan gence doğru Hamurkesen Formasyonu, Berdiga Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çatak Formasyonu ve Alüvyon birimleri yer almaktadır. Köprüyanı cevherleşme sahasında, bölgede gözlenen kırık sistemlerine paralellik gösteren K35-50 doğrultu girişli galeri stok alanı ve çevresinde aktinolit, tremolit, pirit, kalkopirit, manyetit ve malakit mineralleri ile kırık çatlak zonları boyunca gelişmiş limonitleşme, hematitleşme kloritleşme ve epidotlaşma türü alterasyonlar gözlenmektedir.

Köprüyanı Fe-Cu skarn yatağında ekzoskarn zonunda manyetit minerallerinin genellikle kalkopirit, pirit ve granat ile birlikte bulunduğu,  $TiO_2$  içeriklerinin çok düşük (%0,02-1,02) olduğu buna karşılık  $FeO^t$  içeriklerinin ise %83,13-92,00 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kalkopirit minerallerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre çoğunlukla manyetit ile beraber bulunan ve ekzoskarn zonunda yer alan kalkopirit minerallerinin Cu içeriğinin %33,50-43,27 ve Fe içeriği %29,84-39,11 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Pirit minerallerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre Fe içeriğinin %46,01-46,73 arasında olduğu, mineralin merkezinde ve kenarında Cu içeriğinin bileşimsel farklılık göstermediği belirlenmiştir.

Köprüyanı Fe-Cu skarn cevherleşmesinde en yaygın gözlenen sulu silikat minerali olan epidotun Al içeriklerinin yüksek (2,06-2,46), Mn içeriklerinin düşük (0,01-0,03) ve  $Fe^{+3}$  içeriklerinin ise nispeten yüksek (0,59-0,96) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, epidot grubu minerallerinin Al bakımından zengin olduğu ve üçgen sınıflama diyagramına göre, türünün klinozoisit olduğu belirlenmiştir.

Granatlarda gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları türlerinin andradit ve grossular-andradit ( $And_{54-99}Gr_{S_{0,3-44}}$ ) olduğu ve granat minerallerinde ferro demir ( $Fe^{+2}$ ) çok düşük (0,01-0,11) olup örneklerde ferri demirin ( $Fe^{+3}$ ) hâkim olduğu (1,2-2,24) ortaya konmuştur. Çalışılan cevherleşmedeki granat minerallerine ait kimyasal verilere göre, söz konusu cevherleşmenin Fe-Cu skarn tipinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Granat grubu minerallerin Doğu Pontid Orojenik Kuşağı Kuzey Zonunda yer alan Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesi ile güney zonda yer alan Gümüşdamla (Bayburt) Fe skarn cevherleşmesinde gözlenen granat mineralleri ile benzer bileşime sahip oldukları belirlenmiştir. Epidot ve granat minerallerinin ekzoskarn zonunda iki farklı evre de gözleendiği, benzer şekilde manyetit, kuvars ve kalsitin de oluşumunun da ekzoskarn zonunda gerçekleştiği, pirit ve kalkopiritinde ekzoskarn zonunda birinci faz ve ikinci fazda oluşumlarının gözleendiği belirlenmiştir. Cevher oluşumundan sonra gerçekleşen oksidasyon zonunda ise hematit, limonit, malakit ve azurit minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm veriler neticesinde; Köprüyanı cevherleşmesinin Fe-Cu skarn türünde ve bölgede var olan skarn cevherleşmelerinin parajenez, süksesyon ve mineral kimyası verileri ile benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.



**Teşekkür***Acknowledgement*

Bu araştırma, ikinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazarlar arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Ekrem SARI ve Jeoloji Mühendisi Hakan TÜFEK'e teşekkür eder. Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (Proje No: 21.E0115.07.01) desteklenmiştir.

**Yazar katkısı***Author contribution*

Birinci yazar yayının her aşamasında, ikinci yazar arazi laboratuvar ve parlak kesitlerinin incelenmesinde, üçüncü yazar mineral kimyası değerlendirmelerinde katkı sağlamıştır.

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

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

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

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

- Abdioğlu, E., Arslan, M., Kadir, S., & Temizel, İ. (2015). Alteration mineralogy, lithochemistry and stable isotope geochemistry of the Murgul (Artvin, NE Turkey) volcanic hosted massive sulfide deposit: Implications for the alteration age and ore forming fluids. *Ore Geology Reviews*, 66, 219-242.
- Akaryalı, E. (2010). *Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) altın yatağının jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve kökenselel incelenmesi*. [Doktora lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon].
- Akaryalı, E., & Tüysüz, N. (2013a). The genesis of the slabindow-related Arzular low- sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). *Geoscience Frontiers*, 4(4),409-421. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.12.002>
- Akaryalı, E., & Tüysüz, N. (2013b). Arzular (Gümüşhane KD Türkiye) Epitermal altın cevherleşme sahasındaki hidrotermal alterasyonlar ve kütle değişim hesaplamaları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 49-76.
- Akaryalı, E. (2016). Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn ± Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.11.013>
- Akaryalı, E., & Akbulut, K. (2016). Constraints of C–O–S isotope compositions and the origin of the Ünlüpinar volcanic-hosted epithermal Pb–Zn ± Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 117, 119-134. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.12.012>.
- Akaryalı, E., & Kurt, A.H. (2021). Gümüşdamla (Aydıntepe Bayburt) skarn cevherleşmesinin mineral kimyası özellikleri. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 166-197. <https://doi.org/10.17780/ksujes.898544>
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Akpınar, İ., ve Aydınçakır, E. (2015). Ünlüpinar Kelkit Gümüşhane Pb Zn Au cevherleşmesinin jeolojik jeokimyasal ve kökenselel olarak incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 34-49
- Armbruster, T., Bonazzi, P., Akasaka, M., Bermanec, V., Chopin, Ch., Giere', R., ... Pasero, M. (2006). Recommended nomenclature of epidote-group minerals. *European Journal of Mineralogy*, 18, 551-567.

- Aslan, Z. (1991). *Özdil (Yomra-Trabzon) yöresinin petrografisi, skarn oluşukları ve granat-piroksen ritmitleri*. [Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon]
- Bacon, C.R., & Hirschmann, M.M. (1988). Mg/Mn partitioning as a test for equilibrium between coexisting Fe-Ti oxides. *American Mineralogist*, 73, 57-61.
- Bulut, Y., Ögün, Y., Dümenci, S., Bozkuş, C., Taka, M., & Öner, A. (1989). Tortum-Narman-Oltu-Olur dolayının jeolojisi ve kömür olanakları. MTA Rapor No: 8889, Ankara.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Keewook, Yi., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., ... Bektaş, O. (2014). The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: Geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29-54. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.11.009>
- Gedikoğlu, A. (1978). *Harşit granit karmaştığı ve çevre kayalarları*. Yayımlanmamış doçentlik tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kurt, A.H. (2018). *Gümüşdamla (Aydıntepe-Bayburt) skarn cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve kökensel incelenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane]
- Meinert, L. D. (1992). Skarns and skarn deposits. *Geoscience Canada*, 19(4), 145-162.
- Oyman, T. (2010). Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe–Cu skarn deposit in Ayvalık (Balıkesir), Turkey. *Ore Geology Reviews*. 37, 175-201
- Sadıklar, M.B. (1993) Granat-pyroxene-rhythmite bei Özdil-Trabzon, NE-Türkei. *Chemie der Erde*, 53, 341–353
- Saraç, S., & Van, A. (2005). Çambaşı (Ordu) ve Dereli (Giresun) yörelerindeki skarn yataklarının karşılaştırılmalı kimyasal ve mineralojik özellikleri: Doğu Pontid kuzey zonu (KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29(2), 27-44.
- Sipahi, F. (1996). *Camiboğazi ve Sarıtay Yaylaları Arasındaki Bölgenin Petrografi ve Maden Yatakları Açısından İncelenmesi*, [Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon]
- Sipahi, F. (2011). Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 188 (2), 169-190.
- Sipahi, F. & Sadıklar, B. (2010). Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) volkanitlerinin alterasyon mineralojisi ve kütle değişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53, (2-3), 97-128.
- Sipahi, F., Akpınar, I., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A., & Yılmaz, M. (2017). Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, lithochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O-H-C-S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182 32-52.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., & Akpınar, I. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar monzogranite example. *International Geology Review*, 60 (3), 382-400.
- Sipahi, F., Gücer, M.A., & Saydam Eker, Ç. (2020). Geochemical composition of magnetite from different iron skarn mineralizations in E. Turkey: implication for source of ore forming fluids. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(2), 1-15.
- Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, I., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A., & Aydurmuş T, M. (2022). Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey: a case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review*, 64, (11), 1530–1555. <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1941323>
- Taşlı, K. (1984) *İkisü (Gümüşhane) İle Hamsiköy (Trabzon) yörelerinin jeolojisi ve Berdiga Formasyonunun biyostratigrafik deneştirmesi*. [Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon]

- Türk Japon Ekibi (1985). *The cooperative mineral exploration of Gümüşhane area, Phase I*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Raporu No:334, Ankara
- Tüysüz, N. (2000). Geology, lithochemistry and genesis of the Murgul massive sulfide deposit, NE Turkey. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 60, 231-250.
- Yalçınalp, B. (1992). *Güzelyayla (Maçka-Trabzon) porfiri Cu-Mo cevherleşmesinin jeolojik yerleşimi ve jeokimyası*. [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

**Ekler**

Ek Tablo 1. Köprüyanı cevherleşmesi manyetite ait mineral kimyası analizleri

Mineral Örnek no	Manyetit											
	1				5				13			
Analiz noktası	1-39	1-40	1-41	1-42	5-30	5-31	5-42	5-43	5-44	5-45	13-01	13-02
Açıklama	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	k	m
SiO <sub>2</sub>	0.31	0.77	0.26	0.22	1.77	2.30	1.95	1.81	1.50	1.90	0.56	0.67
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.1	0.03	0.07	0.91	1.02	0.91	0.78	0.75	0.90	0.14	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.27	0.02	0.02	0.79	0.99	0.77	0.83	0.79	0.87	0.00	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01
FeO	88.73	87.16	88.84	88.27	83.13	85.12	83.84	83.53	85.28	84.15	88.87	89.11
MnO	0.03	0.05	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04
MgO	0.04	0.22	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.11	0.04
CaO	0.06	0.32	0.06	0.05	0.09	0.1	0.08	0.08	0.22	0.18	0.15	0.32
Toplam	89.42	88.9	89.28	88.65	86.76	89.6	87.65	87.1	88.65	88.06	89.87	90.23
Si	0.10	0.25	0.08	0.07	0.58	0.73	0.63	0.59	0.48	0.61	0.18	0.21
Ti	0.02	0.02	0.01	0.02	0.22	0.24	0.22	0.19	0.18	0.22	0.03	0.00
Al	0.06	0.10	0.01	0.01	0.31	0.37	0.30	0.32	0.30	0.33	0.00	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Fe(iii)	15.70	15.35	15.81	15.81	14.07	13.67	13.98	14.10	14.37	13.99	15.58	15.55
Fe(ii)	8.07	8.04	8.05	8.06	8.77	8.93	8.82	8.75	8.55	8.77	8.10	8.08
Mn	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Mg	0.02	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.02
Ca	0.02	0.11	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.06	0.05	0.11
Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Fe/Fe+Mg	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cr/Cr+Al	0.04	0.02	0.00	0.25	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00	0.18

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 32 oksijene göre hesaplanmıştır. Fe(ii) ve Fe(iii) ayırımı stokiometrik olarak yapılmıştır.

Ek Tablo 1. (Devamı)

Mineral Örnek no Analiz noktası	Manyetit 13													
	13-03	13-04	13-31-1	13-32-2	13-33-3	13-34-4	13-35-5	13-36-6	13-45-1	13-46-2	13-47-3	13-48-4	13-49-5	13-50-6
Açıklama	k	m	merkezden-----kenara						merkezden-----kenara					
SiO <sub>2</sub>	0.85	2.13	0.61	0.24	0.45	0.22	0.82	0.84	1.49	0.2	0.61	0.13	1.73	0.29
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.02	0.07	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.03	0.07	0.02	0.04	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.10	0.01	0.02	0.01	0.09	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
FeO	89.31	86.97	89.2	89.55	89.37	89.54	88.93	88.41	88.02	89.66	89.15	89.87	90.98	89.58
MnO	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
MgO	0.21	0.14	0.10	0.05	0.08	0.05	0.19	0.22	0.22	0.01	0.13	0.05	0.02	0.05
CaO	0.03	0.94	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.23	0.04	0.03	0.01	0.1	0.14
Toplam	90.5	90.28	90.03	89.94	89.96	89.9	90.08	89.59	90.15	89.96	90.04	90.11	92.99	90.11
Si	0.27	0.67	0.19	0.08	0.14	0.07	0.26	0.27	0.47	0.06	0.19	0.04	0.53	0.09
Ti	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
Al	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe(iii)	15.43	14.64	15.57	15.81	15.71	15.84	15.46	15.44	14.99	15.85	15.57	15.90	14.88	15.81
Fe(ii)	8.17	8.28	8.15	8.06	8.10	8.04	8.15	8.15	8.29	8.05	8.13	8.02	8.50	8.02
Mn	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Mg	0.10	0.07	0.05	0.02	0.04	0.02	0.09	0.10	0.10	0.00	0.06	0.02	0.01	0.02
Ca	0.01	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.08	0.01	0.01	0.00	0.03	0.05
Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Fe/Fe+Mg	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cr/Cr+Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.07	0.00

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 32 oksijene göre hesaplanmıştır. Fe(ii) ve Fe(iii) ayırımı stokiometrik olarak yapılmıştır.

Ek Tablo 1. (Devamı)

Mineral Örnek no	Manyetit 13							
	Analiz noktası	13-51	13-52	13-53	13-54	13-55	13-56	13-57
Açıklama	k	m	k	k	k	m	k	m
SiO <sub>2</sub>	3.06	1.26	0.31	1.36	0.52	0.66	0.44	1.8
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.03	0.00	0.01	0.06	0.03	0.16	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
FeO	89.5	87.86	89.32	87.06	89.16	88.3	89.03	92.00
MnO	0.03	0.04	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.05
MgO	0.02	0.18	0.06	0.22	0.08	0.11	0.06	0.21
CaO	0.34	0.55	0.04	0.47	0.18	0.27	0.10	0.36
Toplam	93.23	89.94	89.74	89.19	90.01	89.39	89.83	94.53
Si	0.93	0.40	0.10	0.43	0.17	0.21	0.14	0.54
Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01
Al	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe(iii)	14.03	15.18	15.80	15.12	15.64	15.56	15.63	14.87
Fe(ii)	8.82	8.12	8.05	8.16	8.08	8.07	8.11	8.33
Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg	0.01	0.09	0.03	0.10	0.04	0.05	0.03	0.09
Ca	0.11	0.19	0.01	0.16	0.06	0.09	0.03	0.12
Toplam	24	24	24	24	24	24	24	24
Fe/Fe+Mg	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cr/Cr+Al	0.00	0.40	0.00	0.00	0	0.40	0.00	0.00

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 32 oksijene göre hesaplanmıştır. Fe(ii) ve Fe(iii) ayırımı stokiometrik olarak yapılmıştır.



Ek Tablo 2. Köprüyanı cevherleşmesi kalkopirite ait mineral kimyası analizleri

Mineral Örnek no	Kalkopirit 1							13						
	Analiz noktası	1-21	1-22	1-23	1-24	1-51	1-52	13-05-1	13-06-2	13-07-3	13-08-4	13-09-5	13-10-6	13-23
Açıklama	k	m	k	m	k	m	merkezden -----					kenara		k
S	34.89	34.85	34.47	34.82	34.92	34.84	38.16	35.72	34.38	34.2	35.74	34.36	34.84	
Fe	30.27	30.06	30.18	30.32	30.57	29.84	34.29	31.18	30.21	30.31	31.61	30.38	31.32	
Cu	33.70	33.50	33.47	34.00	34.21	33.59	38.31	34.61	33.91	33.93	34.95	33.76	34.46	
Al	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Si	0.07	0.04	0.07	0.08	0.07	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	
Toplam	98.97	98.32	98.16	99.17	99.8	98.17	110.79	101.57	98.56	98.51	102.36	98.51	100.64	
Mineral Örnek no	Kalkopirit 13													
	Analiz noktası	13-24	13-28	13-29	13-37	13-38	13-39	13-40	13-59	13-60	13-61	13-62	13-63	13-64
Açıklama	m	k	m	k	m	k	m	k	m	k	m	k	m	
S	34.11	34.87	34.49	34.59	33.76	34.35	33.93	33.97	33.5	33.55	37.88	33.58	34.67	
Fe	31.02	30.92	31.33	31.75	31.61	30.92	31.10	30.93	31.13	30.51	35.12	31.00	32.09	
Cu	34.51	34.38	34.49	35.23	34.16	34.76	34.26	34.43	34.51	34.01	38.71	34.34	35.22	
Al	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	
Si	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	
Toplam	99.68	100.21	100.35	101.61	99.57	100.03	99.3	99.33	99.17	98.1	111.73	98.95	102.03	

Ek Tablo 2. (Devamı)

Mineral Örnek no	Kalkopirit 13						1			13				
	Analiz noktası	13-65-1	13-66-2	13-67-3	13-68-4	13-69-5	13-70-6	1-21	1-24	1-51	13-23	13-24	13-28	13-29
Açıklama	merkezden-----kenara													
S	33.67	33.54	33.75	33.62	42.25	33.51	34.89	34.82	34.92	34.84	34.11	34.87	34.49	
Fe	31.06	30.76	31.13	31.16	39.11	30.88	30.27	30.32	30.57	31.32	31.02	30.92	31.33	
Cu	34.40	34.64	34.70	34.56	43.27	34.45	33.70	34.00	34.21	34.46	34.51	34.38	34.49	
Al	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	
Si	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.07	0.08	0.07	0.01	0.04	0.02	0.03	
Toplam	99.17	98.95	99.61	99.36	124.66	98.88	98.97	99.17	99.8	100.64	99.68	100.21	100.35	
Mineral Örnek no	Kalkopirit 13											1		
	Analiz noktası	13-38	13-39	13-40	13-59	13-60	13-63	13-65-1	13-66-2	13-67-3	13-68-4	13-69-6	1-21	1-22
Açıklama												k	m	
S	33.76	34.35	33.93	33.97	33.50	33.58	33.67	33.54	33.75	33.62	33.51	34.42	34.62	
Fe	31.61	30.92	31.10	30.93	31.13	31.00	31.06	30.76	31.13	31.16	30.88	30.33	30.25	
Cu	34.16	34.76	34.26	34.43	34.51	34.34	34.40	34.64	34.7	34.56	34.45	34.29	34.28	
Al	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
Si	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.07	
Toplam	99.57	100.03	99.3	99.33	99.17	98.95	99.17	98.95	99.61	99.36	98.88	99.08	99.23	

Ek Tablo 2. (Devamı)

Mineral	Kalkopirit															
	1				13											
Örnek no	1-23	1-24	1-51	1-52	13-05-1	13-06-2	13-07-3	13-08-4	13-09-5	13-10-6	13-61	13-62	13-63			
Analiz noktası	1-23	1-24	1-51	1-52	13-05-1	13-06-2	13-07-3	13-08-4	13-09-5	13-10-6	13-61	13-62	13-63			
Açıklama	k	m	k	m	Merkezden-----kenara									k	m	k
S	34.67	34.60	34.35	34.54	34.99	34.54	34.48	34.47	34.44	34.46	35.07	34.36	34.43			
Fe	30.30	30.21	30.23	30.2	30.25	30.13	30.15	29.98	30.17	30.06	30.4	30.3	30.20			
Cu	34.48	34.49	34.35	34.43	34.44	34.00	34.58	34.22	34.32	34.27	34.18	33.81	34.18			
Al	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01			
Si	0.07	0.06	0.07	0.08	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07	0.03			
Toplam	99.53	99.36	99	99.25	99.7	98.7	99.26	98.69	98.96	98.87	99.71	98.55	98.85			
Mineral	Kalkopirit															
	13															
Örnek no	13-64	13-65-1	13-66-2	13-67-3	13-68-4	13-69-5	13-70-6									
Analiz noktası	13-64	13-65-1	13-66-2	13-67-3	13-68-4	13-69-5	13-70-6									
Açıklama	m	merkezden-----kenara					kenara									
S	34.31	34.46	34.43	34.42	34.5	34.34	34.19									
Fe	30.12	30.36	30.62	30.21	30.46	30.17	30.12									
Cu	34.03	34.31	34.28	34.5	34.12	34.27	33.99									
Al	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00									
Si	0.06	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03									
Toplam	98.51	99.16	99.36	99.16	99.1	98.83	98.34									

Ek Tablo 3. Köprüyanı cevherleşmesi piritte ait mineral kimyası analizleri

<b>Mineral</b> Örnek no	<b>Pirit</b> <b>1</b>					
	Analiz noktası	1-25	1-26	1-25	1-26	1-26
Açıklama	k	m	k	m	m	m
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	53.38	53.23	53.02	53.23	52.95	52.95
Fe	46.58	46.01	46.73	46.01	46.03	46.03
Cu	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07
Si	0.03	0.04	0.03	0.04	0.06	0.06
Toplam	100.06	99.33	99.83	99.33	99.11	99.11

Ek Tablo 4. Köprüyanı cevherleşmesi epidota ait mineral kimyası analizleri

Mineral Örnek no	Epidot 5												
	Analiz Noktası	5-01	5-02	5-03	5-04	5-05	5-06	5-07	5-08	5-09	5-10	5-11	5-12
Açıklama	m	k	m	k	m	k	m	k	m	k	m	k	
SiO <sub>2</sub>	37.26	38.21	37.66	38.10	38.04	37.90	37.23	38.05	37.30	37.85	37.70	37.83	
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.08	0.37	0.07	0.38	0.10	0.33	0.13	0.34	0.09	0.36	0.10	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.40	26.66	22.09	24.78	22.51	25.84	22.08	26.14	21.92	26.08	22.27	24.95	
FeO <sup>T</sup>	12.70	9.05	14.15	11.76	14.42	10.43	14.04	9.73	14.44	9.94	13.81	11.55	
MnO	0.44	0.19	0.12	0.20	0.10	0.26	0.10	0.21	0.11	0.24	0.14	0.30	
MgO	0.06	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.04	0.00	
CaO	22.15	23.10	22.53	22.77	23.07	22.92	22.66	23.01	22.74	22.87	22.64	22.69	
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
H <sub>2</sub> O	1.75	1.81	1.74	1.79	1.75	1.79	1.73	1.79	1.73	1.80	1.73	1.78	
F	0.13	0.13	0.15	0.14	0.17	0.15	0.15	0.16	0.15	0.13	0.17	0.13	
Toplam	98.16	99.26	98.83	99.65	100.49	99.41	98.37	99.22	98.76	99.01	98.87	99.36	
Si	2.977	2.986	2.999	2.986	2.983	2.970	2.982	2.981	2.980	2.973	3.000	2.974	
Ti	0.017	0.005	0.022	0.004	0.022	0.006	0.020	0.008	0.020	0.005	0.022	0.006	
Al	2.204	2.455	2.073	2.289	2.080	2.386	2.085	2.413	2.064	2.414	2.089	2.312	
Fe <sup>+3</sup>	0.849	0.591	0.942	0.771	0.946	0.683	0.941	0.637	0.965	0.653	0.919	0.759	
Mn	0.030	0.013	0.008	0.013	0.007	0.017	0.007	0.014	0.007	0.016	0.009	0.020	
Mg	0.007	0.002	0.004	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.004	0.001	0.005	0.000	
Ca	1.896	1.934	1.922	1.912	1.938	1.924	1.945	1.931	1.946	1.925	1.930	1.911	
Na	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Toplam	8.980	8.987	8.971	8.981	8.981	8.989	8.986	8.986	8.986	8.988	8.975	8.985	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12.5 oksijene göre hesaplanmıştır.

Ek Tablo 4. (Devamı)

Mineral Örnek no Analiz noktası	Epidot 5									
	5-13-1	5-14-2	5-15-3	5-16-4	5-17-5	5-20-2	5-21-3	5-22-4	5-23-5	5-24 6
Açıklama	merkezden-----kenara					merkezden-----kenara				
SiO <sub>2</sub>	37.56	37.73	37.72	37.75	37.83	37.82	37.88	37.42	38.13	38.18
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.38	0.38	0.04	0.03	0.19	0.10	0.08	0.08	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.25	22.06	22.11	24.27	24.98	23.80	23.86	23.26	24.13	25.87
FeO	13.94	14.13	14.29	12.24	11.27	12.45	12.67	13.45	12.32	10.00
MnO	0.13	0.09	0.07	0.14	0.11	0.23	0.16	0.14	0.06	0.14
MgO	0.04	0.05	0.06	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	-0.01	0.00
CaO	22.55	22.66	22.50	22.82	22.96	22.72	22.68	22.72	22.84	23.14
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O	1.74	1.75	1.73	1.77	1.78	1.78	1.78	1.76	1.78	1.82
F	0.14	0.12	0.17	0.14	0.14	0.11	0.11	0.13	0.14	0.10
Toplam	98.70	98.99	99.02	99.18	99.11	99.17	99.27	98.99	99.48	99.31
Si	2.995	3.000	2.998	2.979	2.979	2.987	2.988	2.971	2.998	2.990
Ti	0.020	0.023	0.023	0.002	0.002	0.011	0.006	0.005	0.005	0.004
Al	2.091	2.068	2.071	2.257	2.318	2.215	2.218	2.176	2.236	2.387
Fe <sup>+3</sup>	0.929	0.940	0.950	0.808	0.742	0.822	0.836	0.893	0.810	0.655
Mn	0.009	0.006	0.005	0.009	0.007	0.015	0.011	0.009	0.004	0.009
Mg	0.005	0.006	0.007	0.002	0.002	0.008	0.002	0.002	-0.001	0.000
Ca	1.926	1.931	1.916	1.929	1.937	1.923	1.917	1.932	1.924	1.941
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Toplam	8.975	8.973	8.969	8.987	8.989	8.983	8.979	8.992	8.975	8.986

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12.5 oksijene göre hesaplanmıştır.



Ek Tablo 4. (Devamı)

Mineral Örnek No Analiz noktası	Epidot 5								
	5-25	5-26	5-36 1	5-37 2	5-38 3	5-39 4	5-40-5	5-41-6	
Açıklama	k	m	Merkezden-----					-----kenara	
SiO <sub>2</sub>	37.64	38.23	38.54	37.71	37.55	36.22	37.51	37.75	
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.21	0.51	0.25	0.11	0.09	0.13	0.10	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.96	25.15	22.74	23.19	22.87	22.21	21.92	24.01	
FeO	14.08	11.10	13.34	13.16	14.03	12.58	12.52	12.01	
MnO	0.10	0.19	0.12	0.22	0.30	0.13	0.18	0.13	
MgO	0.08	0.01	0.04	0.05	0.04	0.05	0.79	0.02	
CaO	22.66	22.92	22.27	22.43	22.20	23.76	22.61	22.65	
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.27	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
H <sub>2</sub> O	1.74	1.80	1.76	1.74	1.72	1.61	1.69	1.76	
F	0.15	0.12	0.16	0.17	0.19	0.33	0.23	0.13	
Toplam	98.95	99.75	99.75	98.92	99.02	96.98	97.61	98.55	
Si	2.996	2.988	3.029	2.991	2.982	2.954	3.020	2.995	
Ti	0.031	0.012	0.030	0.015	0.007	0.006	0.008	0.006	
Al	2.060	2.317	2.106	2.168	2.141	2.135	2.080	2.245	
Fe <sup>+3</sup>	0.937	0.726	0.877	0.873	0.932	0.858	0.843	0.797	
Mn	0.007	0.013	0.008	0.015	0.020	0.009	0.012	0.009	
Mg	0.009	0.001	0.005	0.006	0.005	0.006	0.095	0.002	
Ca	1.932	1.920	1.875	1.906	1.889	2.076	1.950	1.925	
Na	0.003	0.002	0.041	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Toplam	8.976	8.979	8.970	8.974	8.975	9.044	9.013	8.979	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12.5 oksijene göre hesaplanmıştır.

Ek Tablo5. Köprüyanı cevherleşmesi granata ait mineral kimyası analizleri

Mineral Örnek no Analiz noktası	Granat 1									
	1-01-1	1-02-2	1-03-3	1-04-4	1-05-5	1-06-6	1-07	1-08	1-09	1-12
Açıklama	Merkezden-----					kenara				
SiO <sub>2</sub>	34.68	34.57	34.76	35.87	35.38	35.08	35.4	36.63	35.77	35.13
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.02	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92	0.06	0.2	0.34	0.60	1.43	0.74	7.89	4.08	0.43
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.88	31.67	31.87	32.5	31.41	29.84	30.84	21.48	27.39	31.28
MnO	0.75	0.68	0.72	0.75	0.77	0.76	0.46	0.9	0.63	0.61
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02
CaO	32.18	32.08	31.93	32.68	31.87	32.16	32.04	33.06	32.3	32.13
F	0.4	0.42	0.36	0.29	0.29	0.27	0.25	0.43	0.41	0.26
Toplam	99.8	99.51	99.85	102.47	100.36	99.55	99.76	100.41	100.61	99.89
Si	2.87	2.88	2.88	2.89	2.91	2.90	2.92	2.93	2.90	2.90
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.09	0.01	0.02	0.03	0.06	0.14	0.07	0.74	0.39	0.04
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	2.17	2.24	2.21	2.18	2.12	2.06	2.08	1.40	1.81	2.15
Fe <sup>2+</sup>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.05	0.04	0.05	0.01
Mn	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.06	0.04	0.04
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.85	2.86	2.84	2.83	2.81	2.85	2.84	2.83	2.81	2.85
Toplam	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Almandine	0	0	0	1	1	0	2	1	2	0
Spessartine	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
Pyrope	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0
Grossular	4	0	1	1	3	6.	3	33	17	2

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12 oksijene göre hesaplanmıştır. m = merkez, k = kenar

Ek Tablo 5. (Devamı)

Mineral Örnek no Analiz noktası	Granat 1														
	1-13	1-14	1-15	1-16	1-17	1-18	1-19	1-20	1-27-1	1-28-2	1-29-3	1-30-4	1-31-5	1-32-6	
Açıklama	m	m	m	k	m	m	k	m	Merkezden-----						kenara
SiO <sub>2</sub>	36.26	35.45	35.3	35.23	36.21	35.92	35.06	35.24	34.76	34.73	34.63	34.75	35.01	35.04	
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.01	0.02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.43	3.01	0.14	0.55	6.03	3.74	4.48	4.53	0.32	0.10	0.15	0.28	1.1	0.88	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.21	27.67	31.98	31.08	23.95	27.08	25.79	25.77	31.32	31.61	31.47	31.32	30.24	30.46	
MnO	0.86	0.78	0.64	0.61	0.8	0.79	0.92	0.72	0.7	0.73	0.7	0.71	0.6	0.64	
MgO	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	
CaO	32.87	32.17	31.87	32.01	32.55	32.15	32.3	32.74	31.77	31.66	31.65	31.45	31.97	31.9	
F	0.31	0.34	0.24	0.29	0.31	0.32	0.62	0.33	0.36	0.33	0.32	0.32	0.34	0.34	
Toplam	99.97	99.43	100.2	99.8	99.89	100.01	99.21	99.35	99.25	99.19	98.91	98.86	99.3	99.29	
Si	2.92	2.91	2.91	2.91	2.93	2.93	2.88	2.88	2.90	2.90	2.90	2.91	2.91	2.91	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	0.61	0.29	0.01	0.05	0.57	0.36	0.43	0.44	0.03	0.01	0.01	0.03	0.11	0.09	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe <sup>3+</sup>	1.54	1.88	2.16	2.12	1.57	1.78	1.80	1.80	2.17	2.19	2.19	2.15	2.08	2.09	
Fe <sup>2+</sup>	0.03	0.02	0.05	0.03	0.05	0.07	-0.03	-0.04	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	
Mn	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ca	2.84	2.83	2.82	2.84	2.82	2.81	2.84	2.87	2.84	2.83	2.84	2.82	2.84	2.84	
Toplam	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Almandine	1	1	2	1	2	2	0	0	0	1	0	1	1	1	
Spessartine	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	
Pyrope	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Grossular	27	13	0	3	26	16	19	19	2	0	1	1	5	4	
Andradite	70	84	96	95	70	80	79	80	96	97	97	96	93	93	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12 oksijene göre hesaplanmıştır. m = merkez, k = kenar

Ek Tablo 5. (Devamı)

Mineral Örnek no Analiz noktası	Granat 1								
	1-36	1-37	1-38	1-43-1	1-44-2	1-45-3	1-46-4	1-47-5	1-48-6
Açıklama	k	m	m	merkezden-----					kenara
SiO <sub>2</sub>	34.94	35.03	35.56	35.09	34.84	34.76	34.64	34.8	35.49
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.17	0.27	2.13	0.16	0.46	0.35	0.5	0.93	3.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.94	31.51	29.04	31.48	31.45	31.72	31.19	30.63	28.1
MnO	0.72	0.64	0.71	0.61	0.79	0.71	0.7	0.7	0.79
MgO	0.02	0.01	0.00	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01
CaO	31.82	31.81	31.91	31.99	31.74	31.59	31.8	31.72	32.13
F	0.32	0.28	0.27	0.27	0.35	0.32	0.32	0.3	0.31
Toplam	99.94	99.57	99.64	99.68	99.69	99.46	99.2	99.11	99.9
Si	2.89	2.91	2.93	2.91	2.89	2.89	2.89	2.90	2.91
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.02	0.03	0.21	0.02	0.04	0.03	0.05	0.09	0.29
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	2.19	2.15	1.94	2.16	2.17	2.18	2.18	2.11	1.89
Fe <sup>2+</sup>	0.02	0.03	0.06	0.02	0.01	0.03	0.00	0.02	0.03
Mn	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
Mg	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.82	2.83	2.82	2.84	2.82	2.82	2.84	2.83	2.82
Toplam	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Almandine	1	1	2	0	0	1	0	1	1
Spessartine	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pyrope	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grossular	1	1	9	1	2	1	2	4	13
Andradite	96	96	87	97	96	96	96	93	84

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12 oksijene göre hesaplanmıştır. m = merkez, k = kenar

Ek Tablo 5. (Devamı)

Mineral Örnek no Analiz noktası	Granat										
	1		13								
	1-49	1-50	13-11	13-12	13-13	13-14	13-15	13-16	13-17	13-18	13-19
Açıklama	k	m	m	m	m	k	m	k	m	m	m
SiO <sub>2</sub>	35.84	34.58	36.1	35.08	35.38	35.33	35.37	35.84	35.24	34.9	36.13
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.04	0.17	0.02	0.01	0.02	0.01	0.11	0.03	0.01	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.72	1.30	9.83	0.5	0.16	0.5	0.19	10.3	0.46	0.11	10.34
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.59	30.86	18.25	31.05	31.79	30.96	31.85	17.84	31.1	32.49	17.91
MnO	0.88	0.84	0.79	1.05	1.34	0.96	1.34	0.82	1.05	1.43	0.80
MgO	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO	32.59	31.66	33.89	31.48	30.74	31.58	30.65	33.62	31.45	30.74	33.89
F	0.48	0.26	0.63	0.24	0.15	0.25	0.16	0.64	0.26	0.18	0.59
Toplam	99.17	99.55	99.68	99.43	99.59	99.61	99.59	99.19	99.61	99.85	99.87
Si	2.91	2.86	2.89	2.91	2.94	2.93	2.94	2.88	2.92	2.90	2.88
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Al	0.64	0.13	0.93	0.05	0.02	0.05	0.02	0.97	0.04	0.01	0.97
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	1.52	2.14	1.28	2.12	2.10	2.09	2.10	1.26	2.10	2.19	1.25
Fe <sup>2+</sup>	0.02	0.00	0.00	0.04	0.11	0.06	0.11	0.00	0.05	0.06	0.00
Mn	0.06	0.06	0.05	0.07	0.09	0.07	0.09	0.06	0.07	0.10	0.05
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.84	2.81	2.90	2.80	2.74	2.81	2.73	2.89	2.80	2.73	2.89
Toplam	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Almandine	1	0	0	1	3	2	4	0	2	2	0
Spessartine	2	2	0	2	3	2	3	2	2	4	2
Pyrope	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Grossular	29	5	42	2	1	2	0	43	2	0	42
Andradite	68	93	58	95	93	94	93	55	94	94	56

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12 oksijene göre hesaplanmıştır. m = merkez, k = kenar

Ek Tablo 5. (Devamı)

Mineral	Granat						
	Örnek no	13					
Analiz noktası	13-20	13-21	13-71	13-72	13-73	13-74	13-75
Açıklama	m	m	m	m	m	m	m
SiO <sub>2</sub>	34.94	34.74	36.48	34.78	35.00	36.31	34.78
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.01	0.17	0.02	0.01	0.33	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.19	10.47	0.18	0.29	9.97	0.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.04	32.58	17.86	32.01	32.24	18.4	31.95
MnO	1.08	1.38	0.86	0.74	0.97	0.82	0.87
MgO	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
CaO	31.42	30.82	33.58	31.65	31.3	33.7	31.76
F	0.2	0.19	0.51	0.32	0.28	0.6	0.26
Toplam	100.07	99.92	99.95	99.74	100.09	100.13	100
Si	2.89	2.88	2.90	2.89	2.90	2.89	2.88
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
Al	0.04	0.02	0.98	0.02	0.03	0.94	0.04
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	2.18	2.22	1.20	2.20	2.18	1.24	2.21
Fe <sup>2+</sup>	0.03	0.04	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00
Mn	0.08	0.10	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.78	2.74	2.86	2.82	2.78	2.87	2.81
Toplam	8	8	8	8	8	8	8
Almandine	1	2	0	0	2	0	0
Spessartine	3	3	2	2	2	2	2
Pyrope	0	0	0	0	0	0	0
Grossular	1	1	44	1	1	42	2
Andradite	96	94	54	97	95	56	96

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 12 oksijene göre hesaplanmıştır. m = merkez, k = kenar



## Classification of skin cancer using VGGNet model structures

### *VGGNet model yapıları kullanılarak cilt kanserinin sınıflandırılması*

Volkan KAYA \*<sup>1</sup> , İsmail AKGÜL <sup>1</sup> 

\*<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, 24100, Erzincan

• Received: 08.02.2022

• Accepted: 08.12.2022

#### Abstract

Skin cancer is one of the most common type of cancer in humans. This type of cancer is produced by skin cells called melanocytes and occurs as a result of division and multiplication of the mentioned cells. The most important symptom of skin cancer is the formation of spots on the skin or the observation of changes in the shape, color, or size of the existing spot. It is necessary to consult a specialist to distinguish the difference between a normal spot and skin cancer. Expert physicians examine and follow up the spots on the skin using skin surface microscopy, called dermatoscopy, or take a sample from the suspicious area and request it to be examined in laboratory environment. This situation increases the cost of the procedure for the diagnosis of skin cancer and also causes it to be treated at a later stage. Therefore, there is a need for a method that can detect skin cancer early. Thanks to machine learning, become popular in recent years, many diseases can be diagnosed with software that helps expert physicians. In this study, VGGNet model structures (VGG-11, VGG-13, VGG-16, VGG-19) that quickly classify skin cancer and become a traditional convolutional neural network architecture using deep learning method, a subfield of machine learning, were used. It has been observed that the VGG-11 architecture, which is one of the VGGNet model structures, detects skin cancer with superior success accuracy (83%) compared to other model structures.

**Keywords:** Deep learning, Machine learning, Skin cancer classification, VGGNet

#### Öz

*Cilt kanseri insanlarda en sık rastlanan kanser türlerinden birisidir. Bu kanser türü melanosit denilen cilt hücreleri tarafından üretilmekte ve bu hücrelerin bölünüp çoğalması sonucunda meydana gelmektedir. Cilt kanserinin en önemli belirtisi deri üzerinde leke oluşması veya var olan lekenin şeklinde, renginde veya büyüklüğündeki değişikliklerin gözlenmesidir. Normal bir leke ile cilt kanserinin farkını ayırt etmek için uzman bir hekime başvurmak gereklidir. Uzman hekimler dermatoskopi olarak adlandırılan deri yüzeyi mikroskopisi kullanarak deri üzerindeki lekeleri incelerler ve takip altına alırlar veya şüpheli gördüğü bölgeden parça örneği alarak laboratuvar ortamında incelenmesini isterler. Bu durum cilt kanseri teşhisinin yapılabilmesi için hem işlem maliyetini artırmakta hem de daha geç evrede tedavi edilmesine yol açmaktadır. Bundan dolayı cilt kanserini erken teşhis edebilen bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda popüler olan makine öğrenmesi sayesinde uzman hekimlere yardımcı olan bir yazılım ile birçok hastalık tanısı konulabilmektedir. Bu çalışmada makine öğrenmesinin bir alt alanı olan derin öğrenme yöntemi kullanılarak cilt kanserini hızlı bir şekilde sınıflandıran ve geleneksel bir evrimsel sinir ağı mimarisi haline gelen VGGNet model yapıları (VGG-11, VGG-13, VGG-16, VGG-19) kullanılmıştır. VGGNet model yapılarından biri olan VGG-11 mimarisi diğer model yapılarına göre cilt kanserini daha üstün başarı doğruluğunda (%83) tespit ettiği gözlemlenmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Derin öğrenme, Makine öğrenmesi, Cilt kanseri sınıflandırma, VGGNet

\* Volkan KAYA; vkaya@erzincan.edu.tr

## 1. Introduction

Cancer is a type of disease that develops when an organ or tissue cell divides and multiplies spontaneously and can spread beyond the region where it is located (Akyel & Arıcı, 2020). There are more than 100 types of cancer worldwide. Cancer types usually get their names from the tissue or organ where the cancers originate.

Skin cancer is one of the most common and deadly cancer types worldwide (Dildar et al., 2021; Hosny et al., 2018; Göreke, 2021). In this type of cancer, the color pigments called melanin, which gives the skin its color, are produced by skin cells called melanocytes. Skin cancer is defined as melanoma that occurs when these cells divide and multiply uncontrollably (Göreke, 2021). The most important symptom of melanoma is the formation of spots on the skin or the observation of changes in the shape, color, or size of the existing spot (Saba, 2021). Since skin cancer usually starts on the skin surface, it is a type of cancer that has a high chance of being diagnosed at an early stage (Ergün & Kılıç, 2021). Skin cancer can occur on the normal skin surface without warning, or it can develop on a pre-existing mole. For this, it is necessary to define the location and appearance of moles in the body well. Therefore, in order to identify skin cancer early, a person should regularly check his or her own skin at regular intervals (Kadampur & Al Riyae, 2020). Not every mole formed in various parts of the body is harmful. However, over time, causes such as distorted asymmetrical appearance, growth, color change, inflammation, redness, or bleeding seen in moles can cause skin cancer. Therefore, melanoma moles should not be confused with other typical moles. Therefore, it is necessary to consult a specialist physician to distinguish the difference between a normal spot and skin cancer.

The specialist physician first visually examines the suspicious skin area (Nawaz et al., 2021). Since some types of skin tissue disorders are similar, it is very important to make an accurate diagnosis (Demir, 2021). Therefore, specialist physicians examine and follow up the spots on the skin using skin surface microscopy, called dermatoscopy, or take a sample from the suspicious area and ask them to be examined in the laboratory environment (Manasa & Murthy, 2021). This situation both increases the cost of the procedure for the diagnosis of skin cancer and causes it to be treated at a later stage. Therefore, disease recognition and detection from spots on the skin is generally an image classification process (Yıldız, 2019). In recent years, deep learning methods, a sub-field of machine learning, which has excelled in problems such as disease recognition and detection, have achieved successful results by using big data (Manne et al., 2020; Dildar et al., 2021; Thomas et al., 2021). Deep learning basically uses software that responds faster and more accurately than humans to classify more complex structures by analyzing the raw data given to it as input (Kaya et al., 2021a and b). Therefore, deep learning methods have gained importance in detecting the type of skin cancer (Dascalu & David, 2019).

The subject of this study is Few-Shot Learning for Dermatological Conditions and Examination of Skin Analysis from Multi-Modal Data Sources Algorithms to Mitigate Class Imbalance. Therefore, in this study, VGG-11, VGG-13, VGG-16, and VGG-19 model structures, which have become a traditional convolutional neural network architecture and are also known as VGGNet, were compared to determine the type of skin cancer. For the training of these models, a dataset containing 1000 benign and 1000 malignant skin cancer types was used, and it was seen that the VGG-11 model had superior performance compared to other model structures.

The remainder of the work is organized as follows. In section 2, recent studies on the detection of skin cancer types are presented. In section 3, information about the materials and methods related to the study is given. In section 4, the experimental results of the study are shown. Finally, in section 5, conclusions and future work are given.

## 2. Related works

In the literature, deep learning models have been frequently used in the classification of skin cancer images. In a study of skin cancer classification using deep learning and transfer learning, an automated skin lesion classification using a pre-trained deep learning network is proposed. In the proposed method, melanoma, common nevus and atypical nevus a typical skin cancer type were classified with 98.61% success accuracy, 98.33% sensitivity, 98.93% specificity and 97.73% precision (Hosny et al., 2018).

In the study of detection and classification of skin cancer using transfer learning, a new learning-oriented internet of health and things (IoHT) framework is proposed. With this proposed framework, features are

automatically extracted from images using pre-trained VGG-19, Inception-V3, ResNet-50, and SqueezeNet architectures. The proposed framework achieved higher success accuracy (99.60%) in skin lesion classification compared to pre-trained architectures (Inception V3 92.30%, VGG19 94.35%, SqueezeNet 95.70%, ResNet50 97.15%) (Khamparia et al., 2021).

In another study, ResNet-101 and Inception-V3 deep learning architectures were used to detect skin cancer with high accuracy. According to the classification results, an accuracy rate of 84.09% was obtained with the Resnet-101 architecture and 87.42% with the Inception-V3 architecture (Demir et al., 2019). In a region-of-interest-based study for skin cancer detection, a new system is proposed to identify and differentiate melanoma with nevus cancer using a transfer learning approach. Since only images containing melanoma cells were needed to train the proposed system, the K-means algorithm was used to extract ROIs from images. In addition, DermIS and DermQuest datasets were used in the proposed system training and success accuracy of 97.9% and 97.4% were obtained, respectively (Ashraf et al., 2020). In the skin cancer classification model based on VGG-19 and transfer learning, model training and test accuracy were obtained by using the Human Against Machine dataset at a rate of 98.50% and 97.50%, respectively. Also, the model training and test loss were obtained as 0.009 and 0.119, respectively (Abuared et al., 2020).

In an advanced skin cancer classification technique study using a deep convolutional neural network (DCNN) with transfer learning models, a new model is proposed to accurately classify benign and malignant skin lesions. AlexNet, ResNet, VGG-16, DenseNet, and MobileNet architectures were compared on the same dataset to evaluate the performance of the proposed model. As a result of the comparison, the proposed model achieved a more successful training accuracy rate (93.16%) and a test accuracy rate (91.93%) compared to other existing models (Ali et al., 2021). In another study, a classification model was developed for pigmented skin lesions using deep learning. For this model training, datasets belonging to six classes consisting of malignant tumors (malignant melanoma and basal cell carcinoma) and benign tumors (nevus, seborrheic keratosis, senile lentigo, and hematoma/hemangioma) were used. This dataset has been trained and tested with a faster region-based convolutional neural network (FRCNN). As a result of the test, skin lesions belonging to six classes were classified with an accuracy of 86.2% (Jinnai et al., 2020).

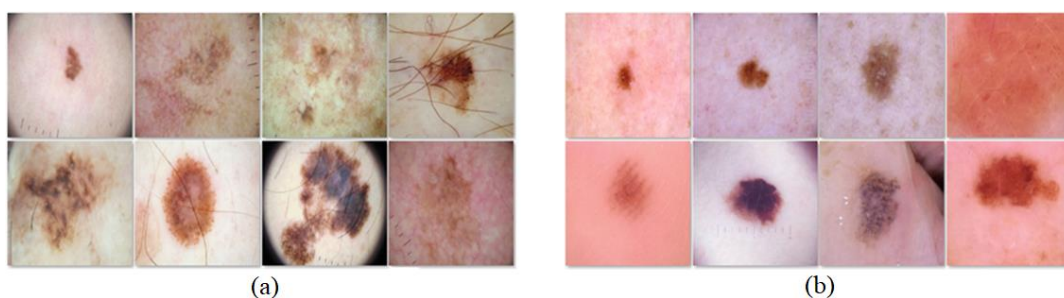
### 3. Material and method

#### 3.1. System configuration

Many studies are required to achieve the best results from deep learning models. In the study, it is important to choose a suitable programming language to reach fast and accurate results from the model structures. In this study, Python programming language was used to apply VGGNet model structures and evaluate the results. In this study, a computer with Intel Core i7-9750H 2.60 GHz processor, 8 GB RAM, and Nvidia GeForce GTX 1650 graphics card with 896 CUDA cores was used to process and evaluate the data of VGGNet model structures and obtain the results.

#### 3.2. Acquisition of image data

In this study, a dataset containing images of benign skin cancers and malignant skin cancers was used (Kaggle, 2021). In this dataset, 1800 benign skin cancer images with 224x224 pixel size and 1497 malignant skin cancer images are in RGB color format. A total of 3297 skin images are divided into training (80%), and test (20%) datasets. The images of both skin cancers in the dataset are given in Figure 1.

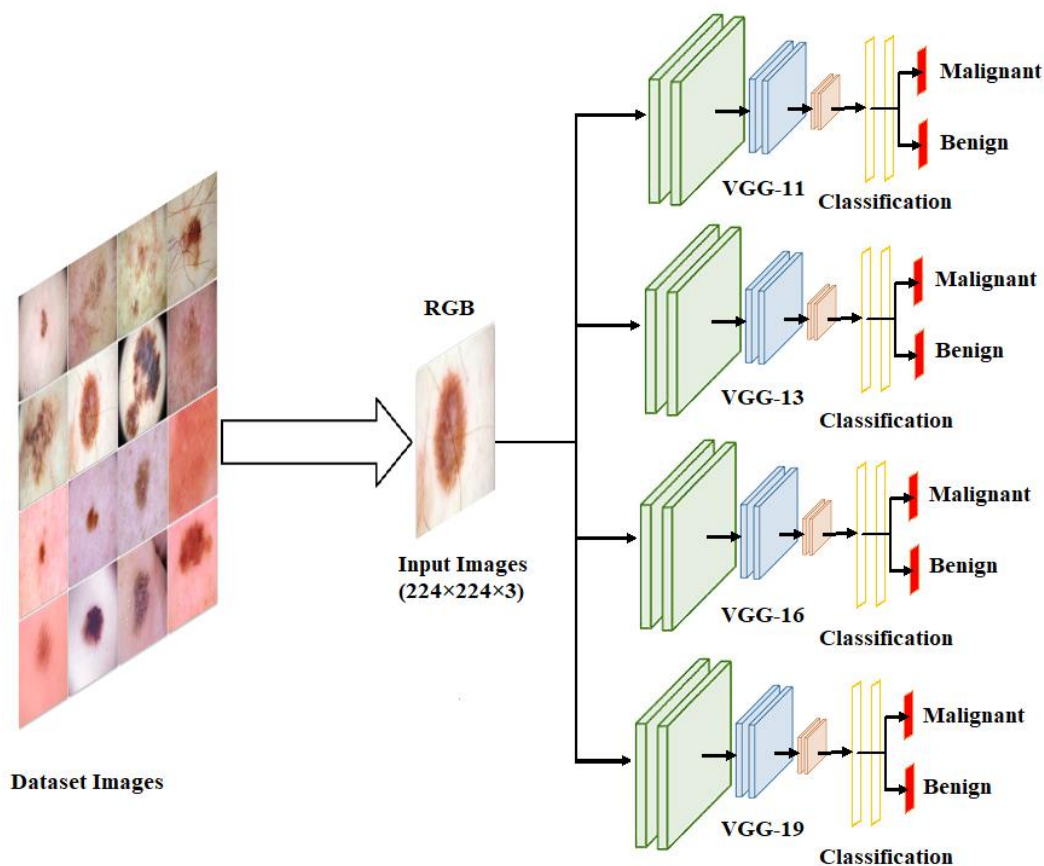


**Figure 1.** Skin cancer dataset images (a) malignant (b) benign

### 3.3. VGGNet model structures

Convolutional neural networks, one of the deep learning algorithms that are frequently used in recent years, have shown outstanding success in areas such as image classification and object recognition. Convolutional neural networks are a neural network structure that mimics the learning structure of the human brain. This neural network is a deep learning algorithm that can separate various objects in the image by taking any input image (Albawi et al., 2017). A convolutional neural network algorithm is often preferred to solve complex problems in different deep learning models and to reduce the number of parameters in neural networks. Convolutional neural networks basically consist of input, convolution, pooling, fully connected, and output layers. Thanks to these layers, the learning of the neural network takes place (Li et al., 2018; Pathak et al., 2018).

In this study, VGG-11, VGG-13, VGG-16, and VGG-19 models from VGGNet model structures, which have become a traditional convolutional neural network architecture, were used. VGGNet model diagram is given in Figure 2 and VGGNet model configuration is given in Table 1.



**Figure 2.** VGGNet model diagram

VGGNet is a standard convolutional neural network architecture with multi-layer GPU support (Kaya et al., 2020). VGGNet architecture forms the basis of object recognition models. The VGGNet architecture takes an input image in RGB color format with a size of 224×224 pixels during the training and a 3×3 filter is used in each convolution layer. Also, after each convolution block, the data size is reduced from input to output by using a 2-step pooling layer with a pixel size of 2×2 (Simonyan & Zisserman, 2014).

### 3.4. Training and testing

A 2-class dataset consisting of benign and malignant skin cancer types was used for training and testing the VGGNet model structures discussed in the study. Out of a total of 3297 skin cancer images in the data set, 2637 are used for model training and 660 are used for model tests. In addition, 20 epochs, 64 mini-batch sizes,

Adamax for optimization algorithm, and ReLU parameters as activation function were used for training the model structures used in the study.

**Table 1.** VGGNet configuration (Simonyan & Zisserman, 2014)

VGG-11	VGG-13	VGG-16	VGG-19
	Input (224×224 RGB image)		
Conv3-64	Conv3-64	Conv3-64	Conv3-64
	Conv3-64	Conv3-64	Conv3-64
		maxpool	
Conv3-128	Conv3-128	Conv3-128	Conv3-128
	Conv3-128	Conv3-128	Conv3-128
		maxpool	
Conv3-256	Conv3-256	Conv3-256	Conv3-256
Conv3-256	Conv3-256	Conv3-256	Conv3-256
		Conv3-256	Conv3-256
		maxpool	
Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512
Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512
		Conv3-512	Conv3-512
		maxpool	
Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512
Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512	Conv3-512
		Conv3-512	Conv3-512
		Conv3-512	Conv3-512
		maxpool	
		FC-4096	
		FC-4096	
		FC-2	
		softmax	

#### 4. Results and discussion

In the study, the classification of skin cancer types was made by running each of the VGGNet model structures separately 5 times. The low model loss value in the classification of skin cancer types means that the model network has learned well. Therefore, each VGGNet model structure was run 5 times and the obtained loss values are given in Table 2. In addition, the model structure with the lowest loss value as a result of the training conducted 5 times was discussed and the performance values of this model's test success accuracy are given in Table 3. In addition, the classification accuracy and loss graphs obtained as a result of the training test of each model with the lowest loss value are given in Figure 3.

**Table 2.** Loss values obtained by running VGGNet model structures 5 times

Models	Model Training 1	Model Training 2	Model Training 3	Model Training 4	Model Training 5
VGG-11	0.7283	0.6093	0.4885	0.4879	<b>0.4524</b>
VGG-13	0.5939	0.5309	0.6191	0.4894	<b>0.4293</b>
VGG-16	0.4048	0.3935	<b>0.3931</b>	0.4243	0.4068
VGG-19	<b>0.3670</b>	0.4059	0.4274	0.4102	0.3690

When the results given in Table 3 are examined, it is seen that the highest test success accuracy (83%) in skin cancer type classification is obtained with VGG-11. In addition, when the graphs given in Figure 3a are examined, it is seen that the test result of the VGG-11 model structure is better than the other models. However, it is seen that VGG-13 achieved 82%, VGG-16 81%, and VGG-19 81% success accuracy. According to the results obtained, it is seen that the models with less number of layers learn better. Therefore, the reason why the model with fewer layers learns better is that the skin cancer dataset used in the study is two-class and

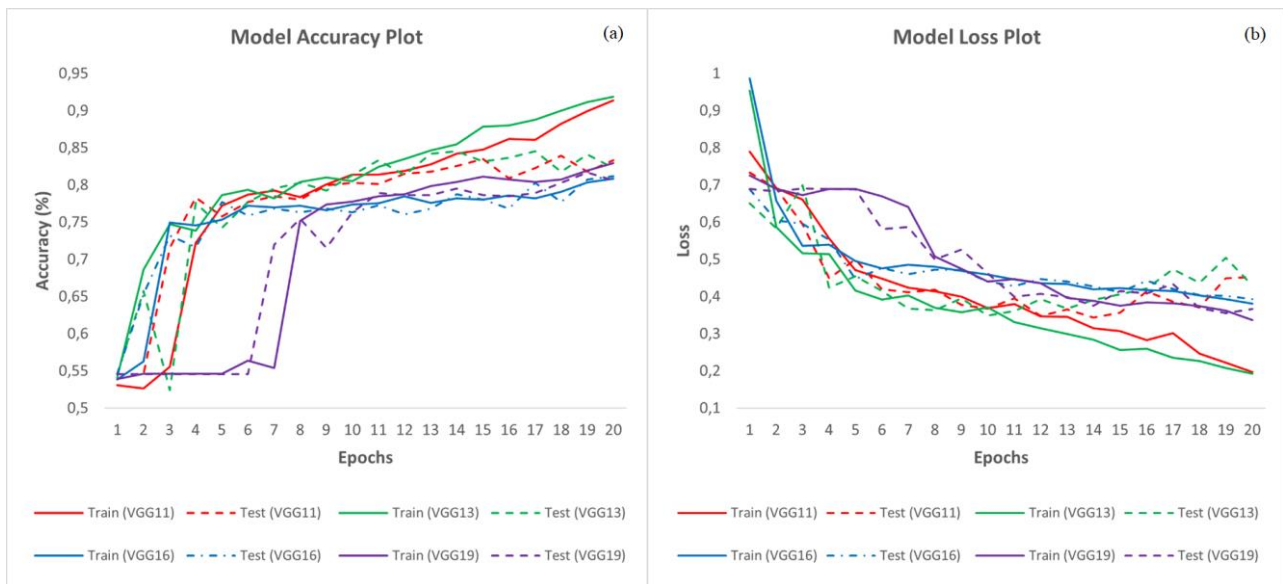


accordingly the images are very different from each other. This suggests that a less layered model may be preferred depending on the number of classes in the dataset and the distinguishability of the images.

In addition, the performance of the model with the lowest loss value among the VGGNet model structures discussed in the study was tested and the confusion matrix given in Table 4 was obtained.

**Table 3.** Performance results of the model for the lowest loss value obtained as a result of the training made 5 times

Models	Class	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy	Loss
VGG-11 (Model Training 5)	Benign	0.86	0.84	0.85	0.83	0.45
	Malignant	0.81	0.83	0.82		
VGG-13 (Model Training 5)	Benign	0.85	0.82	0.83	0.82	0.43
	Malignant	0.79	0.82	0.81		
VGG-16 (Model Training 3)	Benign	0.81	0.86	0.83	0.81	0.39
	Malignant	0.82	0.75	0.78		
VGG-19 (Model Training 1)	Benign	0.81	0.85	0.83	0.81	0.37
	Malignant	0.81	0.75	0.78		



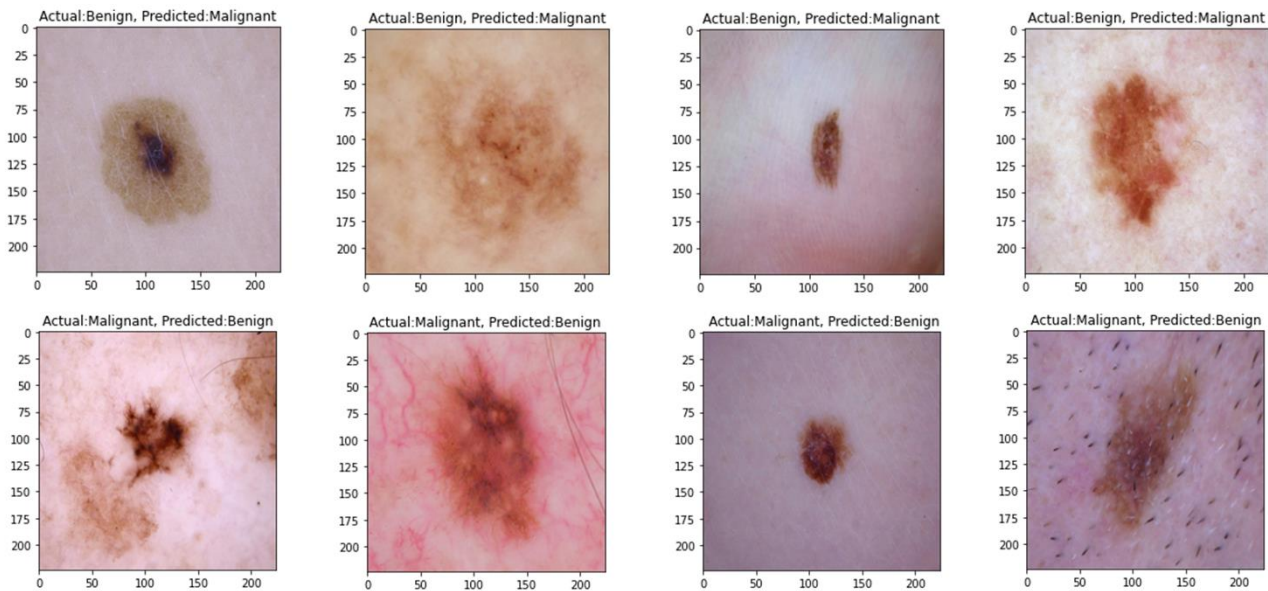
**Figure 3.** VGGNet model (a) training test accuracy and (b) loss graph

**Table 4.** Confusion matrix values of VGGNet model structures

Models	Benign		Malignant	
	True Positive	False Negative	True Negative	False Positive
VGG-11 (Model Training 5)	301	59	249	51
VGG-13 (Model Training 5)	296	64	247	53
VGG-16 (Model Training 3)	311	49	225	75
VGG-19 (Model Training 1)	306	54	226	74

When Table 4 is examined; it is seen that benign and malignant skin cancer types are classified with VGG-11 83.33%, VGG-13 82.27%, VGG-16 81.21%, and VGG-19 80.61% success accuracy. According to the results obtained from the VGGNet model structures; It is seen that the number of layers used in the VGG-11 model structure is more suitable for determining the type of skin cancer and has a higher classification performance than other models. However, it is seen that the VGG-19 model structure has the most unsuccessful classification performance in total, with 54 misclassifications in the benign class and 74 misclassifications in the malignant class. Example images of misclassifications obtained with the VGG-19 model are shown in Figure 4.





**Figure 4.** Example images of misclassifications obtained with the VGG-19 model

The skin cancer dataset (Kaggle, 2021) used in the study was used in different studies in the literature and the results of the success rates obtained are given in Table 5 comparatively.

**Table 5.** Comparison of studies using the same dataset as the proposed study

References	Model	Accuracy (%)
Agarwal & Singh (2022)	DenseNet201, ResNet50, XceptionNet, MobileNet	86.57
Hasan et al. (2021)	SVM, VGG16, ResNet50, Sequential	93.18
Tumpa & Kabir (2021)	ABCD + GLCM + LBP	97.70
Toğaçar et al. (2021)	MobileNetV2 & Autoencoder & SNN	95.27
Shorfuzzaman (2021).	Stacked model	95.76
Soylu & Rukiye (2021)	DarkNet-19, DarkNet-53, ShuffleNet, SqueezeNet	89.89
Proposed method	VGG-11, VGG-13, VGG-16, VGG-19	83.00

## 5. Conclusions

In this study, VGGNet model structures that classify skin cancer types and become a traditional architecture were used. These model constructs were trained and tested using a dataset of 3297 skin cancer images. According to the training and test results, the best classification success accuracy was obtained with the VGG-11 model structure, with 83% and 0.45 loss rates. The model structure with the lowest classification success accuracy was 81% with VGG-19 and the loss rate was 0.37.

As a result, the VGGNet model structures compared in the study showed good success in classifying the skin cancer type. The applicability of VGGNet model structures in classifying skin cancer types in the field of health increases the importance of the study and is expected to contribute to studies that classify and locate skin cancer types in real-time in future studies. In the future, classification studies can be performed with datasets containing multiple classifications (Actinic keratosis, basal cell carcinoma, dermatofibroma, melanoma, etc.) for skin cancer.

### Author contribution

The authors' contribution rates in the study are equal.

### Declaration of ethical code

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

## Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Abuared, N., Panthakkan, A., Al-Saad, M., Amin, S. A., & Mansoor, W. (2020). Skin cancer classification model based on VGG 19 and transfer learning. *In 2020 3rd International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS)* (pp. 1-4), Dubai. <https://doi.org/10.1109/ICSPIS51252.2020.9340143>
- Agarwal, K., & Singh, T. (2022). Classification of skin cancer images using convolutional neural networks, *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.00678>
- Akyel, C., & Arıcı, N. (2020). Cilt kanserinde kıl temizliği ve lezyon bölütlemede yeni bir yaklaşım. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 821-828. <https://doi.org/10.2339/politeknik.645395>
- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a convolutional neural network, *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, (pp. 1-6), Antalya. <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186>
- Ali, M. S., Miah, M. S., Haque, J., Rahman, M. M., & Islam, M. K. (2021). An enhanced technique of skin cancer classification using deep convolutional neural network with transfer learning models. *Machine Learning with Applications*, 5, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100036>
- Ashraf, R., Afzal, S., Rehman, A. U., Gul, S., Baber, J., Bakhtyar, M., Mehmood, I., Song, O. Y., & Maqsood, M. (2020). Region-of-Interest based transfer learning assisted framework for skin cancer detection. *IEEE Access*, 8, 147858-147871. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014701>
- Dascalu, A., & David, E. O. (2019). Skin cancer detection by deep learning and sound analysis algorithms: A prospective clinical study of an elementary dermoscope. *EBioMedicine*, 43, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.04.055>
- Demir, A., Yilmaz, F., & Kose, O. (2019). Early detection of skin cancer using deep learning architectures: resnet-101 and inception-v3. *In 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)* (pp. 1-4), İzmir. <https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO47231.2019.8972045>
- Demir, F. (2021). Derin öğrenme tabanlı yaklaşımla kötü huylu deri kanserinin dermatoskopik görüntülerden saptanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(2), 617-624. <https://doi.org/10.35234/fumbd.900170>
- Dildar, M., Akram, S., Irfan, M., Khan, H. U., Ramzan, M., Mahmood, A. R., Alsaiari, S. A., Saeed, A. H. M., Alraddadi, M. O., & Mahnashi, M. H. (2021). Skin cancer detection: A review using deep learning techniques. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5479. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105479>
- Ergün, E., & Kılıç, K. (2021). Derin öğrenme ile artırılmış görüntü seti üzerinden cilt kanseri tespiti. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 4(4), 192-200. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.938520>
- Göreke, V. (2021). Cilt lezyonlarının sınıflandırılmasında derin öğrenme tabanlı bir yöntem. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 30-36. <https://doi.org/10.46810/tdfd.797683>
- Hasan, M. R., Fatemi, M. I., Monirujjaman Khan, M., Kaur, M., & Zaguia, A. (2021). Comparative analysis of skin cancer (benign vs. malignant) detection using convolutional neural networks. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2021/5895156>
- Hosny, K. M., Kassem, M. A., & Foad, M. M. (2018). Skin cancer classification using deep learning and transfer learning. *In 2018 9th Cairo International Biomedical Engineering Conference (CIBEC)* (pp. 90-93), Cairo. <https://doi.org/10.1109/CIBEC.2018.8641762>
- Jinnai, S., Yamazaki, N., Hirano, Y., Sugawara, Y., Ohe, Y., & Hamamoto, R. (2020). The development of a skin cancer classification system for pigmented skin lesions using deep learning. *Biomolecules*, 10(8), 1123. <https://doi.org/10.3390/biom10081123>

- Kadampur, M. A., & Al Riyae, S. (2020). Skin cancer detection: Applying a deep learning based model driven architecture in the cloud for classifying dermal cell images. *Informatics in Medicine Unlocked*, 18, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100282>
- Kaggle-Your Home for Data Science. (2021, December 12). <https://www.kaggle.com/fanconic/skin-cancer-malignant-vs-benign>
- Kaya, V., Baran, A., & Tuncer, S. (2021a). Dinamit destekli terör faaliyetlerinin önlenmesi için derin öğrenme temelli güvenlik destek sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 81-85. <https://doi.org/10.31590/ejosat.845467>
- Kaya, V., Tuncer, S., & Baran, A. (2021b). Detection and classification of different weapon types using deep learning. *Applied Sciences*, 11(16), 7535. <https://doi.org/10.3390/app11167535>
- Kaya, V., Tuncer, S., Baran, A. (2020). Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak nesne tanıma. *International Science and Technology Conference (ISTEC)* (pp. 277-287), Lefkoşa.
- Khamparia, A., Singh, P. K., Rani, P., Samanta, D., Khanna, A., & Bhushan, B. (2021). An internet of health things-driven deep learning framework for detection and classification of skin cancer using transfer learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(7), e3963. <https://doi.org/10.1002/ett.3963>
- Li, P., Wang, D., Wang, L., Lu, H. (2018). Deep visual tracking: Review and experimental comparison. *Pattern Recognition*, 76, 323-338. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.11.007>
- Manasa, K., & Murthy, D. G. V. (2021). Skin cancer detection using VGG-16. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 8(1), 1419-1426.
- Manne, R., Kantheti, S., & Kantheti, S. (2020). Classification of skin cancer using deep learning, convolutional neural networks-opportunities and vulnerabilities-a systematic review. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 6(11), 101-108. <https://doi.org/10.46501/IJMTST061118>
- Nawaz, M., Mehmood, Z., Nazir, T., Naqvi, R. A., Rehman, A., Iqbal, M., & Saba, T. (2021). Skin cancer detection from dermoscopic images using deep learning and fuzzy k-means clustering. *Microscopy research and technique*, 85(1), 339-351. <https://doi.org/10.1002/jemt.23908>
- Pathak, A. R., Pandey, M., Rautaray, S. (2018). Application of deep learning for object detection. *Procedia Computer Science*, 132, 1706-1717. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.144>
- Saba, T. (2021). Computer vision for microscopic skin cancer diagnosis using handcrafted and non-handcrafted features. *Microscopy Research and Technique*, 84(6), 1272-1283. <https://doi.org/10.1002/jemt.23686>
- Shorfuzzaman, M. (2021). An explainable stacked ensemble of deep learning models for improved melanoma skin cancer detection. *Multimedia Systems*, 28(4), 1309-1323. <https://doi.org/10.1007/s00530-021-00787-5>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
- Soylu, E., & Demir, R. (2021). Development and comparison of skin cancer diagnosis models. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1217-1221. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1013910>
- Thomas, S. M., Lefevre, J. G., Baxter, G., & Hamilton, N. A. (2021). Interpretable deep learning systems for multi-class segmentation and classification of non-melanoma skin cancer. *Medical Image Analysis*, 68, 101915. <https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101915>
- Toğaçar, M., Cömert, Z., & Ergen, B. (2021). Intelligent skin cancer detection applying autoencoder, MobileNetV2 and spiking neural networks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 144, 110714. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110714>
- Tumpa, P. P., & Kabir, M. A. (2021). An artificial neural network based detection and classification of melanoma skin cancer using hybrid texture features. *Sensors International*, 2, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100128>
- Yıldız, O. (2019). Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4), 2241-2260. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.435217>

## Assessment of harmonic mitigation performance of electric springs with different inverter topologies

*Farklı inverter topolojili elektrikli yayların harmonik azaltma performanslarının değerlendirilmesi*

**Turgay DUMAN\***<sup>1</sup> , **Kadir DOĞANŞAHİN**<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Erzurum Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Erzurum, TURKEY

<sup>2</sup>Artvin Çoruh University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Artvin, TURKEY

• Received: 24.03.2022

• Accepted: 08.12.2022

### Abstract

Electric spring (ES) is a new technology inspired by the idea of realization a system that is equivalent to mechanical springs in terms of functionality within power systems. Electric springs are comprised from a DC voltage source, an inverter and an LC filter at the grid side. It can be used effectively in power systems to perform many functions such as voltage regulation, reactive power compensation, demand management and energy storage. On the other hand, due to the semiconductor elements in ES structure, it causes distortion on voltage and current waveforms. However, various control approaches have been proposed in the literature in order to prevent the aforementioned distortions. In this study, three different ESs has been modeled with the inverter topologies chosen from the frequently preferred once used in applications, namely Half-Bridge, Full-Bridge, and Neutral Point Clamped Multi-Level Inverter (NPC-MLI). The disruptive effects of electric springs with different inverter topologies on the grid and their performance in harmonic elimination have been examined through the results obtained from simulations realized in MATLAB/Simulink®.

**Keywords:** Electric spring, Harmonics, Inverter topologies.

### Öz

*Elektrikli yay (ES), güç sistemlerinde işlevsellik açısından mekanik yaylara eşdeğer bir sistem gerçekleştirme fikrinden esinlenilerek geliştirilmiş yeni bir teknolojidir. Elektrikli yaylar bir DC gerilim kaynağından, bir inverterden ve şebeke tarafında bir LC filtreden oluşur. Güç sistemlerinde voltaj regülasyonu, reaktif güç kompanzasyonu, talep yönetimi ve enerji depolama gibi birçok işlevi yerine getirmek için etkin bir şekilde kullanılabilir. Öte yandan ES yapısındaki yarı iletken elemanlar nedeniyle gerilim ve akım dalga şekillerinde bozulmalara neden olur. Ancak söz konusu bozulmaların önüne geçebilmek için literatürde çeşitli kontrol yaklaşımları önerilmiştir. Bu çalışmada, uygulamalarda sıklıkla tercih edilen evirici topolojileri ile Yarım-Köprü, Tam- Köprü ve Nötr Nokta Kenetlemeli Çok-Seviyeli Inverter (NPC-MLI) olmak üzere üç farklı ES modellenmiştir. MATLAB/Simulink® programında gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla, farklı evirici topolojilerine sahip elektrik yaylarının şebeke üzerindeki bozucu etkileri ve harmonik gidermedeki performansları incelenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli yaylar, Harmonikler, İnverter topolojileri

\* **Turgay DUMAN**; turgay.duman@erzurum.edu.tr

## 1. Introduction

With the increase energy demand and rise of economic and environmental concerns, penetration of renewable energy sources in electrical power systems has enhanced. In addition, on the consumption side, there is a demanding trend in the use of smart systems that allow more efficient use of energy and interact with consumer and various systems. While the intermittent power generation of renewable energy sources cause instability on the generation side, consumption profiles change with the widespread usage of smart systems (Palensky & Dietrich, 2011). Moreover, semiconductor elements within the structure of smart systems cause distortions on voltage and current. All these aforementioned reasons reveal power quality problems in distribution systems where renewable based DG (distributed generation) and smart systems used mostly.

Voltage stability is one of the main power quality concerns experienced in distribution systems. Intermittent nature of renewable energy sources and variable load profiles make difficult to achieve supply-demand balance. Voltage sags and swells are occurred as the result of these unbalances. Systems such as OLTC (On-Load Tap Changer), STATCOM (Static Synchronous Compensator), SVR (Step Voltage Regulator) are widely used in the distribution network to provide voltage regulation (Daratha et al., 2014; Muttaqi et al., 2015; Rao et al., 2000). These voltage regulators operate based on the principle of keeping the output voltage value within the desired range specified by the standards. As one of the state of the art voltage regulation systems, electrical spring (ES) provides voltage regulation support to the system by controlling the input voltage instead of the output voltage, unlike the conventional voltage regulation systems (Shuo et al., 2014). The concept of the electric spring as a new smart grid technology was firstly introduced by Hui et al. (2012). Different topologies for ES have been proposed in the literature. Hardware structures of single-phase and three-phase ESs are presented by Q. Wang, Deng, et al. (2018). Besides voltage regulation, ES has been used for different functions such as frequency control (Q. Wang, Cheng, et al., 2018), three phase balancing (Yan et al., 2015), storage reduction in AC microgrids (M.-H. Wang et al., 2019), demand side management and power quality improvement (Lee et al., 2021) with the addition of energy storage. Different control strategies have been developed to perform these functions. Different control methods and schemes of ES have been reported (Kaymanesh et al., 2021; Liang et al., 2020; Q. Wang, Cheng, et al., 2018; Yang et al., 2018). A detailed review of the DC and AC electric springs has been reported by summarizing the operating principle, circuit topology, application and control methods (M. Wang et al., 2021).

Half bridge and full bridge converter topologies are the most common converters used in ES structure. Besides, there are also studies using multilevel converters such as cascaded H-bridge and NPC topologies as ES converters (Duman, 2021; Pawar et al., 2017; Sundar et al., 2017). The type of converter used in ES may differ in terms of distorting effects on voltage and current waveforms. Gajbhiye et al. (2018) compared the disturbing effects of half bridge, full bridge and NPC type converter topologies on voltage. Electric springs can also be operated to achieve eliminating harmonics in the input voltage while providing voltage regulation (Yan et al., 2017). A control strategy for the elimination of harmonics on input voltage of ES has been proposed by Kanjiya & Khadkikar (2013).

In this study, the distorting effects of half bridge, full bridge and NPC converters used in ES applications on voltage and current waveforms have been investigated. In addition, the control of the ES has been rearranged to eliminate voltage harmonics, beside the voltage regulation function. This control strategy has been applied to three different types of ES converter, namely half bridge, full bridge and NPC-MLI. Since these converters have different numbers of switching elements and different number of levels at the output waveforms, their distorting effects on current and voltage will be different. In order to emphasize these differences, the distortion effects of each converter on voltage and current waveforms and their performances in harmonic elimination have been presented by illustrating the results obtained from MATLAB/Simulink®.

The dynamic switching in the operation of ES during the voltage regulation activity in the power system may cause distortion on the current and voltage waveforms (Shademan et al., 2021). Considering the effect of a single ES on the power system, its distorting effect on the voltage waveform may be quite limited on grid side. However, considering the number of consumers in the distribution network, the cumulative effect of ES is significant and needs to be considered (Zheng et al., 2020). Besides, the effect of current harmonics is important for loads connected to point of common coupling (PCC) with ES. The results presented in this study may guide the decisions on the converter topology to be used in ES applications.

The remaining parts of the study is formed as follows; the next section is on the basic structure, operation principle and control of electric springs. In the third part, the results obtained from the simulation studies on the ESs formed with half bridge, full bridge and MLI NPC are discussed. In the last part, the remarkable findings are mentioned by summarizing this study.

## 2. Basics of electric spring

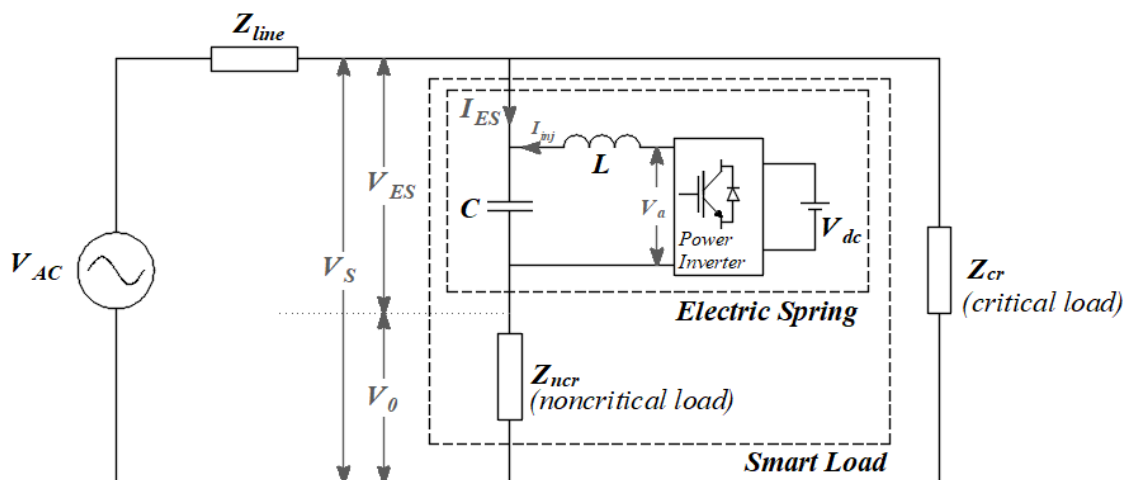
ES is an emerging technology that is connected in parallel to the systems with a serial load to regulate the voltage on the loads connected to PCC. This structure, which is formed by ES and serial load, is known as smart load in the literature. The main feature that distinguishes ES from conventional voltage regulators such as STATCOM, SVR, OLTC is to provide regulation of the input voltage at the point where it is connected and to operate with a serial load (Chaudhuri et al., 2014). Therefore, ES is a promising technology that offers local and decentralized voltage regulation. In this section, the basic structure, working principle and control strategy of ES are given in subheadings.

### 2.1. Electric spring structure

General application of ES in the power system is shown in Figure 1. In the system model, the grid has been modeled by a voltage source and an impedance. The voltage source represents the main bus connection point which is strong as enough to have constant voltage.  $Z_{line}$  is the impedance of the line from the connection point of the smart load to the main bus. The ES basically comprised from a DC input source, a power converter, and an LC output filter. The output current is tuned by controlling the inverter. Thus, the capacitor on the branch takes place in the system as a current-controlled voltage source. The structure formed by ES and a serial load which has low voltage sensitivity and is named as non-critical load, is connected in parallel to the power system. The load that is connected in parallel to the system from PCC is called critical load, and sensitive to voltage changes. Different configurations of ES (ES-1, ES-2, ES-3, ES-4, and DCES) have been mentioned in the literature (Tapia-Tinoco et al., 2020). This study is based on ES configuration with battery on the DC side which is known as ES-2.

### 2.2. Operation principle of electric spring

ES is a power electronics interface that modifies a voltage profile on the capacitor with the purpose of regulating the non-critical load voltage to be compatible with the voltage fluctuations in the system. Therefore, ES and non-critical load provide voltage regulation in a cooperative manner and this formation is called as smart load.



**Figure 1.** Schematic of a basic electric power system with an electric spring

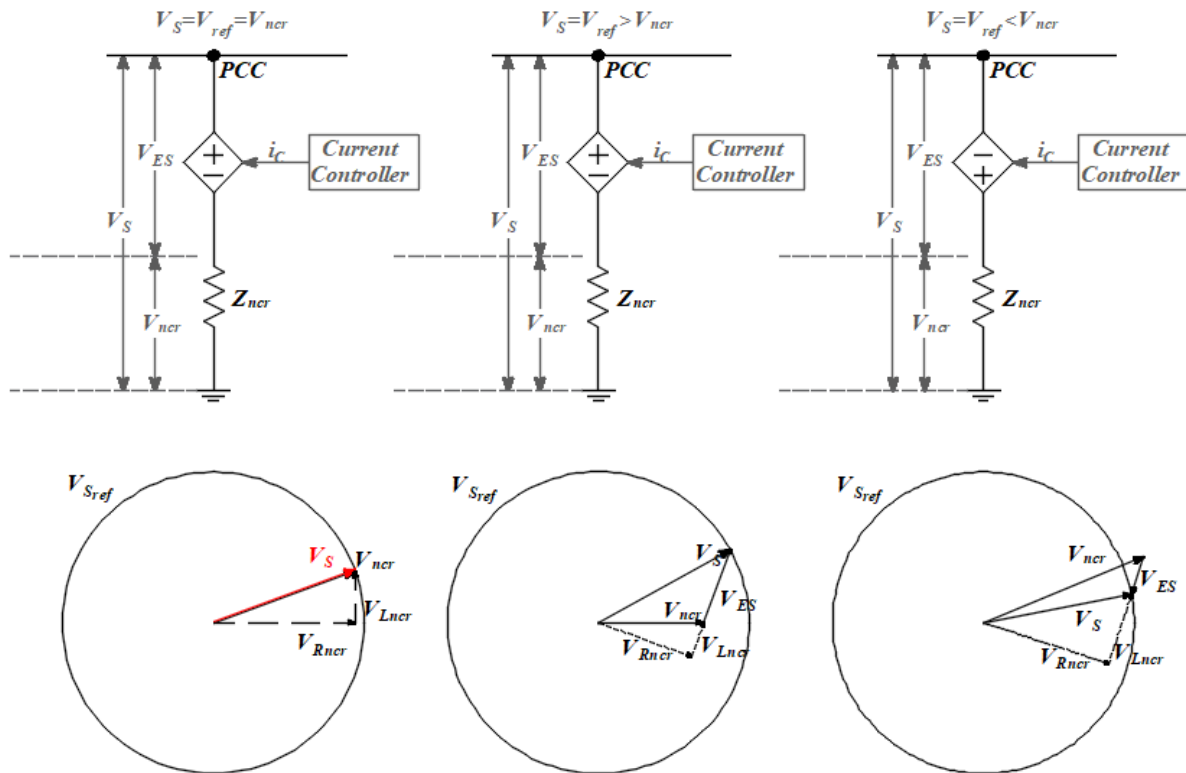
The relationship between the voltage at PCC ( $V_s$ ), the voltage of capacitor on the branch ( $V_{ES}$ ), and the voltage non-critical load voltage ( $V_o$ ) is given by (1).



$$V_S = V_0 + V_{ES} \tag{1}$$

$$I_{cap} = I_{ES} + I_{inj} \tag{2}$$

The current flows through the capacitor ( $I_{cap}$ ) in the structure forming the smart load is equal to the sum of the phasors of the smart load current ( $I_{ES}$ ) and the current injected ( $I_{inj}$ ) into the system by the ES as given in (2). The phasor of the voltage on the capacitor ( $V_{ES}$ ) should be perpendicular to the non-critical load current phasor ( $I_{ES}$ ) to provide reactive power compensation for the purpose of voltage regulation. ES boosts PCC voltage by operating in capacitive mode in which  $V_{ES}$  leads  $I_{ES}$  by  $90^\circ$  (Figure 2b). On the other hand, for reducing voltage, ES operates in inductive mode in which  $V_{ES}$  lags  $I_{ES}$  by  $90^\circ$  (Figure 2c).

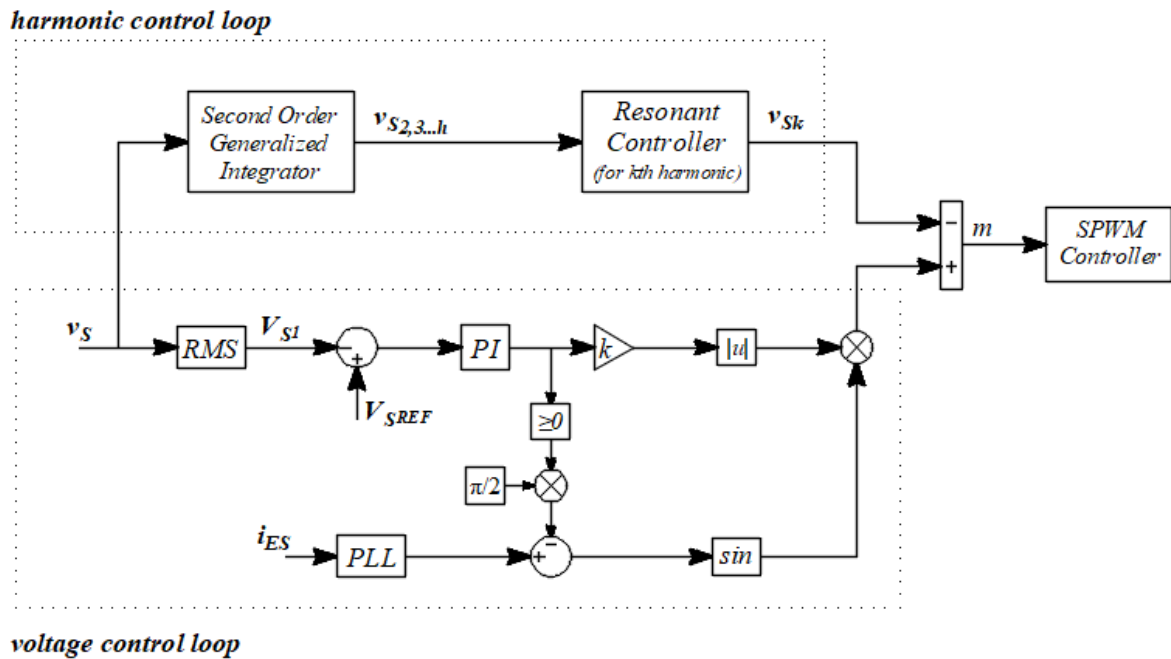


**Figure 2.** The operation modes and phasor voltage diagram

### 2.3. Controlling method of electric spring

In this study, the control of ES has been designed as combining two separate control loops in a way to provide voltage regulation and eliminate voltage harmonics, simultaneously. Each control loop has been indicated separately on the control block diagram within rectangular frames as shown in Figure 3.

In the voltage regulation control loop, the RMS value of the fundamental component of PCC voltage ( $V_{s1}$ ) is compared with a reference value and the error is sent to the PI controller. In order to obtain the amplitude of the modulation index whose value is between 0 and 1, the PI output is multiplied by a proper gain ( $k$ ) and its absolute value is taken. Whether the rms value of the  $V_S$  voltage is smaller or greater than the reference voltage value determines the operating region of the ES. PLL block has been used to determine the phase angle of non-critical load current. In order to ensure that the controlled voltage  $V_{ES}$  and noncritical load current are perpendicular to each other, 90 degrees is added or subtracted from the angle value obtained from the PLL block according to the output sign of the PI block. If the value at the output of the PI controller is negative, 90 degrees is added to the phase angle of the current and the ES is operated in inductive mode. However, ES is operated in capacitive mode in case of the value at the PI output is positive. In order to obtain the voltage control signal, the amplitude value from the PI output is multiplied by the unit sine waveform whose phase angle is determined according to the operating region of the ES.



**Figure 3.** Control block diagrams of electric spring

The harmonic control loop proposed by Kanjiya & Khadkikar (2013) is used to reduce PCC voltage harmonics. Harmonic control loop has been implemented in two steps. In the first step, the harmonic content of the distorted PCC voltage is extracted by using Second Order Generalized integrator (SOGI) structure. The transfer function of SOGI is given in (3). In the second step, multiple resonant controller (MRI) structure has been used to determine the harmonic order to be eliminated. The transfer function of the resonant controller is given in (4).

$$TF_h = \frac{v_{sh}(s)}{v_s(s)} = \frac{s^2 + w^2}{s^2 + kws + w^2} \tag{3}$$

$$TF_r = \sum_n \frac{2k_n w_c s}{s^2 + 2w_c s + w_n^2} \tag{4}$$

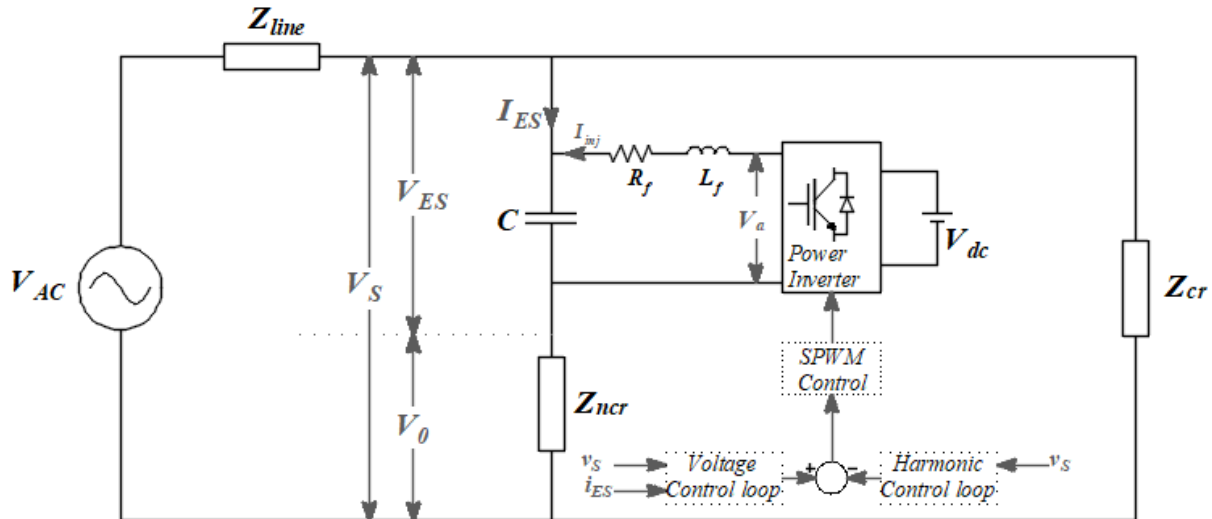
In (3),  $w$  is the angular frequency,  $k$  is the damping factor. In Equation-4,  $w_c$  is the controller band-width,  $k_n$  is the resonant gain, and  $w_n$  is the  $n^{th}$  harmonic angular frequency to which controller is tuned for. The damping factor in SOGI and the resonant gain in MRI has been determined by considering the signal from voltage control loop. In order to have control signals in the defined range, damping factor and resonant gain have been chosen as 10 and 0.005 respectively. Thus, the signals from the harmonic control loop have been scaled to the magnitudes that the signal from the voltage control loop can carry.

### 3. Simulation results

A test system has been modelled in MATLAB/Simulink® by using SimPower blocks to verify the voltage regulation and harmonic elimination performances of the electric springs with different power inverter topologies, namely HFB-ES, FB-ES and NPC-ES. The schematic diagram of the simulated test system is illustrated in Figure 4.

$V_{AC}$  represents the equivalent power supply for a weak point in the network. It is arranged to have a waveform containing the fundamental component and the 5th harmonic to verify the harmonic elimination performance of the ES. In order to test the voltage regulation performance of the ES at different voltage levels,  $V_{AC}$  has been varied in three different cases as nominal, voltage sag and over voltage. Simulated test system parameters are given in Appendix.

When the simulation results for the voltage regulation are examined, the performances of three different ES formed with half bridge, full bridge and NPC-MLI topologies are quite close to each other such that all ES's have provided the reference voltage value (220V RMS) on the PCC at the same time. Therefore, for the simplicity, only the HB ES simulation results are shown in Figure 5. In the simulation carried out, the PCC voltage has been arranged as nominal voltage in the range of 0-3 s, undervoltage in the range of 3-8 s, and overvoltage in the range of 8-15 s.



**Figure 4.** Power system model used in simulations

When the simulation results were examined, it has been seen that ESs with different inverter topologies have reacted to the voltage change on each interval and succeeded to regulate the voltage at the PCC point to the desired reference value, with a very close performance. However, these ESs are expected to differ in terms of their disruptive effects on the system or their success in harmonic elimination, since they have different numbers of semiconductor switching elements within their structure.

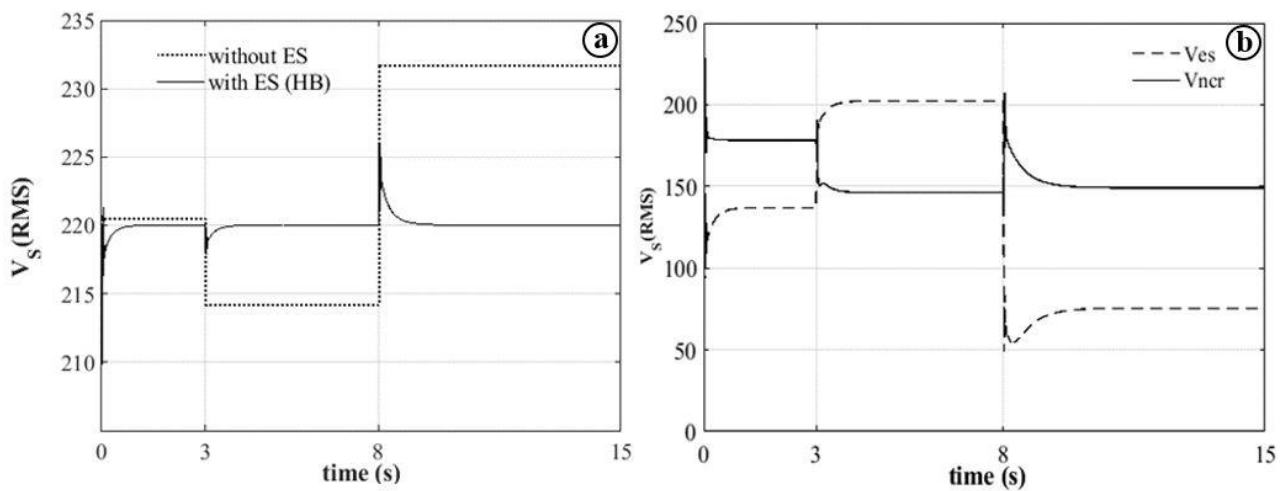
In order to figure out the disruptive effect of ES on the system, two different simulations have been performed, with and without the ES. For the case without ES, the capacitor in the same branch as the non-critical loads on the load side of the system model has been removed, leaving only critical and non-critical loads on the load side of the system model. In this case, the input voltage has been adjusted as 220V RMS at the PCC and it has been distorted by including fifth harmonic component. The THD value at PCC has been observed to be 4.44% for this case. In the case that includes ES, the voltage at the PCC point has boosted by the capacitor which is connected to output of ES. The ES have operated within the system as compensating the voltage-boosting effect of the capacitor. Under these conditions, ES has again achieved to regulate the PCC voltage to the desired value, but the THD value has increased to 5.23%.

As can be seen from the results obtained, the activities of the ES in the system create a disruptive effect on the system. The control of the ES can be improved as to eliminate harmonics in the PCC voltage. Thus, ES can exhibit an additional function as harmonic filter besides voltage regulation. For this purpose, by adopting the control approach suggested in the literature (Figure 3), a harmonic control loop has been included in parallel with the voltage control loop. A case study has been conducted to observe the changes on the voltage waveforms and modulation index as a result of the activity of the harmonic control loop. At first, the harmonic control loop was deactivated, and it has been activated in the control loop after two second and the system has been operated for a while. While the THD of the voltage at the PCC point was 6.78%, this value decreased to 4.26% with the activation of the ES and harmonic control loop. This effect can be seen obviously from the improvement on the voltage waveform of the critical load, given in Figure 6.

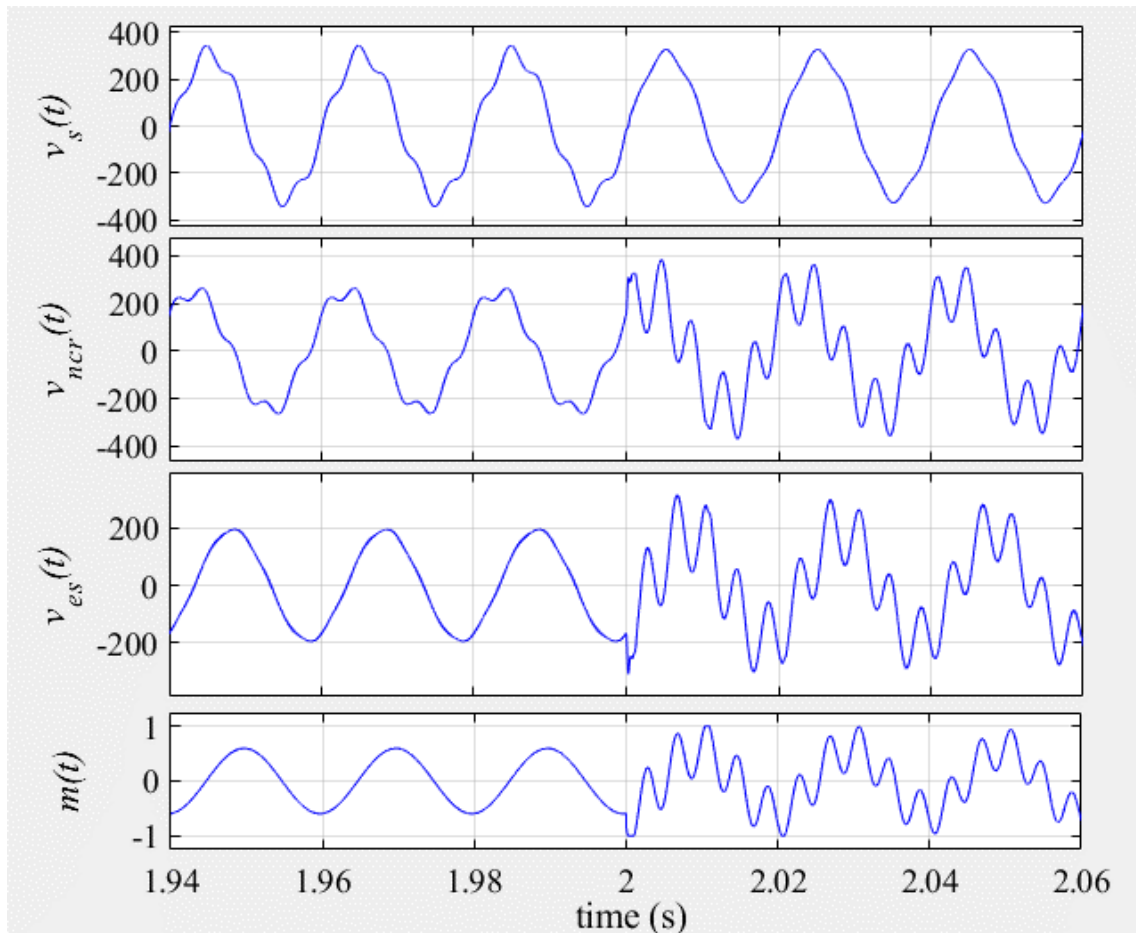
ESs formed with different inverter topologies (HB, FB, and NPC-MLI) are simulated by applying the above-mentioned input voltages with the control approach shown in Figure 3. The results obtained from the simulations (Table 1) have been examined in terms of voltage regulation and harmonic elimination capabilities. When Table 1 is examined, all ESs provided the desired voltage value in PCC. Among the considered ES types, NPC-ES shows the best performance in terms of harmonic elimination.

As can be seen from the Table – 1, the lowest values for the voltage and current THD and TDD (Total Demand Distortion) on the critical load has been obtained in the case with NPC-ES, for all intervals. The second-best performance in terms of harmonic elimination has been achieved by FB-ES. When the THD values of the voltage and current waveforms of the critical load obtained for all cases are compared, the harmonic elimination performances of HB-ES and FB-ES are close to each other, but NPC-ES outperforms these two ES types by far. In systems with multiple loads connected from a single point, the TDD value is more appropriate to express the amount of distortion in the current. The TDD values calculated over the simulation results also support the findings above.

In order to eliminate the harmonics in the input voltage, the ES injects a current containing inverse harmonics into the system. This non-sinusoidal current creates a non-sinusoidal voltage across the capacitor ( $V_{es}$ ) in series with the non-critical load. Thus, the non-critical load voltage distorts by the effect of the voltage across the capacitor. The level of distortion is directly proportional to the success of the ES in eliminating harmonics. A current with a more distorted waveform is required for more successful harmonic elimination. When the THD values of non-critical load voltages are examined from the table, it has been seen that the highest deterioration occurs with NPC-MLI ES.



**Figure 5.** (a) PCC voltage RMS variation with and without ES (b) variations of ES voltage RMS and noncritical load voltage RMS



**Figure 6.** Voltage waveforms and modulation index change after harmonic control loop activation

**Table 1.** Simulation results at time intervals of 0-3 seconds, 3-8 seconds and 8-15 seconds

			Voltage	Current	THD <sub>v</sub>	THD <sub>i</sub>	TDD
			(V <sub>1</sub> )	(I <sub>1</sub> )	(%)	(%)	(IL=30A)
Time interval 0-3 s V <sub>1</sub> =314 V(peak) V <sub>5</sub> =20 V (peak)	Half Bridge ES	Critical Load	220.23	4.69	4.58	2.07	0.32
		Noncritical Load	178.99	18.64	10.04	4.23	2.62
	Full Bridge ES	Critical Load	220.16	4.69	4.26	1.92	0.32
		Noncritical Load	179.24	18.61	11.98	5.05	3.13
	NPC ES	Critical Load	220.09	4.69	3.07	1.38	0.22
		Noncritical Load	179.95	18.51	19.28	8.12	4.99
Time interval 3-8 s V <sub>1</sub> =305 V(peak) V <sub>5</sub> =20 V (peak)	Half Bridge ES	Critical Load	220.33	4.70	4.69	2.12	0.33
		Noncritical Load	146.99	15.28	11.40	4.80	2.44
	Full Bridge ES	Critical Load	220.34	4.69	4.33	1.96	0.31
		Noncritical Load	148.00	15.34	14.00	5.90	3.01
	NPC ES	Critical Load	220.22	4.70	3.32	1.51	0.24
		Noncritical Load	147.91	15.17	21.82	9.18	4.62
Time interval 8-15 s V <sub>1</sub> =330 V(peak) V <sub>5</sub> =20 V (peak)	Half Bridge ES	Critical Load	220.22	4.69	4.55	2.06	0.32
		Noncritical Load	150.22	15.59	12.21	5.15	2.67
	Full Bridge ES	Critical Load	220.31	4.70	4.37	1.98	0.31
		Noncritical Load	152.30	15.79	13.32	5.61	2.95
	NPC ES	Critical Load	220.17	4.69	3.19	1.44	0.22
		Noncritical Load	150.38	15.40	22.32	9.40	4.80

### 3. Conclusions

In this study, the voltage regulation and harmonic elimination performances of three different ESs consisting of HB, FB and NPC-MLI are compared. Considering the simulation results, it has been observed that three types of ES give similar results in terms of voltage regulation. However, they differ in terms of their success in harmonic elimination. When the simulation results are compared, the THD values for the voltage and current of the critical load are ordered from lowest to highest as NPC MLI ES, FB ES, and HB ES. Another superiority of using NPC-MLI in ES is requiring a lower DC voltage at the input, so the semiconductor switching elements are exposed to lower  $dv/dt$ . On the other hand, NPC-MLI ES has a drawback as including more semiconductor switching devices than the alternatives, HB-ES and FB-ES. Therefore, controlling inverter is more complicated and the overall system cost is higher than the HB and FB.

The desired voltage level at the critical load can be obtained and the distortion can be reduced in all cases as obtained from simulation results. However, the situation is different for the non-critical load. As a result of the improvements provided in the critical load voltage, it can be seen that the distortion of non-critical load voltage has increased. Harmonics in the current and the voltage waveforms cause losses. By reducing the THD value at the critical load voltage, power losses over the critical load are prevented. On the other hand, the losses on the non-critical load are increased since the distortions in the voltage and the current waveforms are high. The simulation results obtained, and findings remarked in the study may guide to the practitioners to decide on the inverter types which is most convenient for their applications.

As a future work, real-time hardware implementation of the system is planned to be build. In addition, examining the cumulative effects that will occur in a system with more than one smart load may take place in future studies.

#### Author contribution

In this study, all authors jointly simulated the system, wrote the manuscript and interpreted the results.

#### Declaration of ethical code

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

#### Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### References

- Chaudhuri, N. R., Lee, C. K., Chaudhuri, B., & Hui, S. Y. R. (2014). Dynamic modeling of electric springs. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2450–2458. <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2319858>
- Daratha, N., Das, B., & Sharma, J. (2014). Coordination between OLTC and SVC for voltage regulation in unbalanced distribution system distributed generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(1), 289–299. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2280022>
- Duman, T. (2021). Single phase 5-level NPC multilevel inverter using level-shifted sinusoidal PWM. *International Conference on Advances in Engineering, Architecture, Science and Technology (ICA-EAST 2021)*, (pp. 130–137), Erzurum
- Gajbhiye, K., Dahiwal, P., Bharti, S., Pawar, R., Gawande, S. P., & Kadwane, S. G. (2018). Five-level NPC/H-bridge MLI based electric spring for harmonic reduction and voltage regulation. *2017 International Conference on Smart Grids, Power and Advanced Control Engineering (ICSPACE)* (ss. 203-208), Bengaluru: <https://doi.org/10.1109/ICSPACE.2017.8343429>
- Hui, S. Y., Lee, C. K., & Wu, F. F. (2012). Electric springs - A new smart grid technology. *IEEE Transactions on Smart Grid*. <https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2200701>
- Kanjiya, P., & Khadkikar, V. (2013). Enhancing power quality and stability of future smart grid with intermittent



renewable energy sources using electric springs. *Proceedings of 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, (ICRERA 2013)* (ss. 918-922), Nagasaki: <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749882>

- Kaymanesh, A., Babaie, M., Chandra, A., & Al-Haddad, K. (2021). PEC inverter for intelligent electric spring applications using ANN-based controller. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics*, 3(3), 704-714. <https://doi.org/10.1109/JESTIE.2021.3095018>
- Lee, C.-K., Liu, H., Tan, S.-C., Chaudhuri, B., & Hui, S.-Y. R. (2021). Electric spring and smart load: Technology, system-level impact, and opportunities. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 9(6), 6524-6544. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2020.3004164>
- Liang, L., Hou, Y., & Hill, D. J. (2020). An interconnected microgrids-based transactive energy system with multiple electric springs. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(1), 184-193. <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2919758>
- Muttaqi, K. M., Le, A. D. T., Negnevitsky, M., & Ledwich, G. (2015). A coordinated voltage control approach for coordination of OLTC, voltage regulator, and DG to regulate voltage in a distribution feeder. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1239-1248. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2354738>
- Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381-388. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2158841>
- Pawar, R., Gawande, S. P., Kadwane, S. G., Waghmare, M. A., & Nagpure, R. N. (2017). Five-level diode clamped multilevel inverter (DCMLI) based electric spring for smart grid applications. *Energy Procedia*, 117, 862-869. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.204>
- Rao, P., Crow, M. L., & Yang, Z. (2000). STATCOM control for power system voltage control applications. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15(4), 1311-1317. <https://doi.org/10.1109/61.891520>
- Shademan, M., Jalilian, A., & Savaghebi, M. (2021). Improved control method for voltage regulation and harmonic mitigation using electric spring. *Sustainability*, 13(8), 4523. <https://doi.org/10.3390/su13084523>
- Shuo, Y., Tan, S. C., Lee, C. K., & Hui, S. Y. R. (2014). Electric spring for power quality improvement. *2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2014)* (ss. 2140-2147), Fort Worth, TX: <https://doi.org/10.1109/APEC.2014.6803602>
- Sundar, N. S., Philip, L., Tapasvi, P., Akash, M., & Hiraj, D. (2017). Multilevel inverter based electric spring for voltage regulation and active reactive power control. *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, (ICPEICES 2016)* (ss. 1-5), Delhi: <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853410>
- Tapia-Tinoco, G., Garcia-Perez, A., Granados-Lieberman, D., Camarena-Martinez, D., & Valtierra-Rodriguez, M. (2020). Hardware structures, control strategies, and applications of electric springs: A state-of-the art review. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 14(23), 1751-8687. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.1813>
- Wang, M.-H., Yang, T.-B., Tan, S.-C., & Hui, S. Y. (2019). Hybrid electric springs for grid-tied power control and storage reduction in AC microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(4), 3214-3225. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2854569>
- Wang, M., He, Y., Xu, X., Dong, Z., & Lei, Y. (2021). A review of AC and DC electric springs. *IEEE Access*, 9, 14398-14408. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051340>
- Wang, Q., Cheng, M., Jiang, Y., Zuo, W., & Buja, G. (2018). A simple active and reactive power control for applications of single-phase electric springs. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2793201>
- Wang, Q., Cheng, M., Jiang, Y., Zuo, W., & Buja, G. (2018). A simple active and reactive power control for applications of single-phase electric springs. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(8), 6291-6300. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2793201>
- Yan, S., Tan, S.-C., Lee, C.-K., Chaudhuri, B., & Hui, S. Y. R. (2015). Electric springs for reducing power imbalance in three-phase power systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(7), 3601-3609. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2350001>
- Yan, S., Tan, S. C., Lee, C. K., Chaudhuri, B., & Hui, S. Y. R. (2017). Use of smart loads for power quality improvement.

*IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(1), 504-512.  
<https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2637398>

Yang, T., Liu, T., Chen, J., Yan, S., & Hui, S. Y. R. (2018). Dynamic modular modeling of smart loads associated with electric springs and control. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(12), 10071–10085.  
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2794516>

Zheng, Y., Hill, D. J., Song, Y., Zhao, J., & Hui, S. Y. R. (2020). Optimal electric spring allocation for risk-limiting voltage regulation in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(1), 273–283.  
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2933240>

## Appendix

System Voltages			
Time Intervals	0-3 s	3-8 s	8-15 s
Input voltage ( $V_{1_{RMS}}$ )	222 V	215 V	234 V
PCC Reference voltage ( $V_{ref_{RMS}}$ )	220 V		
System Impedance			
	$R$	$L$	
Line impedance ( $Z_{line}$ )	0.1315 $\Omega$	3.155 mH	
Noncritical Load	8.6 $\Omega$	13.37 mH	
Critical Load	42.9 $\Omega$	60 mH	
Electric Spring			
Low Pass Filter	$R_f$	$L_f$	
	3 $\Omega$	0.5 mH	
Capacitance	13.2 $\mu$ F		
Inverter Topology	Half-Bridge	Full-Bridge	NPC-MLI
DC voltage	600 V	300 V	300 V
Number of Switches	2	4	8
Switching Frequency	5 kHz	5 kHz	5 kHz

## Çekişmeli makine öğrenmesi saldırılarının rulman arıza teşhisindeki etkileri

*The effects of adversarial machine learning attacks on bearing fault diagnosis*

Mustafa Şinasi AYAS \*<sup>1</sup> , Selen AYAS<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

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

• Geliş tarihi / Received: 24.05.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 08.12.2022

### Öz

Bilgiye dayalı arıza teşhis yöntemleri, sırasıyla model tabanlı ve sinyal tabanlı teşhis yöntemlerinde gerekli olan kesin model ve sinyal kalıplarına ihtiyaç duymadıkları için daha fazla tercih edilir hale gelmiştir. Makine öğrenimi teknikleri, ham sinyallerden sağlık durumlarına bilgileri eşleyerek arıza teşhisinde dikkate değer sonuçlar sağlamaktadır. Ancak makine öğrenimi yöntemlerinin kullanıldığı diğer endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi kötü niyetli saldırılara karşı zafiyetleri ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada erişime açık CWRU rulman sağlık durumu veri kümesindeki 10 farklı sağlık durumunu içeren titreşim sinyalleri 2B görüntülere çevrilmiş ve görüntülerin sınıflandırılması için kullanılan derin artık öğrenme (DRL) ağ modeline beyaz kutu çekişmeli saldırılarından Hızlı Gradyan İşareti Yöntemi (FGSM), Temel Yinelemeli Yöntem (BIM), İzdüşürülen Gradyan İniş (PGD) ve Carlini ve Wagner (CW) saldırıları uygulanmıştır. Uygulanan çekişmeli makine öğrenmesi saldırılarının etkisini incelemek için DRL modelinin dayanıklılığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan çekişmeli saldırılar DRL modelini kandırarak yanlış sonuç üretmesine yol açmış ve rulman arıza teşhis sınıflandırma doğruluğunu düşürmüştür. 2B görüntülere oldukça küçük bir pertürbasyon eklenmesi sonucu %99.98 olan sınıflandırma doğruluğu FGSM, BIM, PGD, ve CW saldırı yöntemleri ile sırasıyla %68,38, %61,75, %61,88 ve %63,31 değerine düşmüştür. Ulaşılan sonuçlar kullanılan çekişmeli makine öğrenmesi saldırı yöntemlerinin rulman arıza teşhis sınıflandırma doğruluğunu düşürmesi için büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Arıza teşhis sistemi, Çekişmeli makine öğrenmesi, Derin artık öğrenme modeli

### Abstract

Knowledge-based fault diagnosis methods have become more preferred as they do not need precise model and signal patterns required in model-based and signal-based diagnosis methods, respectively. Machine learning techniques provide remarkable results on fault diagnosis by mapping information from raw signals to health condition. However, their vulnerabilities against adversarial attacks arise as in the other industrial applications employing machine learning methods. In this study, the vibration signals containing 10 different health condition in the public CWRU bearing health condition dataset are converted into 2D images and Fast Gradient Sign Method (FGSM), Basic Iterative Method (BIM), Projected Gradient Descent (PGD) and Carlini and Wagner (CW) white box adversarial attacks are applied into the deep residual learning (DRL) network model which classifies the images of rolling bearing. The robustness of the DRL model is analyzed to examine the effect of the implemented adversarial machine learning attacks. According to the obtained results, the adversarial attacks fooled the DRL model, causing it to produce misclassification results and so decrease the bearing fault diagnosis classification accuracy. As a result of injecting quite small perturbation to 2D images, the classification accuracy, which was 99.98%, is decreased to 68.38%, 61.75%, 61.88% and 63.31% by FGSM, BIM, PGD and CW attack methods, respectively. The achieved results show that the adversarial machine learning attack methods have great potential to reduce the accuracy of bearing fault diagnosis classification.

**Keywords:** Adversarial machine learning, Deep residual learning model, Fault diagnosis system

\* Mustafa Şinasi AYAS; msayas@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Endüstri 3.0'dan Endüstri 4.0'a geçişle birlikte endüstriyel süreçler daha akıllı olmaktadır. Özellikle her bir alt süreç durumunun izlenmesi, detaylandırılmış sensörler sayesinde daha kolay hale gelmektedir. Endüstriyel bir süreçte istenilen performansın elde edilmesi çok önemli olmasına rağmen, sürecin güvenilirliği de hem güvenlik hem de sürdürülebilirlik açısından aynı derecede önemlidir. Bu nedenle, arıza teşhisi, hem akademi hem de endüstri tarafından önemli derecede ilgi çeken bir süreç mühendisliği araştırma alanıdır (Park vd., 2020). Dönen makinelerin önemli bir parçası olan rulmanların arıza teşhisi, çekici araştırma alanlarından biridir. Rulman ile yataklanmış bir makinedeki rulmanda meydana gelen herhangi bir arızanın erken tespiti, tüm sürecin bozulmasını önleyebilir (Demir & Müştak, 2021; Zhao vd., 2021).

Arıza teşhis yöntemleri model tabanlı, sinyal tabanlı, bilgi tabanlı ve hibrit arıza teşhisi olarak sınıflandırılabilir (Gao vd., 2015). Bu yöntemlerden bilgi tabanlı olanlar, sırasıyla model tabanlı ve sinyal tabanlı yöntemlerde gerekli olan kesin model bilgisi ve işaret örüntüsüne ihtiyaç duymadıkları için daha fazla tercih edilir hale gelmişlerdir. Bilgiye dayalı yöntemlerde, ham ölçülen veriler ile sürecin durumu arasında bir ilişki yürütmek için uzun vadeli sürekli izlemeden toplanan büyük veriler kullanılır (Jia vd., 2018). Endüstri 4.0, veri toplama prosedürünü hızlandırmakta ve araştırmacıları, arıza teşhisinde büyük verilerin potansiyelini kullanmaya yönlendirmektedir (Chen & Lin, 2014). Rulman arızası açısından, doğrusal olmayan ve dengesiz kararlılık özelliklerine sahip titreşim sinyalleri bu büyük veriyi oluşturmaktadır. Titreşim sinyallerindeki zorlukların üstesinden gelmek için, rulmanın sağlık durumunun izleme sürecinde yaygın olarak makine öğrenmesi (ML) ve daha çok derin öğrenme (DL) algoritmaları kullanılır (Zhao vd., 2021).

DL yaklaşımları, titreşim sinyallerinden sağlık durumuna bilgileri haritalayarak rulman arıza teşhisinde memnun edici sonuçlar sağlamaktadırlar. Ancak, DL yaklaşımlarını kullanan diğer endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi böyle bir arıza teşhis sisteminde art niyetli saldırılara karşı artan güvenlik açıkları sorunu ortaya çıkmaktadır (Kumar vd., 2020). DL tabanlı sistemlere karşı gerçekleştirilen art niyetli saldırılara Çekişmeli Makine Öğrenmesi (AML) saldırıları adı verilir. AML'nin amacı, DL modeline hafif pertürbasyon ekleyerek sınıflandırıcıyı nominal kararını değiştirmeye gizlice zorlamaktır. Bu nedenle, yanlış sınıflandırma sayısı artabileceği için modelin performansı düşebilmektedir (Anthi vd., 2021).

### 1.1.1. Literatür taraması

#### 1.1.1.1. Literature review

Literatür çalışmaları arıza teşhis ve çekişmeli makine öğrenmesi çalışmaları olmak üzere iki alt bölümde incelenmiştir.

#### 1.1.1.1. Arıza teşhis çalışmaları

##### 1.1.1.1.1. Fault diagnosis studies

Wen vd. (2017) arıza teşhisi için LeNet-5'ten ilham alan evrişimli sinir ağı (CNN) tabanlı bir yaklaşım önerdiler. Çalışmalarında bir motor rulmanının halka açık veri kümesinden alınan titreşim sinyallerini 2B gri seviyeli görüntülere dönüştürdüler. Çalışmanın sonucunda, rulman arıza teşhisinde 2B görüntüleri kullanan CNN tabanlı yaklaşımlarının etkinliğini vurguladılar. Transfer öğrenme (TL) tekniği Guo vd. (2018) için rulman arıza teşhisi çalışmalarına ilham kaynağı olmuştur. Çalışmada iki aşamalı bir yaklaşımla derin bir evrişimli TL ağı sunulmuştur. Aşamalardan birinde, rulmanın sağlık durumu, ham sinyallerin ayırt edici özelliklerini öğrenen 1D CNN kullanılarak sınıflandırılmıştır. Rulmanın titreşim sinyallerini kullanan TL tabanlı başka bir yöntem Wen vd. (2019) tarafından tanıtılmıştır. Çalışmada, ham titreşim sinyallerinden ayırt edici özellikleri çıkarmak için üç katmanlı bir seyrek otomatik kodlayıcı kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, sunulan tekniğin klasik ML yöntemlerine göre daha iyi sınıflandırma doğruluğu sağladığını göstermektedir. Liu vd. (2019) bir arıza teşhis çözümü olarak derin bir çekişmeli alan uyarılma modeli sunmuştur. Daha değerli rulman arızası özelliklerini çıkarmak için derin yığın otomatik kodlayıcı ve özellik öğrenme birleştirilmiştir. Bu çalışmada, geleneksel ML ve DL yöntemlerine kıyasla oldukça iyi sağlık sınıflandırması sonuçları elde edilmiştir. Chen vd. (2020) döngüsel spektral analizi içeren DL tabanlı bir teknik tanıtmıştır. Önce farklı rulman arıza tiplerinin ayırt edici modelleri elde edilmiş, daha sonra rulmanın sağlık durumunu sınıflandırmak için önerilen bir CNN modeli uygulanmıştır. Derin bir orman ve bir CNN modeli içeren hibrit bir teknik Xu vd. (2021) tarafından sunulmuştur. Derin orman sınıflandırıcısı, titreşim sinyallerinden üretilen zaman-frekans

görüntülerini kullanan CNN modeli tarafından çıkarılan ayırt edici özelliklerle beslenmiştir. Bir CNN modeli ve bir uzun kısa süreli bellek (LSTM) modeli, rulman arıza teşhisinde ham titreşim sinyallerini kullanan uçtan uca bir DL yaklaşımı olarak birleştirilmiştir. 2D gri seviyeli görüntülerle beslenen bir CNN modeli [Zhao vd. \(2021\)](#) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, titreşim sinyallerini 2D görüntülere dönüştürmek için bir sinyalden görüntüye haritalama tekniği kullanılmıştır. Rulman arıza teşhis için gerçekleştirdiğimiz önceki çalışmada ([Ayas & Ayas, 2021](#)), titreşim sinyallerinden oluşturulan 2B görüntüler ve rulman sağlık durumu arasında uçtan uca eşlemeyi öğrenmek için oluşturulmuş derin artık öğrenme (DRL) tabanlı bir model önerilmiştir. Kapsamlı literatür taraması için [Park vd. \(2020\)](#) tarafından sunulmuş olan derleme makalesi incelenebilir.

### 1.1.2. Çekişmeli makine öğrenmesi çalışmaları

#### 1.1.2. Adversarial machine learning studies

Sinir ağlarındaki güvenlik açıklarından ilk kez 2013 yılında [Szegegy vd. \(2013\)](#) tarafından bahsedilmiştir. Ağın tahmin hatasını maksimize ederek hesaplanan, güçlükle algılanabilen bir pertürbasyon enjekte ederek bir görüntünün yanlış sınıflandırabileceğini vurguladılar. Hesaplanan pertürbasyonu meşru görüntüye enjekte ederek, insan gözünün algılayamayacağı yanıltıcı bir görüntü elde edilebileceği bu çalışmada gösterilmiştir. Ardından, 2015 yılında [Goodfellow vd. \(2015\)](#), geri yayılım kullanılarak verimli bir şekilde hesaplanan gradyana göre çekişmeli örnekler oluşturabilen Hızlı Gradyan İşaret Yöntemi'ni (FGSM) sunmuşlardır. FGSM'nin farklı bir biçimi olarak, daha fazla çekişme çeşitliliği arayan Hızlı Gradyan Değeri (FGV) yöntemi 2016 yılında [Rozsa vd. \(2016\)](#) tarafından tanıtılmıştır. FGV yöntemi, ham bir gradyan kullanır ve yalnızca gradyanın işaretini kullanan FGSM'ye kıyasla daha az dokusal bozulma ile sonuçlanan daha etkili pertürbasyonlar ürettiği belirtilmiştir. Yanlış sınıflandırma için yeterli minimum pertürbasyonu üreterek derin sinir ağlarını kandıran DeepFool isimli yaklaşım [Moosavi-Dezfooli vd. \(2016\)](#) tarafından önerilmiştir. FGSM'nin yinelemeli bir versiyonu olan Temel Yinelemeli Yöntem (BIM) [Kurakin vd. \(2016\)](#) tarafından sunulmuştur. BIM'in farklı bir formu olarak bilinen izdüşürülen gradyan inişi (PGD), [Madry vd. \(2016\)](#) tarafından en güçlü "birinci dereceden çekişmeli" saldırı olarak sunulmuştur. PGD, ağ ile ilgili birinci dereceden bilgileri kullanır.

AML uygulamaları ile ilgili çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır. 2018 yılında [Suciu vd. \(2018\)](#), doğrusal bir sınıflandırıcıya sahip Android kötü amaçlı yazılım algılama sistemine karşı zehirlenme saldırısı başlatmışlardır. 2019 yılında [Kuppa vd. \(2019\)](#), denetimsiz aykırılık dedektörüne karşı bir gri kutu saldırısı başlatmışlardır ve dikkate değer bir sonuç elde etmişlerdir. 2020'de [Xu vd. \(2020\)](#), hem n-güçlü düğümleri hem de FGSM yöntemini kullanarak kötü amaçlı yazılım sınıflandırıcısına karşı bir gri kutu saldırısı başlatmışlardır. 2021'de [Vakhshiteh vd. \(2021\)](#) yüz tanıma sistemlerine karşı gerçekleştirilen çekişmeli saldırılar hakkında kapsamlı bir derleme çalışması sunmuşlardır. Makalede giriş görüntüleri doğal görünse bile yüz tanıma sistemlerinin AML'ye karşı savunmasız olduğu vurgulanmaktadır.

[Kurakin vd. \(2018\)](#) tarafından fiziksel dünyada AML tekniklerinin mümkün olduğu ele alınmıştır. Basılı çekişmeli örnekler, bir cep telefonu kamerası kullanılarak bir ImageNet sınıflandırıcısına beslenmiştir. Sonuçlar, çekişmeli örneklerin çoğunun yanlış sınıflandırıldığını göstermektedir. [Brown vd. \(2017\)](#), evrensel çekişmeli görüntü yamaları oluşturmak için bir yöntem önermişlerdir. Oluşturulan yamalar herhangi bir resme yapıştırılabilir ve yazdırılabilir. Bu çalışmada, yeni çekişmeli görüntünün, yapıştırılan yama hedef nesneden daha küçük olsa bile sınıflandırıcıyı aldattığı vurgulanmıştır. [Sayles vd. \(2021\)](#), oküler artefaktlarla hedef nesne yerine nesneyi aydınlatan ışık seviyesini değiştirmiştir. İnsan gözü tarafından algılanamayan fiziksel çekişmeli görüntüler yanlış sınıflandırılmıştır.

Çekişmeli saldırılar ve savunma mekanizmalarındaki ilerlemelerle ilgili kapsamlı literatür taraması için [Akhtar vd. \(2021\)](#) tarafından sunulmuş olan derleme makalesi incelenebilir.

### 1.2. Çalışmanın motivasyonu ve katkısı

#### 1.2. Motivation and contribution of the study

Bu çalışmadaki temel amaç, makine öğrenmesi tabanlı rulman arıza teşhis yaklaşımlarının AML saldırılarına karşı potansiyel bir hedef olup olmadıklarını incelemektir. Bu kapsamda önceki çalışmamızda ([Ayas & Ayas, 2021](#)) rulman arıza teşhisi için önerdiğimiz değiştirilmiş DRL modeli ele alınmıştır. Önerilen DRL modelinin performansı, 10 farklı sağlık durumunu içeren erişime açık bir veri seti üzerinde test edilmiş ve ilgili çalışmada güncel teşhis yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda değiştirilmiş DRL modelinin

mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği ve ortalama %99,98 doğrulukla çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında değiştirilmiş DRL modelinin AML saldırıları karşısındaki dayanıklılığı incelenmiştir. FGSM, BIM, PGD ve Carlini ve Wagner (CW) saldırıları çalışma kapsamında incelenen AML saldırılarıdır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

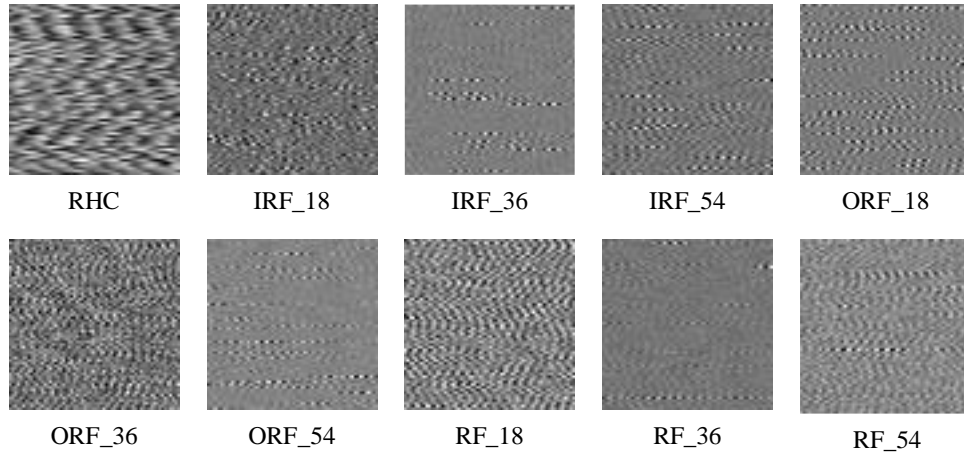
Çekişmeli makine öğrenmesi saldırılarının rulman arıza teşhisindeki etkilerini incelemek için çalışma kapsamında kullanılan veri kümesinin detayları, bu veri kümesindeki sağlık durumlarını teşhis etmek için kullandığımız değiştirilmiş DRL modelinin mimarisi ve değiştirilen DRL modeline uygulanan AML saldırıları alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

### 2.1. Veri kümesi tanıtımı

#### 2.1. Dataset description

Çalışmada rulman titreşim sinyallerini içeren yaygın olarak kullanılan erişime açık Case Western Reserve University (CWRU) veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi normal sağlıklı duruma (RHC) ek olarak, iç yuva arızası (IRF), dış yuva arızası (ORF) ve bilye arızası (RF) olmak üzere üç farklı arıza durumu içermektedir. Ayrıca, her arızalı durumun 0,18 mm, 0,36 mm ve 0,54 mm olmak üzere üç farklı büyüklük düzeyi vardır. Dolayısıyla veri setinde toplam on farklı sağlık durumu bulunmaktadır. Bu on farklı koşulun titreşim sinyalleri, 12 kHz örnekleme frekansı ile dört farklı yük senaryosu (0, 1, 2 ve 3 hp) altında toplanmıştır.

Veri kümesinde bulunan 1B ham titreşim sinyalleri ilk olarak 64×64 boyutunda 2B görüntüye dönüştürülmüştür. 1B sinyaller üzerinde uygulanan veri ön işlemenin işlem adımları önceki çalışmamızda (Ayas & Ayas, 2021) detaylandırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan derin sinir ağı modelinin eğitiminde her bir sağlık durumu için 560 görüntü olmak üzere toplam 5600 görüntü, test aşamasında ise her bir sağlık durumu için 160 görüntü olmak üzere toplam 1600 görüntü kullanılmıştır. On farklı sağlık durumu için elde edilen bazı örnek görüntüler Şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Rulmanın 10 farklı sağlık durumu için 1B ham titreşim sinyallerinden dönüştürülen görüntüler

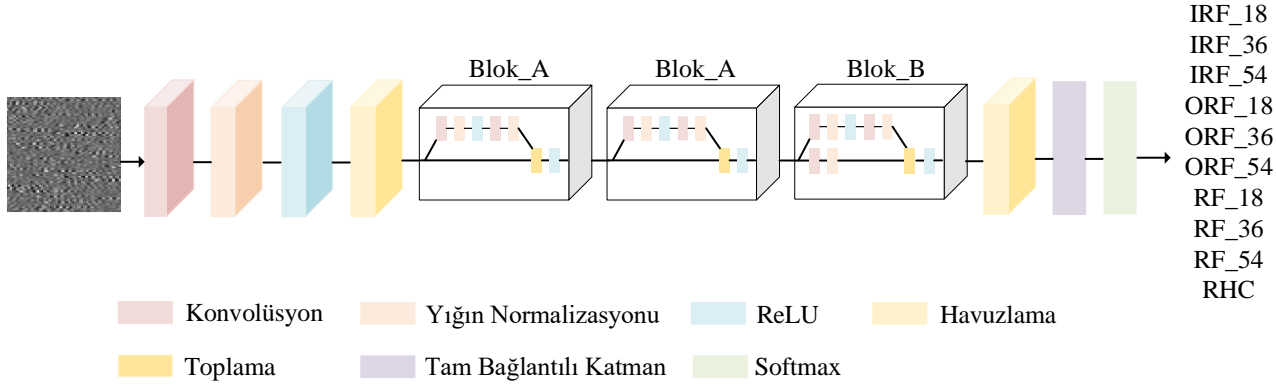
**Figure 1.** The images converted from 1D vibration signals for 10 different health conditions of the bearing

### 2.2. Değiştirilmiş DRL sınıflandırıcısı

#### 2.2. Modified DRL classifier

Şekil 2, özellik gösterimi, DRL ve sınıflandırma ağları yapılarından oluşan DRL ağının mimarisini göstermektedir. Özellik gösterimi ağı, gri tonlamalı görüntüleri özellik haritası olarak temsil etmek için giriş olarak almaktadır. Ardından, DRL, arıza teşhis görevini yerine getirmektedir. Son olarak, DRL ağının son katmanındaki özellik haritaları, rulmanın arıza durumunu belirlemek için sınıflandırma ağına giriş olarak verilmektedir.





**Şekil 2.** Önerilen değiştirilmiş DRL ağ mimarisi ve blok yapıları

**Figure 2.** The proposed modified DRL network architecture and its block design

Özellik gösterimi ağının girişi olan  $64 \times 64$  gri tonlamalı görüntüye,  $x$  ve  $y$  boyutunda 2 adım ve 3 dolgu kullanılarak her biri  $7 \times 7$  boyutunda 64 farklı filtre ile konvolüsyon işlemi uygulanır. Konvolüsyon katmanını, yığın normalizasyonu katmanı ve ReLU aktivasyon fonksiyonu takip etmektedir. Özellik gösterimi ağı,  $3 \times 3$  boyutunda 2 adım ve 1 dolgu kullanılan maksimum havuzlama gerçekleştiren bir havuzlama katmanı ile sona ermektedir. Sonuç özellik haritaları daha sonra DRL ağına beslenir. Bloklarda kullanılan konvolüsyon katmanları  $3 \times 3$  filtre boyutuna sahiptir. Bir blokta kullanılacak olan filtre sayısını tasarlamak için benimsenen yaklaşım, elde edilen özellik haritası boyutu 2 adım kullanılarak yarıya indirildiğinde filtre sayısının 2 katına çıkarılmasıdır. Blok\_B'de gösterildiği gibi özellik haritalarını toplamak için artık öğrenme şemasına atlamalı bağlantı yapısı eklenmiştir. Özellik haritaları aynı boyutta olduğundan dolayı Blok\_A doğrudan kullanılırken, Blok\_B yapısında boyutu artırmak için  $1 \times 1$  boyutlu konvolüsyon kullanılarak giriş özellik haritasına bir projeksiyon şeması uygulanır. Sınıflandırma ağı, boyutu son konvolüsyon katmanının çıkışına eşit olan ve aynı boyutta adım kullanan bir ortalama havuzlama katmanı ile başlamaktadır. Sonuç özellik haritaları, 10 yollu tam bağlantılı bir katmandan geçirilerek softmax katmanına giriş olarak uygulanır. Softmax katmanının çıkışı ise ilgili giriş görüntüsünün rulman sağlık durumu sınıfını vermektedir. Önerilen modelin katman konfigürasyonları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Önerilen değiştirilmiş DRL modelinin katman konfigürasyonları: a, adım boyutu; d, dolgu miktarı  
**Table 1.** The layer configurations of the proposed modified DRL model: a, stride; d, padding

Katman İsmi	Model
Konvolüsyon	$7 \times 7$ , 64, a:2, d:3
Havuzlama	$3 \times 3$ maksimum havuzlama, a:2, d:1
Blok_A	Konvolüsyon1 Konvolüsyon2
	$3 \times 3$ , 64, a:1, d:1 $3 \times 3$ , 64, a:1, d:1
Blok_A	Konvolüsyon1 Konvolüsyon2
	$3 \times 3$ , 64, a:1, d:1 $3 \times 3$ , 64, a:1, d:1
Blok_B	Konvolüsyon1 Konvolüsyon2
	$3 \times 3$ , 128, a:2, d:1 $3 \times 3$ , 128, a:1, d:1
Havuzlama	$8 \times 8$ ortalama havuzlama, a:8, d:0
Tam bağlantılı katman	$128 \times 10$ tam bağlantı

### 2.3. Çekişmeli makine öğrenmesi saldırıları

#### 2.3. Adversarial machine learning attacks

Çekişmeli saldırılar, genellikle bir optimizasyon algoritması tarafından oluşturulan algılanması zor bir pertürbasyonun girdi görüntüsüne eklenip çekişmeli görüntü ya da örneğin oluşturulmasıyla gerçekleştirilir. Hafifçe bozulan test girdi örnekleri eğitim örnekleri ile eğitilmiş derin sinir ağları modellerini yüksek bir güven skoru ile yanlış tahmin yapmaya kandırabilirler. Çalışma kapsamında değiştirilmiş DRL modeline AML saldırısı uygulamak için kullanılan saldırı yöntemleri alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

### 2.3.1. Hızlı gradyan işareti yöntemi saldırısı

#### 2.3.1. Fast gradient sign method attack

FGSM, Goodfellow vd. (2014) tarafından önerilen tek adım algoritmasıdır. FGSM'nin temel özelliği, giriş gradyan yönü boyunca  $\epsilon$  miktarı kadar sadece bir adımda  $\mathbf{x}$  giriş örneklerini bozmaktır ve bu nedenle FGSM düşük hesaplama maliyetine sahiptir. Verimliliğine karşın FGSM yöntemi tarafından üretilen pertürbasyonlar genellikle çok yüksek olmaktadır. Verilen bir  $\mathbf{x}$  giriş örneği için, FGSM yöntemi (1) eşitliğini kullanarak çekişmeli örnekler oluşturmaktadır.

$$\mathbf{x}_{adv} = \mathbf{x} + \epsilon \text{sign}(\nabla_{\mathbf{x}}\mathcal{L}(h(\mathbf{x}_{adv}), y)) \quad (1)$$

Burada,  $\mathbf{x}_{adv}$  oluşturulan çekişmeli örneği,  $\nabla_{\mathbf{x}}$  gradyan vektörü,  $\epsilon$  pertürbasyon miktarını ve  $\mathcal{L}(\cdot)$ ,  $h$  sınıflandırıcısını kullanan modelin kayıp fonksiyonunu ifade etmektedir.

### 2.3.2. Temel yinelemeli yöntem saldırısı

#### 2.3.2. Basic iterative method attack

FGSM yönteminin yinelemeli versiyonu olan BIM yöntemi Kurakin vd. (2018) tarafından önerilmiştir. FGSM'den farklı olarak BIM giriş görüntüsünü daha küçük adım boyutlarıyla yinelemeli bir şekilde bozmaktadır. Özyinelemeli bir yöntem olan BIM çekişmeli örnekleri (2) eşitliği kullanılarak oluşturmaktadır.

$$\mathbf{x}^t = \mathbf{x}^{t-1} + \alpha \text{sign}(\nabla_{\mathbf{x}}\mathcal{L}(h(\mathbf{x}^{t-1}), y)) \quad (2)$$

Burada  $\alpha$  adım boyutu ve  $\mathbf{x}^t$  t. adımdaki ( $\mathbf{x}^0 = \mathbf{x}$ ) çekişmeli örneği ifade etmektedir. Adım boyutu genellikle bozulmanın tüm  $T$  miktarı için  $\epsilon/T \leq \alpha \leq \epsilon$  aralığında seçilmektedir.

### 2.3.3. İzdüşürülen gradyan iniş saldırısı

#### 2.3.3. Projected gradient descent attack

Madry vd. (2017) tarafından önerilen PGD saldırısı,  $\mathbf{x}$  giriş görüntüsünü küçük adım boyutlarıyla  $T$  adımı sayısınca bozmaktadır. Bozulmanın her bir adımından sonra PGD çekişmeli örneği eğer ötesine geçerse  $\mathbf{x}$  örneğini  $\epsilon$ -küresine geri yansıtılmaktadır.

$$\mathbf{x}^t = \Pi_{\epsilon}(\mathbf{x}^{t-1} + \alpha \text{sign}(\nabla_{\mathbf{x}}\mathcal{L}(h(\mathbf{x}^{t-1}), y))) \quad (3)$$

Burada  $\alpha$ ; adım boyutu,  $\Pi(\cdot)$ ; izdüşürme fonksiyonunu ve  $\mathbf{x}^t$ ; t. adımdaki ( $\mathbf{x}^0 = \mathbf{x}$ ) çekişmeli örneği ifade etmektedir. BIM yönteminden farklı olarak PGD  $\mathbf{x}^t = \mathbf{x} + U^d(-\epsilon, \epsilon)$  için rastgele bir başlangıç noktası kullanılmaktadır. Burada,  $U^d(-\epsilon, \epsilon)$ ,  $-\epsilon$  ve  $\epsilon$  aralığında tekdüze dağılımı ifade etmektedir. PGD yöntemi en güçlü birinci derecen saldırı yöntemi olarak kabul edilmektedir.

### 2.3.4. Carlini ve wagner saldırısı

#### 2.3.4. Carlini and wagner attack

CW saldırısı (Carlini vd., 2017) çekişmeli örnekler oluşturmak için önerilen en gelişmiş algoritmayı temsil etmektedir. CW saldırısının  $\ell_2$  ve  $\ell_{\infty}$  olmak üzere iki versiyonu bulunmaktadır. Madry vd. (2017) çalışmalarında önerdiği üzere hedeflenen CW saldırısının  $\ell_{\infty}$  versiyonu yinelemeli bir şekilde PGD algoritması ile (4) ve (5) eşitliği kullanılarak çözülmektedir.

$$\mathbf{x}^t = \Pi_{\epsilon}\left(\mathbf{x}^{t-1} - \alpha \text{sign}\left(\nabla_{\mathbf{x}}\hat{f}(\mathbf{x}^{t-1})\right)\right) \quad (4)$$

$$\hat{f}(\mathbf{x}^{t-1}) = \max(\mathbf{z}_y(\mathbf{x}^{t-1}, \boldsymbol{\theta}) - \mathbf{z}_{y_{max \neq y}}(\mathbf{x}^{t-1}, \boldsymbol{\theta}), -\kappa) \quad (5)$$

Burada  $\hat{f}(\cdot)$ , sınırlandırılmış optimizasyon problemi için asıl kayıp fonksiyonunun yerine geçen kayıp fonksiyonunu ifade etmektedir.  $\mathbf{z}_y$ ,  $y$  sınıfına göre lojit değerleri,  $\mathbf{z}_{y_{max \neq y}}$ , diğer sınıfların maksimum lojit değerlerini ve  $\kappa$ , saldırının güvenini kontrol eden bir parametreyi ifade etmektedir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Bu bölümde FGSM, BIM, PGD ve CW çekişmeli saldırıları uygulandıktan sonra rulmanın 10 farklı sağlık durumunun DRL modeli kullanılarak sınıflandırma doğrulukları incelenecektir. Önerilen değiştirilmiş DRL modeli, CWRU veri kümesi ile eğitilmiş ve herhangi bir saldırı uygulanmadan önce %99,98 doğruluk elde edilmiştir (Ayas & Ayas, 2021). Önerilen değiştirilmiş DRL modelinin eğitiminde kullanılan hiperparametrelerin seçimi Tablo 2’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan AML yaklaşımlarının parametreleri ise Tablo 3’te verilmiştir. Uygulanan çekişmeli saldırılar hedeflenmeyen saldırılar olup belirli bir sınıf etiketi vermeksizin DRL modelinin sadece yanlış sınıflandırma sonucu üretmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, deneyler esnasında sadece test örnekleri AML saldırı yöntemleri kullanılarak bozulmuştur.

**Tablo 2.** DRL modelinin eğitiminde kullanılan parametreler  
*Table 2. The parameters used in the training of DRL model*

Parametreler	Değerler
Optimizasyon yöntemi	Momentumlu stokastik gradyan inişi
Öğrenme katsayısı	$10^{-4}$
Momentum	0.9
Yığın boyutu	4
Epok sayısı	50

**Tablo 3.** AML saldırılarının parametre ayarlamaları:  $\alpha$ , adım boyutu;  $\varepsilon$ , maksimum pertürbasyon;  $i$ , iterasyon sayısı

*Table 3. The settings of AML attacks:  $\alpha$ , step size;  $\varepsilon$ , maximum perturbation;  $i$ , iteration number*

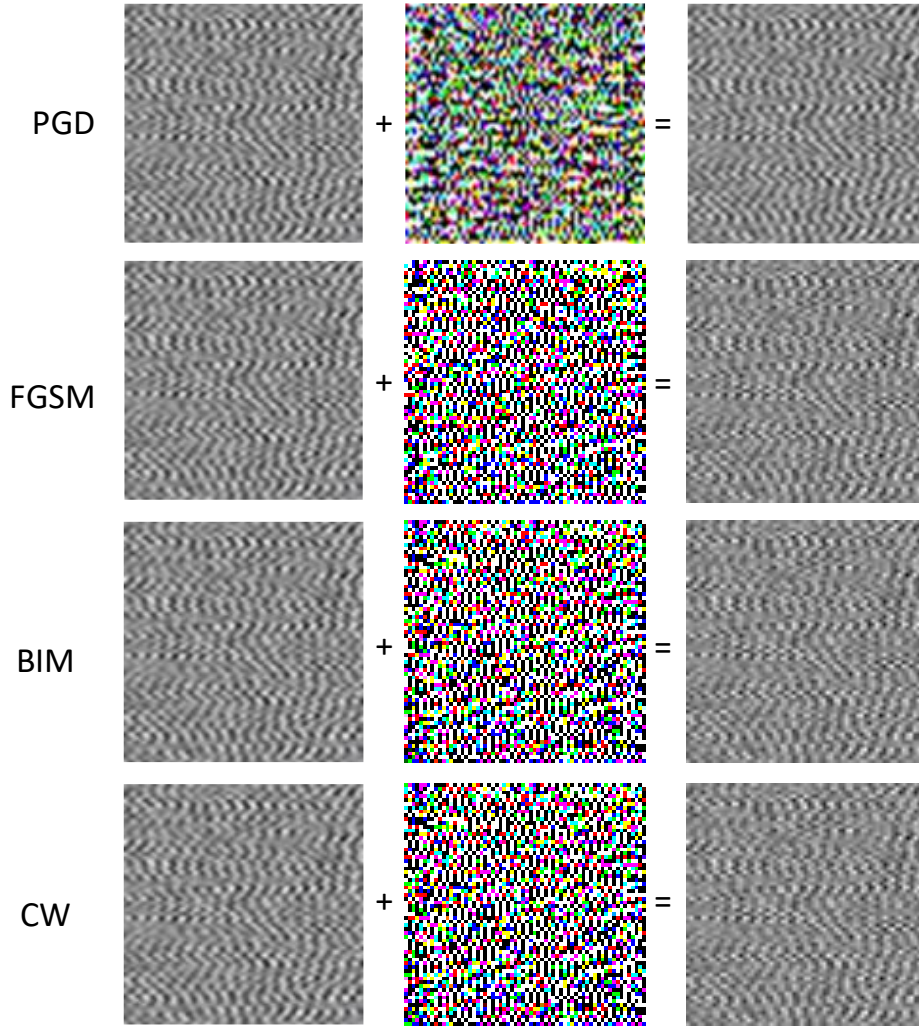
Saldırı yöntemi	Parametreler
FGSM	$\alpha=0.0005$ , $\varepsilon=(1/255, 2/255, 3/255)$ , $i=1$
BIM	$\alpha=0.0005$ , $\varepsilon=(1/255, 2/255, 3/255)$ , $i=40$
PGD	$\alpha=0.0005$ , $\varepsilon=(1/255, 2/255, 3/255)$ , $i=40$
CW	$\alpha=0.0005$ , $\varepsilon=(1/255, 2/255, 3/255)$ , $i=250$ , $\kappa=0$

Tablo 4, farklı pertürbasyon,  $\varepsilon$ , değerlerine bağlı olarak tüm saldırı yöntemlerinin uygulanmasıyla DRL modeli ile elde edilen sınıflandırma doğruluklarının karşılaştırmalı sonuçlarını göstermektedir. Burada  $\varepsilon$  değeri başlangıçta 1/255 olarak seçilmiş ve 1/255 değeri ile artırılarak  $\varepsilon$  parametresinin sınıflandırma doğruluğuna etkisi analiz edilmiştir. Rulman arıza teşhis sistemi tarafından ölçülen ham titreşim sinyallerinden dönüştürülen görüntüler 8 bit olduklarından dolayı dinamik aralığın 1/255’inin altındaki tüm bilgilerin göz ardı edilmesini önlemek için  $\varepsilon$  artışı 1/255’ten büyük olacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 4’teki sonuçlar incelendiğinde beklenildiği üzere tüm yöntemler için çekişmeli pertürbasyon değerinin artışı sınıflandırma doğruluğunda büyük bir düşüşe neden olmaktadır. Tek iterasyonda hesaplanan FGSM saldırısı 1/255 pertürbasyon değerinde modelin sınıflandırma doğruluğunu %99,98’den %68,38’e düşürdüğü ve çoklu iterasyona sahip BIM, PGD ve CW saldırıları ise sınıflandırma doğruluğunu sırasıyla %61,75, %61,88 ve %63,31’e düşürdüğü görülmektedir.  $\varepsilon$  pertürbasyon değerindeki artış bütün saldırılar için sınıflandırma doğruluğunu azaltmıştır. Değiştirilmiş DRL modeli FGSM saldırısına karşı daha dayanıklı olup  $\varepsilon=3/255$  için %31,81 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Üretilen pertürbasyon ve oluşturulan çekişmeli örnekler Şekil 3’te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere oluşturulan çekişmeli görüntüler orijinal görüntülere oldukça benzemektedir.

**Tablo 4.** Farklı  $\varepsilon$  değerlerine bağlı AML saldırılarının sınıflandırma doğruluğuna etkisi  
*Table 4. The effect of AML attacks on classification accuracy with different values of  $\varepsilon$*

Saldırı yöntemi	$\varepsilon = 1/255$	$\varepsilon = 2/255$	$\varepsilon = 3/255$
FGSM	%68,38	%47,81	%31,81
BIM	%61,75	%34,63	%10,06
PGD	%61,88	%35,19	%14,00
CW	%63,31	%37,38	%10,00



**Şekil 3.** Önerilen değiştirilmiş DRL modelini kandırmak için kullanılan çekişmeli makine öğrenmesi saldırı yöntemlerinin 0\_18ball sınıfı için örnek görüntüleri. Sol: temiz görüntü, orta: çekişmeli makine öğrenmesi yöntemleriyle oluşturulan çekişmeli pertürbasyonlar, sağ: çekişmeli örnekler

**Figure 3.** Examples of adversarial machine learning attacks for 0\_18ball class to fool the proposed modified DRL model. Left: clear images, middle: adversarial perturbations generated by the adversarial machine learning attack methods, right: adversarial samples

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada rulman arıza teşhis sistemlerinde kullanılan DL modellerinin maruz kalacağı AML saldırıları karşısındaki davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda değiştirilmiş DRL modeli kullanan bir teşhis sistemine FGSM, BIM, PGD ve CW saldırıları uygulanarak modelin sınıflandırma doğruluğuna etkileri gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, teşhis sistemine uygulanan bu saldırılardan BIM yönteminin modelin sınıflandırma doğruluğunu %61,75 oranına düşürerek en çok yanlış teşhise neden olduğunu ve buna karşın FGSM yönteminin ise %68,38 oranına düşürerek en dayanıklı çekişmeli makine öğrenmesi yöntemi olduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar, AML'nin mevcut DL modellerine uygulanmasının mümkün olduğunu ve oldukça küçük pertürbasyonlar için bile, modelin teşhis sistemindeki sınıflandırma doğruluğunu azalttığını ve yanlış teşhislere neden olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, oluşturulan çekişmeli örneklerin orijinal görüntülerden insan gözüyle net bir şekilde ayrıştırılmadığı sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalar, DL modellerini çekişmeli örneklere karşı savunmak için en etkili yaklaşımlardan biri olan çekişmeli eğitimin rulman arıza teşhis sistemlerinde DL modellerine uygulanan AML saldırılarına karşı etkisini incelemeyi içermektedir.

**Teşekkür***Acknowledgement*

Yazarlar, 2219 programı kapsamında verdikleri destek için TÜBİTAK'a ve makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür etmektedir.

**Yazar katkısı***Author contribution*

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkıda bulunmuştur.

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

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

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

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Kaynaklar***References*

- Akhtar, N., Mian, A., Kardan, N., & Shah, M. (2021). Advances in adversarial attacks and defenses in computer vision: A survey. *IEEE Access*, 9, 155161-155196. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3127960>
- Anthi, E., Williams, L., Rhode, M., Burnap, P., & Wedgbury, A. (2021). Adversarial attacks on machine learning cybersecurity defences in industrial control systems. *Journal of Information Security and Applications*, 58, 102717. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2020.102717>
- Ayas, S., & Ayas, M. S. (2022). A novel bearing fault diagnosis method using deep residual learning network. *Multimedia Tools and Applications*, 81, 22407–22423. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11617-1>
- Brown, T. B., Mané, D., Roy, A., Abadi, M., & Gilmer, J. (2017). Adversarial patch. *arXiv preprint arXiv:1712.09665*.
- Chen, X. W., & Lin, X. (2014). Big data deep learning: challenges and perspectives. *IEEE Access*, 2, 514-525. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2325029>
- Chen, Z., Mauricio, A., Li, W., & Gryllias, K. (2020). A deep learning method for bearing fault diagnosis based on cyclic spectral coherence and convolutional neural networks. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 140, 106683. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.106683>
- Demir, H. G., & Müştak, O. (2021). Rulman hasarlarının titreşim ve gürültü analizi ile tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 571-581. <https://doi.org/10.31590/ejosat.869285>
- Gao, Z., Cecati, C., & Ding, S. X. (2015). A survey of fault diagnosis and fault-tolerant techniques—Part I: Fault diagnosis with model-based and signal-based approaches. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(6), 3757-3767. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2417501>
- Goodfellow, I. J., Shlens, J., & Szegedy, C. (2014). Explaining and harnessing adversarial examples. *arXiv preprint arXiv:1412.6572*.
- Guo, L., Lei, Y., Xing, S., Yan, T., & Li, N. (2018). Deep convolutional transfer learning network: A new method for intelligent fault diagnosis of machines with unlabeled data. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(9), 7316-7325. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2877090>

- Jia, F., Lei, Y., Guo, L., Lin, J., & Xing, S. (2018). A neural network constructed by deep learning technique and its application to intelligent fault diagnosis of machines. *Neurocomputing*, 272, 619-628. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.07.032>
- Khorram, A., Khalooei, M., & Rezghi, M. (2021). End-to-end CNN+LSTM deep learning approach for bearing fault diagnosis. *Applied Intelligence*, 51(2), 736-751. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01859-1>
- Kumar, R. S. S., Nyström, M., Lambert, J., Marshall, A., Goertzel, M., Comissoneru, A., Swann, M., & Xia, S. (2020). Adversarial machine learning-industry perspectives. *IEEE Security and Privacy Workshops (SPW)* (pp. 69-75), USA. <https://doi.org/10.1109/SPW50608.2020.00028>
- Kuppa, A., Grzonkowski, S., Asghar, M. R., & Le-Khac, N. A. (2019). Black box attacks on deep anomaly detectors. *14th International Conference on Availability, Reliability and Security* (pp. 1-10), United Kingdom. <https://doi.org/10.1145/3339252.3339266>
- Kurakin, A., Goodfellow, I., & Bengio, S. (2016). Adversarial machine learning at scale. *arXiv preprint arXiv:1611.01236*.
- Kurakin, A., Goodfellow, I. J., & Bengio, S. (2018). Adversarial examples in the physical world. Roman V. Yampolskiy (Ed.), *Artificial intelligence safety and security* (ss. 99-112). Chapman and Hall/CRC.
- Liu, Z. H., Lu, B. L., Wei, H. L., Chen, L., Li, X. H., & Rätsch, M. (2019). Deep adversarial domain adaptation model for bearing fault diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51(7), 4217-4226. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2019.2932000>
- Madry, A., Makelov, A., Schmidt, L., Tsipras, D., & Vladu, A. (2017). Towards deep learning models resistant to adversarial attacks. *arXiv preprint arXiv:1706.06083*.
- Moosavi-Dezfooli, S. M., Fawzi, A., & Frossard, P. (2016). Deepfool: a simple and accurate method to fool deep neural networks. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2574-2582), USA.
- Park, Y. J., Fan, S. K. S., & Hsu, C. Y. (2020). A review on fault detection and process diagnostics in industrial processes. *Processes*, 8(9), 1123. <https://doi.org/10.3390/pr8091123>
- Rozsa, A., Rudd, E. M., & Boulton, T. E. (2016). Adversarial diversity and hard positive generation. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 25-32), USA.
- Sayles, A., Hooda, A., Gupta, M., Chatterjee, R., & Fernandes, E. (2021). Invisible perturbations: physical adversarial examples exploiting the rolling shutter effect. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 14666-14675), USA.
- Suciu, O., Marginean, R., Kaya, Y., Daume III, H., & Dumitras, T. (2018). When does machine learning FAIL? generalized transferability for evasion and poisoning attacks. *27th USENIX Security Symposium* (pp. 1299-1316), USA.
- Szegedy, C., Zaremba, W., Sutskever, I., Bruna, J., Erhan, D., Goodfellow, I., & Fergus, R. (2013). Intriguing properties of neural networks. *arXiv preprint arXiv:1312.6199*.
- Vakhshiteh, F., Nickabadi, A., & Ramachandra, R. (2021). Adversarial attacks against face recognition: A comprehensive study. *IEEE Access*, 9, 92735-92756. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092646>
- Wen, L., Li, X., Gao, L., & Zhang, Y. (2017). A new convolutional neural network-based data-driven fault diagnosis method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(7), 5990-5998. <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2774777>
- Wen, L., Gao, L., & Li, X. (2019). A new deep transfer learning based on sparse auto-encoder for fault diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 136-144. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2754287>
- Xu, P., Kolosnjaji, B., Eckert, C., & Zarras, A. (2020). Manis: Evading malware detection system on graph structure. *35th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 1688-1695), Czech Republic.



- Xu, Y., Li, Z., Wang, S., Li, W., Sarkodie-Gyan, T., & Feng, S. (2021). A hybrid deep-learning model for fault diagnosis of rolling bearings. *Measurement*, *169*, 108502. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108502>
- Zhao, J., Yang, S., Li, Q., Liu, Y., Gu, X., & Liu, W. (2021). A new bearing fault diagnosis method based on signal-to-image mapping and convolutional neural network. *Measurement*, *176*, 109088. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109088>

## Investigation of the structural damage caused by blasting activities in tunnels to surrounding buildings: The case of Gümüşhane belt highway

*Tünellerde patlatma faaliyetlerinin çevre binalara verdiği yapısal hasarın incelenmesi: Gümüşhane çevre yolu örneği*

Mehmet Tevfik SEFEROĞLU<sup>1</sup> , Ayşegül Güneş SEFEROĞLU\*<sup>1</sup> , Enver AKARYALI<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Department of Civil Engineering, 29100, Gümüşhane, Türkiye

<sup>2</sup>Gümüşhane University, Department. of Geological Engineering, 29100, Gümüşhane, Türkiye

• Received: 21.09.2022

• Accepted: 14.12.2022

### Abstract

Tunnels are road transport structures that reduce traffic and expropriation problems, noise, and possible damage to animals and plants, and provide safer, more comfortable, and faster transportation for vehicles compared to highways. However, some environmental problems occur during tunnel construction. These problems such as vibration, noise, rock throwing, etc. caused by the blasting process used during tunnel excavation on buildings and people should be well investigated. In this study, two buildings located close to the exit and entrance of two tunnels (T2 and T3 tunnels) on the Gümüşhane belt road were chosen to investigate. Firstly, the existing damages in the first building, which is 7 m away from the T2 tunnel exit, and the second building, which is 60 m away from the T3 tunnel entrance, were analyzed by considering criteria such as the geological and ground condition of the land and the building materials used during the construction of those building. In addition, the negative effects on the buildings were evaluated by calculating the vibrations after the blasting process in the tunnel with the help of various empirical formulas. Investigation on site showed that building 1 was built of masonry and building 2 was built of reinforced concrete, and that deep cracks had formed in the bearing systems of both buildings, spills occurred in the walls, and fractures in the windows. Also, calculations with empirical formulas showed that the vibration rates caused by blasting process in the 1st and 2nd buildings were as 385.68 mm/sec and 6.91 mm/sec, respectively, and these vibration values were above the standard values. The data obtained through examination on-site and empirical approaches show that it would be dangerous for people to be resident in both buildings.

**Keywords:** Damage assessment, Structural damage, Tunnel blasting, Vibrational hazard

### Öz

Tüneller, trafik ve kamulaştırma sorunlarını, gürültüyü, hayvan ve bitkilere gelebilecek olası zararları azaltan, karayollarına göre araçların daha güvenli, konforlu ve hızlı ulaşımını sağlayan karayolu ulaşım yapılarıdır. Ancak tünel yapımı sırasında bazı çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Tünel kazısı sırasında kullanılan patlatma işleminin binalar ve insanlar üzerinde yaratacağı titreşim, gürültü, kaya fırlatma vb. problemleri iyice araştırılmalıdır. Bu çalışmada, Gümüşhane çevre yolu üzerinde bulunan iki tünelin (T2 ve T3 tünelleri) giriş ve çıkışlarına yakın konumda bulunan iki bina incelenmek üzere seçilmiştir. İlk olarak T2 tüneli çıkışına 7 m uzaklıkta bulunan ilk binada ve T3 tünel girişine 60 m uzaklıkta bulunan ikinci binada mevcut hasarlar arazinin jeolojisi ve zemin durumu ve bu binaların inşası sırasında kullanılan yapı malzemeleri ve gibi kriterler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Ayrıca tünelde patlatma işlemi sonrası oluşan titreşimler çeşitli ampirik formüller yardımıyla hesaplanarak binalar üzerindeki olumsuz etkiler değerlendirilmiştir. Yerinde yapılan incelemede, 1. binanın yığma, 2. binanın betonarme olarak inşa edildiği, her iki binanın taşıyıcı sistemlerinde derin çatlaklar oluştuğu, duvarlarda dökülmeler ve camlarda kırıklar olduğunu göstermiştir. Ayrıca ampirik formüllerle yapılan hesaplamalar 1. ve 2. binalarda patlatma işleminden kaynaklanan titreşim hızlarının sırasıyla 385.68 mm/sn ve 6.91mm/sn olduğunu ve bu titreşim değerlerinin standart değerlerin üzerinde olduğunu göstermiştir. Yerinde inceleme ve ampirik yaklaşımlarla elde edilen veriler, insanların her iki binada da ikamet etmesinin tehlikeli olacağını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Hasar tespiti, Yapısal hasar, Tünel patlatma, Titreşim hasarı

\* Ayşegül G. SEFEROĞLU; agseferoglu@gumushane.edu.tr

## 1. Introduction

Tunnels are defined as underground structures that allow a part of the highway or railway to be built underground when it is not technically or economically feasible to construct over the ground (Öztürk, 2007). The province with the highest number of tunnels in Turkey's road network because of its mountainous geography is Gümüşhane. Gümüşhane city center is located on a valley between steep mountains. Therefore, it is possible to provide safe and comfortable transportation with highway tunnels. Within the provincial borders, there are a total of 52 tunnels open to traffic and under construction, and 15,803 m of the 496 km highway is crossed by tunnels. After the completion of the tunnels under construction, 30 km of the highway network will be passed through tunnels. When the projects are completed, transportation in 9% of the city's road network will be provided by tunnels.

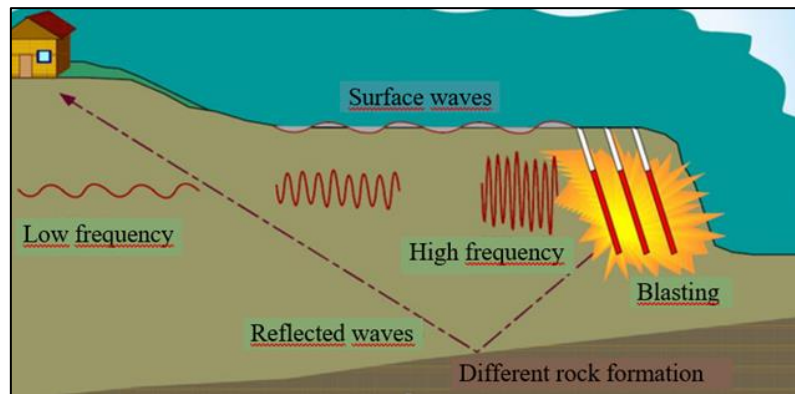
Tunnels are usually built by blasting. Blasting activities also have some negative effects on the environment and people. Blasts that may occur in or near structures (especially in masonry brick walls with a brittle collapse mechanism) cause serious structural damage or collapse, cause serious economic losses and, more importantly, endanger public safety (Altunışık et al., 2021). Any situation that arises during the usage period of a building is defined as damage in general terms if it exceeds the tolerance limits (Demir, 1999). Structural damage can be defined as the partial loss of standard or defined properties of a structure or a building element due to any reason during use (Yüksel, 2008).

The first damages in reinforced concrete structures start with thin plaster cracks and continue with the pouring of small pieces of plaster. These cracks do not affect the structural system safety of the building. The fact that the crack has been repaired and the crack is reopened after the repair indicates that the effect that created the crack continues. With the continuation of the effect, if "X" shaped cracks occur in the walls, large pieces of plaster fall due to the enlargement of crack openings, slipping of roof tiles, cracks in the chimneys and some chimney parts falling down, the structures can be considered as moderately damaged structures. Moderately damaged structures can be reused by repair or reinforcement. The occurrence of large cracks in the walls and the collapse of the chimneys indicate that the structure is heavily damaged. The rupture of the building walls, the collapse of some parts of the building and the loss of connection of the parts separated by joints are defined as debris. The collapse of the buildings as a whole can be defined as heavy debris. Heavy damage to the structure indicates that the structural system elements (column, beam) are damaged. In this case, the bearing capacity of the structure or the load-bearing system decreases and it is likely that collapse or heavy debris damage may occur (Yüksel, 2008). Based on the detailed literature review, it is observed that the structural elements are too sensitive to the blast loading (Senthil et al., 2020).

Progress in mining and tunneling activities is achieved by excavation and blasting the rocks. The main purpose of blasting for the excavation process is to separate the rock from the ground. The shock wave energy, which provides disintegration by blasting, not only breaks the rock but also passes through the solid rock in seismic waves and propagates in the field until it is completely damped. There are two ways in which the energies of such waves can be damped. The first is the physical and geological resistance of the rock structure, the second is the geometrically spreading of the seismic wave to a wider area as it moves away from its source. In this damping process, energy waves can cause damage to buildings and anxiety for residents. The environmental problems here are an indication that not all of the explosive energy is used for blasting. During the propagation of shock waves, vibration frequency decreases as well as vibration energy (Karakuş, 2012). In the damage caused by the blast effect in the surrounding buildings, besides the vibration energy level, the building material, building dimensions, and the geological characteristics of the ground on which the foundation of the building is located are also effective. Energy propagation can progress in different directions and intensities according to geological formations within the rock.

Ground vibrations caused by blasting have earthquake-like effects. Therefore, the resulting structural damages are also similar. It is important to evaluate the vibration effects of seismic waves that occur as a result of blasting in areas close to buildings, on the aboveground and underground structures and slopes. The blasts carried out in the tunnel areas are very likely to damage the surrounding rural buildings (village houses, barns, etc.). Because explosive materials used in tunnel excavation works propagate different vibration waves around. The resulting vibration causes some adversities such as cracks and vibrations on the buildings and houses starting from the closest one in the vicinity.

Damaging effects such as rock throwing, dust emission, air shock, and noise caused by the blasting process are reflected in the nearby environment in a very short time. However, the vibration caused by seismic shock waves arising from blasting can be felt in a wider area by spreading in a certain speed, frequency and amplitude in the blasted rock unit as in the air. The speed of movement of a particle in the ground is called the peak particle velocity (PPV). Particle velocity starts at zero, reaches its highest value, and gradually damps. Therefore, one of the most important features in ground vibration studies is the highest particle velocity. Because the higher the speed value, the more severely the structure or ground is shaken. A greater area or distance is required for a greater particle velocity to be damped. The greater the vibrations cause them to be felt from an area farther from the blasting point, while the more destructive effect it has on structures in the near regions. The propagation of shock waves continues until their energy is exhausted. Transport of seismic waves depends on various factors: distance traveled, ground investigation, geology, wave type, discontinuities, frequency, refractive angle, source structure, spherical propagation and elastic properties of the environment (Gümüüşü et al., 2016). In homogeneous structures, the wave spreads more easily, and some part of the wave is reflected back in fractured structures or fault layers (Figure 1). Based on this information, another parameter that should be considered while preparing the blasting pattern is the geological characteristics of the area.



**Figure 1.** Vibration waves caused by blasting (Gümüüşü et al., 2016)

According to German DIN 4150-3, for frequency values lower than 10 Hz, the maximum permissible vibration (high particle velocity) value is determined as 3 mm/sec for protected structures and 5 mm/sec for buildings and similar structures. According to this specification, damage in the form of visible plaster cracks in buildings occurs when the vibration velocity exceeds 20 mm/sec and 12 mm/sec, respectively, for gypsum and sand plaster. For people to feel the vibrations, the vibration velocity must be greater than 0.25 mm/s (DIN, 1999).

According to the classification of building damage that may occur due to the blasting effect developed by U.S. Department of the Interior Bureau of Mines (USBM), damage to buildings is defined in three ways: threshold damage, slight damage and heavy damage (Siskind et al., 1993). Threshold damage covers only visual damage, which consists of hairline cracks in paint and plaster. Slight damage is damage that can be seen in the form of plaster falling and cracks expanding up to 3 mm, but that does not affect the strength of the structure and the load-bearing capabilities of the structural elements. Heavy damage is the damage that causes wide cracks in the building walls, stone and bricks fall from the walls and chimneys, resulting in permanent deformations in the building and weaken the structure. Table 1 gives the values that safe vibration speeds should be according to the frequencies depending on the types of structures. The values in the table are chosen lower than the values observed to occur threshold damage. If these values are met, it is accepted that the probability of surface crack formation can be at most 5% (Küçük & Aksoy, 2017).

**Table 1.** Safe vibration speed levels according to USBM (Küçük & Aksoy, 2017)

Building type	Vibration speed, mm/sec	
	Low frequency (< 40 Hz)	High frequency (>40 Hz)
Modern structures	19	50.8
Old buildings (with wooden elements)	12.7	50.8

In Turkey, "Regulation on Assessment and Management of Environmental Noise (RAMEN) (RAMEN, 2010)" has been prepared which covers the principles and procedures for environmental vibrations and environmental noise that people exposed to. According to this regulation, the highest permissible values of ground vibrations that will be caused by vibrations that will occur due to blasting in mines and quarries and similar areas outside the closest very sensitive area of use are given in Table 3. In the relevant regulation, the damage limits vary according to the vibration frequency generated by the blasting. The ground vibration level cannot exceed the limit values in the Table 2.

**Table 2.** The vibration speeds depending on the blasting frequency (Forsssblad, 1981)

Vibration frequency (Hz)	Maximum permissible vibration speeds (Peak value-mm/sec)
1	5
4-10	19
30-100	50

It is possible to measure the effect of the vibration generated by the blast on the surrounding structures and air shock and vibration measuring devices are used for this. However, the estimated peak particle velocity that may occur after blasting can be calculated by using the "Devine Equation", thanks to the data obtained from the blasting designs in areas where blasting has not yet been performed or measurement has not been made during blasting (Equation 1).

$$V = k \times \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} \quad (1)$$

Here; V; vibration speed propagated in the rock (in./sec), k; coefficient depending on the rock type (26-260),  $\beta$ ; is site constant, D; the effective distance between the blast point and the surrounding buildings (feet), W; is the amount of explosive in a lag interval (pounds) (1 feet=0.3048 m, 1 pound=0.4536 kg, 1 in.=25.4 mm).

Vibration values are calculated taking into account the total amount of explosives per lag interval. The coefficient "k" in the relation is the rock's capacity to transmit vibration. The variability of the units between the blast source and the sensitive point, the density of discontinuities such as fractures, faults, and cracks affect the coefficient k. While the coefficient k is around 260 in homogeneous units, the intensity of tectonic effects and the coefficient for each different unit passed is around 26.

Vibration speed values are based on the closest building unit according to the distances found with the Devine Relation. Vibration speed at the foundation of the building is expressed as  $V_0$  1/2 to 1/5 times the vibration speed in the rock (V) is accepted as the  $V_0$  value (Forsssblad, 1981). Vibration speeds occurring in building foundations ( $V_0$ ) depending on the evaluation of the building types that may be damaged due to blasting are given in Table 3.

**Table 3.**  $V_0$  values that may occur depending on the building types (Forsssblad, 1981)

Building type	$V_0$ (mm/sec)
a- Very old historical buildings that are about to collapse	2
b- Plastered briquette, adobe, masonry brick buildings	5
c- Reinforced concrete buildings	10
d- Industrial buildings with very solid structures such as factories	10-40

Studies in the literature have shown that the Devine equation alone is not sufficient, due to the changes in rock parameters and uncertainty of in situ conditions. It has been determined that there is another study using a total of 1089 blast data published by various researchers in different rock areas. In this study, a new generalized empirical model for PPV (Equation 2) is proposed, taking into account the effects of rock parameters such as



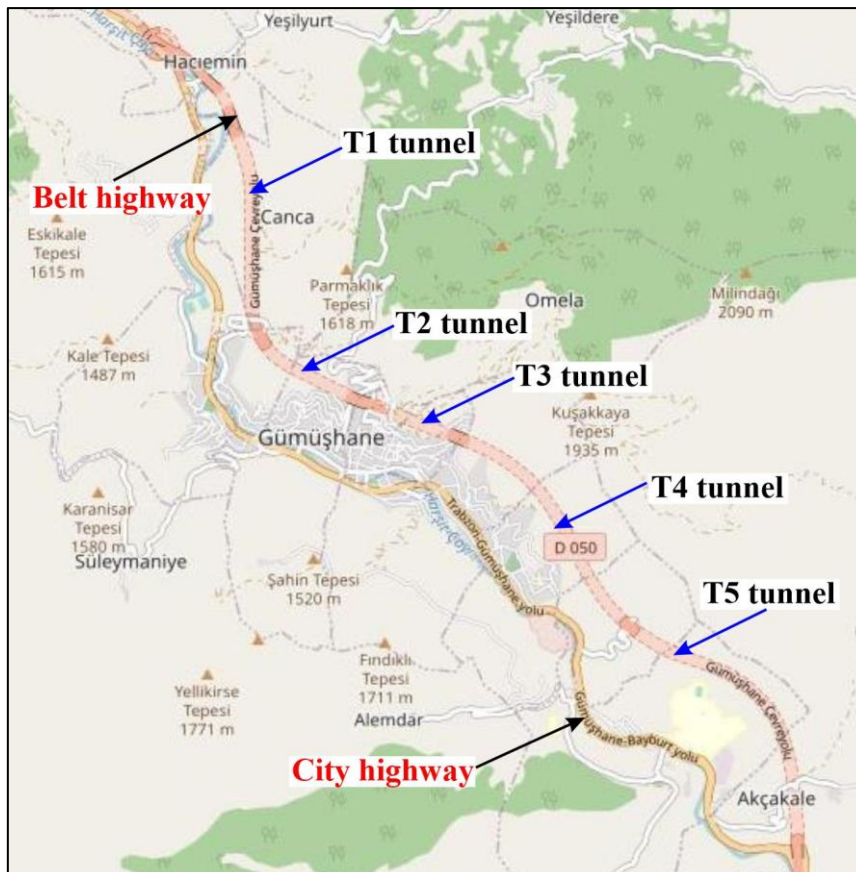
unit volume weight ( $\gamma$ ), rock quality definition (RQD), geological strength index (GSI) and uniaxial compressive strength (UCS) (Kumar et al., 2016).

$$v = \frac{(0.3396 \times 1.02^{GSI} GSI^{1.13})^{0.642} D^{-1.463}}{\gamma} \quad (2)$$

where  $v$  is the PPV (m/s);  $D$  is the scaled distance (m/kg<sup>1/2</sup>), which is defined as the ratio of distance from charge point,  $R$  (m), to the square root of charge mass,  $Q$  (kg), expressed in TNT net equivalent charge weight, i.e.  $D=R/Q^{1/2}$ .

## 2. Material and method

Gümüşhane is located on one of the important transit routes of the historical Silk Road. This route connects the Eastern Black Sea ports to the Eastern and Southeastern Anatolia Region and Southeast Asia. However, due to unsuitable terrain conditions, the single carriageway with two lanes undivided highway passing through the city is also used as a transit way until 2019. Averages of 8.000 vehicles per day are transiting this highway. This situation led to both the locking of urban traffic and the decrease in traffic safety. A high-standard belt highway is built in 2019 to ensure that the vehicles using the highway in the city for transit purposes can participate in the intercity traffic fluently. At the same time, vehicles going to the Bayburt-Erzurum direction or Trabzon direction do not enter the traffic in the city by using this road. As a result, while the traffic density in the city highway is decreased, driving comfort, shorter travel time, fuel saving and higher traffic safety are provided for the vehicles using the belt highway. Satellite image of the highway passing through the city and belt highway are given in Figure 2.



**Figure 2.** Satellite image of Gümüşhane city highway and belt highway

Five dual-tube highway tunnels named T1, T2, T3, T4 and T5 are built on the belt highway. Some information about these tunnels is shown in Table 4. The method to be selected is the New Austrian Tunneling Method (NATM). Drill and blast method is used for the excavation. There are many residential areas on the belt



highway route (Liu et al., 2020). In this study, the effect of blasting in the belt highway tunnels on the surrounding buildings is examined.

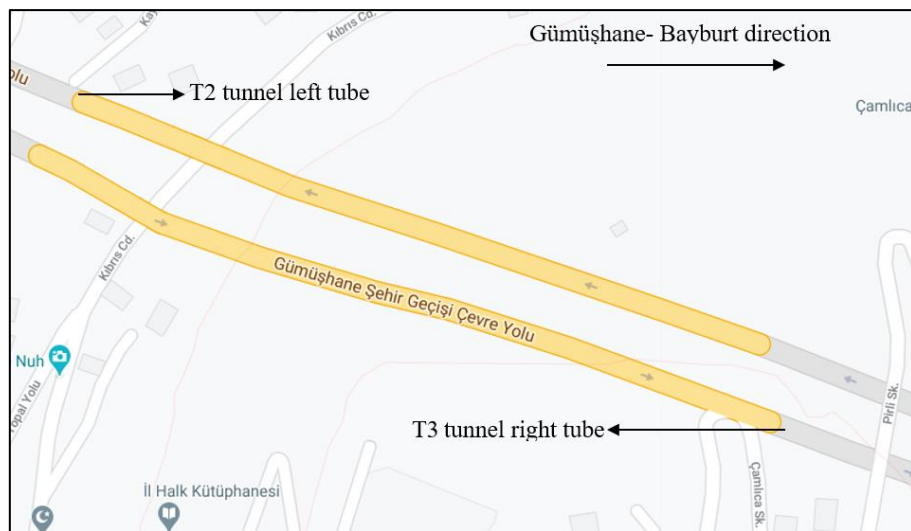
**Table 4.** Highway tunnels on the Gümüşhane belt highway

Tunnel	Number of tubes	Tube lengths (m)	
		Left tubes*	Right tubes*
T1	2	1.725	1.700
T2	2	929	936
T3	2	754	665
T4	2	2.255	2.245
T5	2	2.564	2.538

\* Designations are made according to Gümüşhane-Bayburt direction

## 2.1. Study area

Two sample buildings, at the entrance and exit of the belt highway tunnels in the Central District of Gümüşhane Province, are selected as the study area. T2 and T3 tunnels are examined as they are the closest tunnels to the buildings (Figure 3).



**Figure 3.** Satellite image of the examined tunnels

The building on the left tube side at the exit of T2 tunnel in Hasanbey District on the belt highway route in the direction of Gümüşhane-Bayburt is named as the 1st building, and the building on the right tube side at the entrance of the T3 tunnel in the Çamlıca District in the same direction is named as the 2nd building. Satellite image of the locations of the buildings is given in Figure 4, the location of the 1st building to the tunnel entrance is given in Figure 5a, and that of the 2nd building is given in Figure 5b.



Figure 4. Satellite image of the buildings



Figure 5. The positions of the structures to the tunnel entrance; a) 1st and b) 2nd buildings



The 1st building is built in masonry style and is plastered both inside and outside. The building is single storey. The 2nd building is built in reinforced concrete style and is plastered inside and outside. This building consists of two floors, including the penthouse. The buildings are about 40-45 years old. General views of the buildings are given in Figure 6.



**Figure 6.** General views of the buildings; (a, b) 1st and (c, d) 2nd building

The buildings are subject to the 1975 Turkey Earthquake Regulations as of the period they are built. There is no static or architectural project belonging to the buildings, and the structures are not built-in accordance with the requirements of the regulation.

## 2.2. Geology of the study area

Alibaba Formation (Tokel, 1977) is observed in the area where the 1st building 7 m northwest of the left tube exit of the T2 tunnel. This formation mainly consists of andesite, basalt and their pyroclasts. Although the rocks in the formation are generally observed in fissured and fractured structures, the andesitic rocks at the basement of the 1st building are massive (Figure 7a). The distance between the 2nd building and the explosion/excavation site (entrance of T3 tunnel right tube) is measured as approximately 60 m. In addition, the distance of the building to the direction of the tunnel is measured as 7 m. The geological units in the building area and the tunnel construction site are similar. Besides, Gümüşhane Granitoid (Yılmaz, 1972; Topuz et al., 2010), which outcropped generally as fractured and formation of sand by weathering (arenization) of granite, are observed in the area of the 2nd building and T3 tunnel (Figure 7b).



**Figure 7.** Field view of (a) the fissured and fractured andesite and (b) arenization of granite

### 3. Analysis of vibration data

The increase in the magnitude of blast load will significantly increase the intensity of damage to be caused to the tunnel and the surrounding ground media (Senthil, 2021). The maximum amount of explosive used in a hole in the drilling and blasting process carried out in the tunnel construction of Gümüşhane belt highway is 15 kg.

Field and laboratory studies were carried out by (Alemdağ et al., 2011; Kaya et al., 2011; Alkan & Dağ, 2018) to determine the rock mass and material properties of the Gümüşhane Granitoid and Monzogranite. In field studies, rock masses were classified according to the degree of weathering in accordance with the ISRM (1981) definition criteria. RQD values for moderately and heavily weathered granite were found to be 70% and 59%, respectively. With the help of data obtained from field and laboratory studies, rock masses were classified according to RMR89 (Bieniawski, 1989) and Q (Barton et al., 1994) rock mass classification systems and GSI (Sönmez & Ulusay, 2002) values were determined. GSI values for moderately and heavily weathered granite were found to be 39 and 28, respectively (Alemdağ et al., 2011). GSI values for andesite were found to be 64 (Alemdağ & Kanık, 2020).

The methods proposed by ISRM (2007) were used to determine the physical properties of the rock material. The unit volume weights were determined by using the dry and saturated masses of the rocks. As a result of 30 different tests for Gümüşhane monzogranites and andesite, the unit volume weight value was found to be 25.66 KN/m<sup>3</sup> and 25.13 KN/m<sup>3</sup> on average, respectively (Alkan & Dağ, 2018).

For weak rock masses, the RQD is zero (Kumar et al., 2016). In such cases, it is more beneficial to use the GSI value rather than the RQD value (Marinos et al., 2005). Introduced by (Hoek, 1994), GSI is a rock mass characterization system used to estimate rock mass strength for different geological conditions defined by field observations.

No measurement value was taken for the peak particle velocity (PPV) that will occur in the blasting process for the tunnel excavation carried out previously in this area. Therefore, the estimated PPV values are calculated according to the distance by using the blast design data in the Equation 2. Building foundation vibration speeds ( $V_0$ ) due to blasting in T2 and T3 tunnels are calculated according to different distances (Table 5). While calculating, vibration values are calculated by taking into account the total amount of explosives per lag interval.



**Table 5.** Building foundation vibration speeds depending on distance

D (m)	W (kg)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	V (mm/sec)	V <sub>0</sub> (mm/sec)	
				V*1/2	V*1/5
<b>1st building</b> (andesite, GIS:64 (Alemdağ & Kanık, 2020), $\gamma$ : 25,13 (Alkan & Dağ, 2018))					
<b>*7</b>			385.68	192.84	77.14
10			228.88	114.44	45.78
20	15	25.13	83.02	41.51	16.60
40			30.12	15.06	6.02
60			16.64	8.32	3.33
<b>2nd building</b> (granite, GIS:33.5 (Alemdağ et al., 2011), $\gamma$ : 25,66 (Alkan & Dağ, 2018))					
20			34.50	17.25	6.9
40			12.51	6.25	2.50
<b>60</b>	<b>15</b>	<b>25.66</b>	<b>6.91</b>	<b>3.45</b>	<b>1.38</b>
80			4.53	2.26	0.90
100			3.27	1.63	0.65

After the observations and examinations made in the field, the 1st building was determined as a class b (i.e., masonry brick buildings such as plastered briquette, briquette, adobe or brick house). These types of buildings are among the building types that can be damaged even at low vibration velocity that may occur after blasting. Therefore, the V<sub>0</sub> speed in the foundation of the building should not exceed 5 mm/sec according to Table 3. The vibration speed value generated by a blasting at the exit of the T2 tunnel calculated in Table 5 at a distance of 7 m was 385.68 mm/sec. It is observed that the vibration values on the foundation (V<sub>0</sub>) of the 1st building created by this vibration are between 192.84 mm/sec and 77.14 mm/sec. The fact that these vibration values are above the limit value of 5 mm/sec indicated that the cracks that may occur in the 1st building may be caused by blasting.

As a result of the damage investigations carried out on the 1st building, it is determined that deep and surface cracks are formed in the load-bearing walls of the building, there are spillages in the wall plaster, fractures occurred in the windows, and the roof pillars in the attic are separated from the floor. The visuals regarding the damage detected on the building are shown in Figure 8.

Damaged parts detected in the building are also located on the masonry walls that form the load-bearing system of the building. Crack openings in the walls vary between 1-5 mm. Although it is necessary to renew the roof in order to eliminate the damage on the roof, the carrier system should be given priority when looking at the condition of the ceiling floor and walls on which the roof will sit. There are also damaged parts on the supporting walls. Considering the current condition, age and depreciation of the building, it will be appropriate and reliable to be demolished and rebuilt. Due to the severe damage to the building, accommodation is not suitable.

The 2nd building is classified as "c class; reinforced concrete building" among the types of buildings that can be damaged due to blasting depending on the vibration speed values. Therefore, the V<sub>0</sub> speed in the foundation of the building should not exceed 10 mm/sec according to Table 3. The fact that the V<sub>0</sub> speed calculated according to V\*1/2 is 3.45 mm/sec showed that the vibration caused by the blasting cannot cause damage to the 2nd building. However, as the tunnel route is in the direction of the 2nd building, the distance from the blast point to this building become shorter and shorter as it moves through the tunnel, and the potential of the building to receive damage due to the effect of increasing vibration. It is known that seismic waves continue to propagate until their energy is depleted. There are two reasons for the energies of such waves to be extinguished. The first is the physical and geological resistance of the rock structure, and the second is the geometrical spread of the seismic wave to a wider area as it moves away from its source. Massive andesites in the area where the 1st building is located transmit the energies of seismic waves faster. On the other hand, cracked and weathered granites in the area of the 2nd building absorb the energies of seismic waves more quickly.



**Figure 8.** Damaged parts detected in the 1st building

As a result of the damage examination carried out on the 2nd building, it is observed that deep and surface cracks are formed on the load-bearing walls of the building, there are spillages in the wall plaster, deep cracks are formed in the surrounding pavements, and cracks are formed in the ceiling floors. The visuals of the damage detected on the building are given in Figure 9.



**Figure 9.** Damaged parts of the 2nd building

The damaged parts detected on the building are located on the masonry walls and ceiling reinforced concrete floors that form the carrier system of the building. Crack openings in the walls vary between 1-3 mm.



Considering the current condition, age and depreciation of the building, it will be more appropriate and reliable to demolish and rebuild it. As such, it does not seem appropriate to live in the building.

According to RAMEN, in the table of the highest permissible values of ground vibrations that will occur due to blasting in mines and quarries and similar areas outside the closest building, the maximum permitted vibration speed value at a frequency of 30-100 Hz is 50 mm/sec. Based on the calculated values, the probable vibration speeds due to blasting in the 1st building located 7 m away from the T2 tunnel exit and in the 2nd building 60 m away from the T3 tunnel entrance are calculated as 385.68 mm/sec and 6.91 mm/sec, respectively. Therefore, the possible vibration velocity to occur after blasting around 1st building is more than the values specified in the standard.

#### **4. Discussion and conclusions**

##### *4. Tartışma ve sonuçlar*

The results obtained depending on the determination of damage to the structures caused by the field geology and blasting effect of the two sample buildings located close to the T2 and T3 tunnels built on the Gümüşhane Belt Highway route are as follows:

- Geological investigations showed that in the areas where the 1st and 2nd building are located, there are units of geological andesite, basalt and their pyroclasts with fractured and weathering of Gümüşhane Granitoid respectively.

- Considering that the distance between T2 tunnel exit and 1st building is 7 m; it is understood that the explosions made at the exit of the T2 tunnel caused the formation of cracks in the building.

- The vibration speeds due to blasting in the 1st and 2nd buildings are calculated as 385.68 mm/sec and 6.91 mm/sec, respectively, and these calculated values for 1st building are higher than the vibration values (5 mm/sec and 19 mm/sec) at 1 Hz and 4-10 Hz frequencies in the standards. It is determined that the vibrations that will occur at these frequencies have a high probability of damaging the surrounding 1st building. Because 1st building's vibration value are higher than the permissible maximum values of 50 mm/sec at 30-100 Hz according to Turkish Regulation on Assessment and Management of Environmental Noise (RAMEN).

- It is determined that the distance between the blast point and the 2nd building will be shortened with each blasting at the face of the tunnel and afterwards, as the T3 tunnel progress route is in the direction of the 2nd building, and therefore the damage effect of the vibrations on the building may increase.

- The German DIN 4150-3 norm is more protective than the Turkish damage classification. According to DIN 5140-3, the vibration at 5 mm/sec particle velocity should not be exceeded for reinforced concrete structures in open blasts where frequencies such as 1-10 Hz occur. However, according to the RAMEN, the limit value allowed at the same frequencies is a very high value, such as 19 mm/sec. This value is a destructive value for the village houses and non-reinforced concrete structures located around the mines and quarries. For this reason, it is very important to consider the German norms' damage limit values, which are on the safer side compared to the others, while performing the vibration analysis caused by blasting.

- As a result of the damage investigations, it is concluded that deep and surface cracks are formed in the walls and load-bearing elements of the buildings, there are spillages in the wall plaster, it is more convenient and safer to rebuild the buildings, considering the current condition, age and wear rate of the buildings.

Vibrations from blast excavations for tunneling activities can have devastating consequences for surrounding structures and people. For this reason, it is essential to conduct a good site investigation, increase the expropriation widths if necessary, and make accurate and complete analyzes to prevent financial losses and moreover, loss of life.

## Author contribution

All authors contributed to all parts of the article.

## Declaration of ethical code

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

## Conflicts of interest

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

## References

- Alemdağ, S., Kaya, A., Gürocak, Z., & Dağ, S. (2011). Farklı ayrışma derecesine sahip kaya kütlelerinin kazılabilirlik özellikleri: Gümüşhane Granitoyidi örneği, Gümüşhane, KD Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 35(2), 133-149.
- Alemdağ, S., & Kanık, M. (2020). Atık baraj yerindeki kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi: Gümüşhane örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3), 569-580. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.689750>
- Alkan, F., & Dağ, S. (2018). Gümüşhane yöresinde yüzeylenen magmatik kökenli bazı kayaların jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23,(2). <https://doi.org/10.17482/uumfd.409184>
- Altunışık, A.C., Önalın, F., & Sunca, F. (2021). Experimental, numerical and analytical investigation on blast response of brick walls subjected to TNT explosive. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 4(1), 28-45. <https://doi.org/10.31462/jseam.2021.01028045>
- Barton, N., & Grimstad, E. (1994). The Q-System following twenty years of application in NTM support selection. *43rd Geomechanic Colloquy, Felsbau, Salzburg*, 6 (94), 428-436.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.
- Demir, H. (1999). *Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi*, Second Edition. Fast print, İstanbul.
- DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) 4150-3. (1999). *Structural vibration-effects of vibration on structures*. <http://webstore.ansi.org/>. Standards German.
- Forssblad, L. (1981). *Vibratory soil and rock fill compaction*. Dynapac Maskin AB, Sweden
- Gümüştü, M., Cebe, A., Erdinç, A., & Uyanık, S. (2016). Characteristics of explosives used for civilian purposes, their effects on the environment and measures. *Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Science*, 5(2), 81-91.
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. *News Journal of International Society of Rock Mechanics (ISRM)* 2(2), 4-16.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring*. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford.
- ISRM (2007). *The complete isrm suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. R. Ulusay and J.A. Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods, international society for rock mechanics, compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey.
- Karakuş, Y. (2012). *Feasibility of the system of mini bench blasting in foundation excavations in settlement areas* [Master's Thesis, İstanbul University Graduate School of Natural and Applied Sciences].

- Kaya, A., Bulut, F., & Alemdag, S., 2011. Applicability of excavatability classification systems in underground excavations: an example of Konakönü tunnel, Trabzon, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6 (25), 5331-5341. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1343>
- Kumar, R., Choudhury, D., & Bhargava, K. (2016). Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8, 341-349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.009>
- Küçük, K., & Aksoy, C.O. (2017). Blasting design and vibration modelling in urban tunnel excavations. *Dokuz Eylül University Journal of Science and Engineering* 19(57), 1035-1052.
- Liu, Z., Jiang, N., Sun, J., Xia, Y., & Lyu, G. (2020). Influence of tunnel blasting construction on adjacent highway tunnel: A case study in Wuhan, China. *International Journal of Protective Structures*, 11(3), 283-303. <https://doi.org/10.1177/2041419619888936>
- Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. (2005). The geological strengthindex: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(1), 55-65. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5>
- Öztürk, H. T. (2007). *Tunnels and Design Principles* [Master's Thesis, Karadeniz Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences].
- Regulation on Assessment and Management of Environmental Noise (2010). *Official Gazette of The Republic of Turkey* (27601, 4 Haziran 2010).
- Senthil, K., Gupta, I., Rupali, S., & Pelecanos, L. (2020). A Review on the performance of reinforced concrete structures under blast loading. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(4), 216-228. <https://doi.org/10.31462/jseam.2020.04216228>
- Senthil, K., Sethi, M., & Pelecanos, L. (2021). A review on the Performance of the underground tunnels against blast loading. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 4(1), 1-17. <https://doi.org/10.31462/jseam.2021.01001017>
- Siskind, D.E, Crum, S. V., & Plis, M.N. (1993). *Blast vibrations and other potential causes of damage in homes near a large surface coal mine in Indiana*. RI 9455. Bureau of Mines.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., & Dowding, C.H. (1980). *Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting*. USBM RI 8507: 77, Boston.
- Sönmez, H., & Ulusay, R., 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 26, 77-99.
- Tokel, S. (1977). Eocene calc-alkaline andesites and geotectonism in the Eastern Black Sea Region, *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 20(1), 49-54.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasözbeğ, A., Barthd, M., Satır, M., & Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the eastern pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116(1-2), 92-110. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.01.003>
- Yılmaz, Y. (1972). Settlement of Gümüşhane Granite. In: *Proceedings of 50th Anniversary of the Republic Earth Sciences Congress*, Turkey.
- Yüksel, İ. (2008). Post-earthquake emergency damage assessments of reinforced concrete buildings. *Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology*, 24(1-2), 260-276.

## Tahıl ve pseudotahıllar'da diyet lifi ve sağlık üzerine etkileri

### *Dietary fiber and its effects on health in cereals and pseudocereal*

Ali CİNGÖZ\*<sup>1</sup> , Özlem AKPINAR<sup>1</sup> , Abdulvahit SAYASLAN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 60100, Tokat

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 70100, Karaman

• Geliş tarihi / Received: 03.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.11.2022

### Öz

Diyet lifi, tahıl, meyve ve sebzelerde daha çok bulunan önemli bir gıda bileşenidir. Diyet liflerinde farklı sınıflandırmalar kullanılsa da en sık kullanılanı çözünürlüklerine göre sınıflandırma biçimidir. Diyet lifleri meyve ve sebzelerde bulunmakla birlikte özellikle tahıl (buğday, arpa, yulaf, pirinç, çavdar vb) ve pseudotahıllarda (chia, kinoa, karabuğday, amarant vb) da bol miktarda bulunmaktadır. Günümüzde artan sağlık problemleri ve tüketicilerin fonksiyonel ürünlere yönelmesi diyet lifine olan ilgiyi her geçen gün arttırmaktadır. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar tahıl ve pseudotahıllarda bulunan çözünür ve çözünmez diyet liflerinin kronik kalp hastalıkları, tip 2 diyabet, obezite, çeşitli kanser türlerine yakalanma risklerini düşürdüğünü göstermektedir. Bu çalışmada tahıl ve pseudotahıllarda bulunan diyet lifleri ve bunların sağlık üzerine etkileri irdelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Diyet lifi, Kanser, Kinoa, Pseudotahıl

### Abstract

Dietary fiber is an important food component found mostly in grains and fruits and vegetables. Although different classifications are used for dietary fibers, the most frequently one used is according to their solubility. Although dietary fibers are also found in fruits and vegetables, they are especially abundant in cereals (wheat, barley, oats, rice, rye, etc.) and pseudocereals (chia, quinoa, buckwheat, amarant, etc.). Today, increasing health problems and consumers' tendency to functional products increase the interest in dietary fiber day by day. Epidemiological studies show that soluble and insoluble dietary fibers found in cereals and pseudocereals reduce the risks of coronary heart diseases, type 2 diabetes, obesity, and various types of cancer. In this study, dietary fibers in cereals and pseudocereals and their effects on health are investigated.

**Keywords:** Dietary fiber, Cancer, Quinoa, Pseudocereal

\* Ali CİNGÖZ; ali.cingoz@gop.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

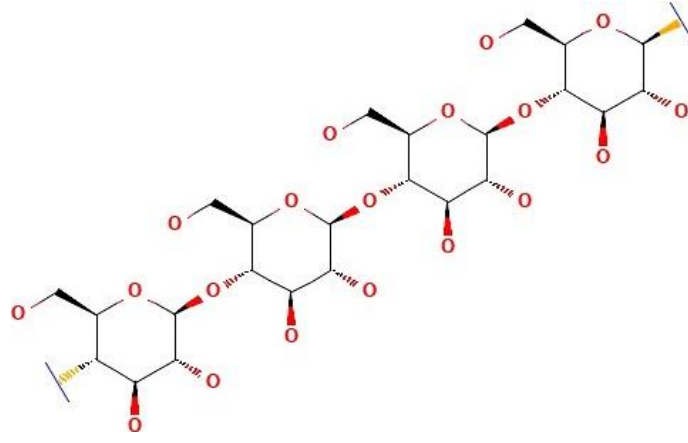
Tüketici tercihlerinin değişmesi, hareketsizlik ve yanlış beslenme sonucu günümüzde hastalıklarda artışlar meydana gelmektedir. Kabızlık, hemeroid, kolon kanseri, şişmanlık, diyabet ve kalp damar hastalıklarına karşı diyet liflerinin koruyucu etkisi olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle bu hastalıkların önlenmesinde diyet lifi tüketimine karşı duyulan ilgi de gün geçtikçe artmaktadır. Tahıl ve pseudotahıllar protein, diyet lifi, esansiyel amino asitler, flavonoid ve çoklu doymamış yağ asitleri bileşenler bakımından zengin önemli birer hammaddedir. Yüksek diyet lifi içeriği ve fonksiyonel bileşenler bakımından zengin tahıl ve pseudotahılların çağımızın önemli hastalıklarının önlenmesinde olumlu etkilerinin olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Giménez-Bastida vd., 2015). Diyet lifleri doğada meyve sebzelerin yanısıra tahıl ve pseudotahılların yapısında da mevcuttur. Bu çalışmada özellikle tahıl ve pseudotahıllardaki diyet lifleri ve sağlık üzerine etkileri irdelenmiştir.

## 2. Diyet lifi

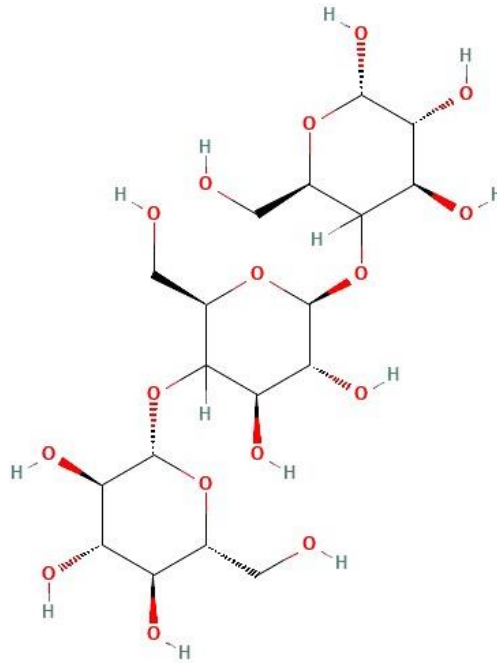
### 2. Dietary fiber

Selüloz, hemiselüloz ve lignini içeren ilk diyet lifi tanımı, 1953 yılında ortaya çıkmıştır (Hispley, 1953). Temel olarak ince bağırsakta sindirilmeyen yenilebilir bitki kısımları olarak tanımlansa da diyet lifleri genellikle nişasta olmayan polisakkaritler, oligosakkaritler, lignin gibi, tahıllar, baklagiller, meyve ve sebzelerden elde edilen bitki kısımlarını içermektedir. Kodeks Alimentarius Komisyonu diyet lifini; polimerizasyon derecesi 3'ün üstünde olan, ince bağırsakta sindirilmeyen ve emilmeyen ve gıdalarda doğal olarak bulunan veya gıda maddelerinden fiziksel, enzimatik veya kimyasal yolla üretilebilen ve mikroorganizmalara birçok fayda sağlayan karbonhidrat polimerleri olarak tanımlamaktadır (Jones, 2014). Diğer bir tanıma göre ise tüketiciler için yararlı fizyolojik etkileri bulunan diyet lifi; bitkilerdeki sindirilmeyen karbonhidratlar olarak tanımlanmaktadır (Champ vd., 2003). Diyet lifleri; kaynaklarına, çözünebilirliklerine, fermente olabilmelerine ve fizyolojik etkilerine göre sınıflandırılmaktadır (Champ vd., 2003). Diyet lifleri suda çözünebilirliğine göre, çözünmez (selüloz, hemiselüloz ve lignin) ve çözünür (pektin, gam ve müsilaj) diyet lifi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır ve genellikle meyvelerde, tahıllarda, sebzelerde ve bakliyatlarda bulunmaktadır (Buil-Cosiales vd., 2016; Tarcea vd., 2017).

Genel olarak bitki hücre duvarlarının temel bileşeni olan selüloz (D-glikoz ünitelerinin  $\beta$  (1→4) bağı ile birleşmesi sonucu oluşan düz zincir yapısına sahip polisakkarit) (Şekil 1), hemiselüloz (yapısında 5 ve 6 karbonlu şekerleri ve şeker asitlerini içeren kompleks heteropolisakkarit) (Saldamlı, 2007), pektin (galakturonik asit ünitelerinin  $\alpha$  (1→4) bağı ile birleşmesi sonucu oluşan düz zincir yapısına sahip polisakkarit) (Şekil 3) (Madeira vd., 2017), beta gluklan (beta-glikozidik bağlarla birbirine bağlanmış D-glikoz monomerlerinden oluşan; fonksiyonel özellikleri değişkenlik gösteren nişasta dışı polisakkaritler) (Şimsekli & Doğan, 2015) (Şekil 2) gibi nişasta olmayan polisakkaritler diyet lifi kategorisinde yer almaktadır. Bunların yanında inülin (( $\beta$ -D-fruktosil kalıntılarının  $\beta$  (2→1) bağı ile bağlanması sonucu oluşan fruktan tipi polisakkaritler) (Şekil 4) (Mensinka vd., 2015), frukto-oligosakkaritler (fruktozil ünitelerinin  $\beta$  (2→1) bağı ile bağlanması sonucu oluşan kısa ve orta zincirli oligosakkaritler) ve galakto-oligosakkaritlerde (galaktoz ünitelerinin  $\beta$  (1→4) ve  $\beta$  (1→6) bağı ile laktoza bağlanması sonucu meydana gelen oligosakkaritler) (Demirci vd., 2017) sindirilmeyen çözünür diyet lifi grubunda yer alan karbonhidratlardır. İnce bağırsakta sindirilmeyen fakat kalın bağırsakta fermente olabilen dirençli nişastalar, modifiye selülozlar (selüloz polimerin yapısında bulunan OH ve H iyonlarının  $\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5$  ve asetil grupları ile yer değiştirmesi sonucu elde edilen selüloz türevi) (Arslan & Erbaş, 2014) ve polidekstrozlar gibi karbonhidrat polimerleri de diyet lifi olarak kabul edilmektedir (Borderias vd., 2005). Ayrıca gamlar ((D-mannoz ünitelerinin  $\beta$  (1→4) bağı ile birleşmesi sonucu meydana gelen düz veya yan zincirli polisakkarit) (Sebastiena vd., 2014)) ve müsilajlar (bitkisel kaynaklı heterojen polisakkarit) diyet lifi sınıfına girmektedir (Theuwissen & Mensink, 2008). İlave olarak lignin (temel olarak monolignol, p-kumaril, koniferil ve sinapil alkolü içeren kompleks aromatik heteropolimer) ve bazı minör bileşenlerin (mumlar, saponinler, polifenoller, kitin, fitosteroller vb) diyet lifi kategorisine konulabileceği bildirilmektedir (Borderias vd., 2005).



Şekil 1. Selüloz yapısı  
*Figure 1. Structure of cellulose*

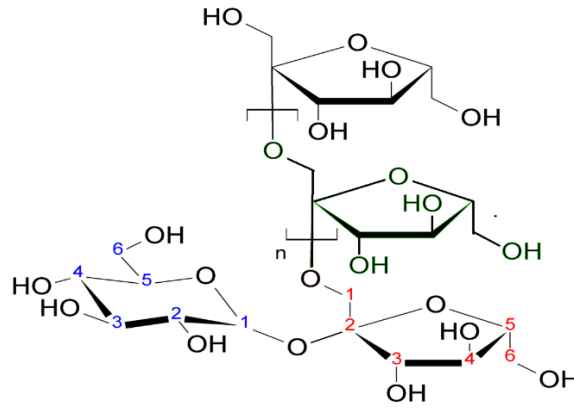


Şekil 2. Beta glukan yapısı  
*Figure 2. Structure of beta glucan*



Şekil 3. Pektin yapısı  
*Figure 3. Structure of pectin*





Şekil 4. İnulin yapısı  
Figure 4. Structure of inuline

### 3. Tahıllar ve diyet lifi

#### 3. Cereals and dietary fiber

Tahıl, Gramineae familyası üyelerine verilen genel bir tanımlamadır. Dünya üzerinde tarımı yapılan başlıca tahıl ürünleri buğday, mısır, arpa, yulaf, çavdar, pirinç ve darı çeşitleridir (Elgün & Ertugay, 1995). Dünyada 2018 yılında 3.5 milyar ton tahıl üretimi gerçekleştirilirken en çok üretimi yapılan 1.14 milyar ton ile mısır, 782 milyon ton ile pirinç ve 734 milyon ton ile buğdaydır. Türkiye’de ise en çok tarımı yapılan tahıllar sırasıyla buğday, arpa ve mısırdır. Dünya üzerindeki tahıl tüketimi her geçen yıl artarak 2017 yılında 2.072 milyon ton düzeyine kadar çıkmıştır (Fao, 2018). Yaygın olarak tarımı yapılan tahıl çeşitleri insan gıda maddesi olmasının yanı sıra, hayvan yemi ve bazı endüstrilerde farklı maddelerin elde edilmesinde hammadde olarak değerlendirilmektedir.

Tahıllar çeşitlerine göre değişmekle birlikte yapılarında yaklaşık %12-14 su, %8-14 protein, %69-75 karbonhidrat, %1-5 yağ ve %1-2 mineral madde içermektedir (Elgün & Ertugay, 1995). Tahılların yapılarındaki karbonhidratların büyük çoğunluğu nişasta olmakla birlikte, selüloz, hemiselüloz, lignin ve nişasta olmayan diğer polisakkaritler de bulunmaktadır. Tahılların diyet lifi içerikleri tür / cinsine ve botanik bileşenlerine (perikarp, endosperm vb) bağlı olarak değişmektedir (Sidhu vd., 2007). Çözünmez diyet lifini tohumun dış katmanları oluştururken (Rasane vd., 2015) çözünür diyet lifini nişasta olmayan polisakkaritler (arabinoksilan, gluklan vb), dirençli nişasta ve oligosakkaritler (fruktanlar) oluşturmaktadır (Knudsen vd., 2017).

Dünya üzerinde tarımı yapılan tahıl ve psedoutahılların beslenme ve sağlık açısından sağladığı faydalar bilinmektedir. Tahılların birçok endüstride hammadde olma potansiyelinin gün geçtikçe artması ve katma değeri yüksek ürün üretiminde kullanılmaya başlanması ile tahılların üretim ve tüketim miktarlarında artışlar yaşanmaktadır.

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünyada tarımı en yaygın yapılan ve en çok tüketilen tahıldır (De santis vd., 2017). 2018 yılında dünyada 734 milyon ton ile üretimi en çok yapılan 3. tahıldır (Fao, 2018) Türkiye’de ise yaklaşık 20 milyon ton üretimi yapılan buğday, dünya üzerinde en yüksek ekim alanına sahip durumdadır (Fao, 2018). Buğday hayvan yemi olarak kullanılmasının yanı sıra, un, irmik, buğday patlağı, makarna, bisküvi, bulgur ve nişasta üretiminde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Yapısında ortalama %10-14 su, %8-14 protein, %70-75 karbonhidrat ve %1-2 yağ, %2-3 selüloz bulunmaktadır (De santis vd., 2017). Tablo 1’de buğdayların diyet lifi içeriği ile ilgili yapılmış çalışmalar gösterilmektedir. Buğdaydaki diyet lifi içeriği %9.2-20.0 arasında değişmektedir. Buğdayda çözünmez diyet lifi içeriği daha yüksek olup %5.4-18.1 arasında iken çözünür diyet lifi içeriği %1.4-4.4 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalar buğdayda  $\beta$ -glukan miktarının %0.4-0.8 aralığında, arabinoksilan içeriğinin ise %0.5-8.8 aralığında olduğunu göstermektedir. Avrupa komisyonu 2012 yılında yayınladığı rapora göre bağırsak geçişlerini hızlandırmak için günlük en az 10 gr buğday kepeği alınmasını önermektedir (Anonim, 2022).

Pirinç (*Oryza sativa* L.), Asya’da en çok üretilen ve tüketilen bir tahıl grubudur. 2018 yılında dünyada 782 milyon ton, Türkiye’de 940 bin ton pirinç üretimi gerçekleştirilmiştir (Fao, 2018). Pirinç, temel olarak doğrudan

gıda maddesi olarak kullanılmakla birlikte, nişasta, pirinç patlağı ve pirinç unu üretiminde de hammadde konumundadır. Ortalama % 5-10 arasında protein içeriğine sahip pirinç yüksek karbonhidrat içeriği özellikle nişasta içeriği ile ön plana çıkmaktadır (Amagliani vd., 2017). Pirincin diyet lifi içeriği %2.5-9.9 aralığında değişmekle birlikte çözünür ve çözünmez diyet lifi içerikleri pirinç çeşidine göre farklılık göstermektedir. Tablo 1’de pirinçlerin diyet lifi içerikleri gösterilmektedir. Çözünmez diyet lifi içeriği %1.0-5.4 arasında iken çözünür diyet lifi içeriği %0.6-5.2 arasında değişmektedir. Kahverengi, siyah ve basmati pirinç çeşitlerinde çözünmez diyet lifi içeriği çözünür diyet lifine göre daha yüksek seviyededir. Ayrıca bu pirinç çeşitlerinde toplam diyet lifi içeriği beyaz pirince göre daha yüksek düzeydedir (Ji vd., 2013). Beyaz, bario ve yapışkan pirinçte (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) çözünür diyet lifi miktarı daha yüksektir. Yapılan çalışmalar, pirinçte arabinoksilan içeriğinin %0.4-0.5 arasında  $\beta$ -glukan içeriğinin ise %0.1-0.4 arasında olduğunu göstermektedir (Ji vd., 2013).

Mısır (*Zea mays* L.) pirinç ve buğdaydan sonra dünyada yetiştiriciliği en fazla yapılan tahıl grubu iken son on yılda üretimindeki artışla birlikte üretimi en fazla olan tahıl grubu konumundadır. 2018 yılında dünyada 1.147 milyar ton, Türkiye’de ise 5,7 milyon ton üretim gerçekleşmiştir (Fao, 2018). Mısır %65 nişasta, %5 yağ ve %15 protein içermektedir. Dünya üzerinde nişasta üretiminde hammadde olarak en çok kullanılan tahıl grubudur. Mısır nişasta ve nişasta bazlı şeker üretimi dışında ilaç, otomotiv, tekstil, temizlik sanayisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Anonim, 2020). Mısırdaki diyet lifi içeriği %3.7-19.6 arasında değişmekle birlikte en çok çözünmez diyet lifi fraksiyonları bulunur. Çözünür diyet lifi içeriği %0.3-5.4 arasında değişmektedir (Tablo 1). Mısır kepeği yaklaşık olarak %22 selüloz ve %70 hemiselülozdan meydana gelmektedir (Ai & Jane, 2016).

Yulaf (*Avena sativa* L.) sağlık açısından sağladığı yararlar nedeniyle günümüzde tüketimi her geçen gün artan bir tahıl çeşididir. Ülkemizde 260 bin ton dünyada ise 23 milyon üretimi yapılan yulaf en çok hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Sağlık açısından önemini daha iyi anlaşılması ve gelişen toplumların kahvaltılık gevreklerle yönelmesi yulafın insan tüketiminde kullanımının artmasına neden olmaktadır. Yulaf tanesinin protein, vitamin, mineral madde ve diyet lifi yönünden zengin olması yulafın farklı ekmek ve bisküvi formülasyonlarında değerlendirilmesine, yulaf ezmesi ve yulaf ununun tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Yulaftaki diyet lifi içeriği %9.8-37.7 arasında değişmektedir (Tablo 1). Çözünmez diyet lifi miktarı %6.0-33.9 arasında çözünür diyet lifi içeriği ise %2.9-20.0 arasında değişmektedir. Yulafta en fazla bulunan suda çözünür diyet lifi  $\beta$ -glukan olup ortalama %2.3-8.5 arasında bulunmaktadır. Yulaf tanesinin %60’ı nişastadan meydana gelmekte, yaklaşık %2 arabinoksilan, %1.3 selüloz, %3.5 beta glukan ve %2 lignin içermektedir nişastanın da önemli bir miktarı (%25) dirençli nişastadan oluşmaktadır (Frolich vd., 2013; Khan vd., 2016; Sterna vd., 2016; Knudsen vd., 2017; Tang & Tsao, 2017).

Arpa (*Hordeum vulgare* L.) dünyada 141 milyon ton, Türkiye’de 7 milyon ton üretimi yapılan (Fao, 2018) arpa soğuk, kurak ve yüksek rakımlı bölgelerde yetiştirilen bir tahıldır. Arpa daha çok hayvan yemi olarak değerlendirilirken en kaliteli mahsül biracılık açısından da önemli bir hammadde konumundadır. Arpa özellikle yüksek  $\beta$ -glukan içeriği ile önemli bir diyet lifi kaynağıdır ve apısında ortalama %11 protein, %63 nişasta, %5.83 selüloz ve %3 yağ bulunmaktadır (Köten, 2013). Kavuzlu yapıda olması hem teknolojik hemde besinsel özelliklerinde olumlu etki sağlamaktadır. Arpada diyet lifi miktarı %10.0-27.9 arasında değişmektedir. Çözünmez diyet lifi içeriği %7.1-22.1 arasında iken çözünür diyet lifi içeriği %1.7-9.3 aralığındadır (Tablo 1). Diyet lifleri genellikle selüloz, arabinoksilan,  $\beta$ -glukan ve oligosakkaritlerdir. Arabinoksilan içeriği %3-11,  $\beta$ -glukan içeriği ise %2-10 aralığında değişmektedir. Bunların yanında %1.1-4.5 selüloz, %0.7 lignin ve %4.8 dirençli nişasta bulunmaktadır (Collar & Angioloni, 2014; Djurle vd., 2016; Honcu vd., 2016; Messia vd., 2017; Sterna vd., 2017; Tang & Tsao, 2017).

Çavdar (*Secale cereale* L.), kuzey, orta ve doğu Avrupa’da yaygın olarak yetiştirilen bir tahıldır. Ülkemizde 320 bin ton dünyada ise 11 milyon ton çavdar üretimi vardır. Çavdar ekmek üretiminde, alkol ve viski sanayinde veya yem endüstrisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde çavdarın büyük çoğunluğu ekmek üretiminde kalan kısmı da hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir (Anonim, 2019). Çavdar, önemli bir diyet lifi bileşeni olan arabinoksilanca zengin bir tahıldır (Mankan, 2008). Çavdardaki diyet lifi arabinoksilan, selüloz,  $\beta$ -glukan, fruktan ve ligninlerden oluşmaktadır. Bu özelliği ile buğdaya oldukça benzeyen çavdar tahıllar arasında en yüksek arabinoksilan içeriğine (%3.1-12.1) sahip tahıl grubudur. Çavdarda  $\beta$ -glukan %1.3-2.2 aralığında, fruktan içeriği ise %4.5-6.4 aralığında değişmektedir (Bucella vd., 2016; Knudsen vd., 2017; Jonsson vd., 2018).

**Tablo 1.** Tahılların diyet lifi içerikleri (%)  
 Table 1. Dietary fiber content of cereals (%)

	<b>Toplam Diyet Lifi</b>	<b>Çözünmez Diyet Lifi</b>	<b>Çözünür Diyet Lifi</b>	<b>Beta Glukan</b>	<b>Arabinoksilan</b>	<b>Kaynakça</b>
<b>Buğday</b> ( <i>T. aestivum</i> ve <i>T. Durum</i> )	12.7-20.0	10.2-18.1	1.8-3.7	-	2.7-3.6	Marotti vd. (2012)
	9.2	-	-	0.4	0.5	Dodevska vd. (2013)
	13.5	-	-	0.8	5.6	Frolic vd. (2013)
	12.4	5.4	4.4	0.5	6.9	Amalraj ve Pius (2015)
	10.2-15.7	7.2-11.4	1.9-2.9	0.4-0.8	5.1-8.8	Rainakari vd. (2016); Messia vd. (2017)
	14.2	-	-	0.6	7.1	Knudsen vd. (2017)
	11.6-17.0	10.2-14.7	1.4-2.3	-	4.0	De Santis vd. (2018)
<b>Pirinç</b> ( <i>Oryza sativa</i> )	9.2	1.0-3.8	2.9-5.2	0.4	0.5	Caceres vd. (2014)
	9.9	5.4	4.4	-	-	Amalraj vd. (2015)
	2.5	-	-	0.1	0.4	Knudsen vd. (2017)
	2.7-4.9	1.9-4.2	0.6-1.1	-	-	Prasad vd. (2018)
<b>Mısır</b> ( <i>Zea mays</i> )	9.2	-	-	-	1.4	Dodevska vd. (2013)
	14.9	9.4	5.4	-	-	Amalraj ve Pius (2015)
	11.6	-	-	0.1	4.7	Knudsen vd. (2017)
	3.7-8.6	3.1-6.1	0.5-2.5	-	-	Prasanthi vd. (2017)
	8.3-10.7	8.0-9.1	0.3-1.6	-	-	Srichuwong vd. (2017)
<b>Yulaf</b> ( <i>Avena sativa</i> )	11.5-37.7	8.6-33.9	2.9-3.8	-	-	Vitaglione vd. (2008)
	10.2	-	-	5.0	2.0	Frolich vd. (2013)
	10.3	6.5	3.8	2.3-8.5	-	Rasane vd. (2015)
	13.7-30.1	-	11.5-20.0	2.7-3.5	-	Sterna vd. (2016)
	9.8	-	-	3.8	2.1	Knudsen vd. (2017)
	10.6	-	-	4.6-5.6	-	Tang ve Tsao (2017)
<b>Arpa</b> ( <i>Hordeum vulgare</i> )	17.4	11.5	5.9	5.2	4.0-5.4	Collar ve Angioloni (2014)
	15.4-18.1	7.1-10.0	6.1-9.3	4.7-8.0	3.1-4.1	Honcu vd. (2016)
	18.0-24.1	-	1.7-3.3	2.3-3.9	8.4-11.4	Teixeira vd. (2016)
	16.8-27.9	-	-	3.3-9.2	5.1-9.1	Djurle vd. (2016)
	10.1	-	-	3.9-9.5	4.3-9.8	Messia vd. (2017)
	20.8	-	3.0	4.2	-	Sterna vd. (2017)
<b>Çavdar</b> ( <i>Secale cereale</i> L.,)	15.2-20.9	11.1-16.0	3.7-4.5	1.7-2.0	3.1-4.3	Vitaglione vd. (2008)
	19.9	-	-	1.5	8.9	Frolich vd. (2013)
	9.6	-	3.6	1.5	5.3	Bucella vd. (2016)
	20.5	-	-	2.0	9.6	Knudsen vd. (2017)

#### 4. Pseudotahıllar ve diyet lifi

##### 4. Pseudocereal and dietary fiber

Pseudotahıllar gerçek tahıllara benzer fiziksel görünüşleri ve benzer yüksek nişasta içerikleri nedeniyle bilinen dikotiledonlu türlere ait yenilebilir tohumlardır. Pseudotahıllar tropik iklimlerden ılıman iklim koşullarına kadar birçok ortama adapte olabilen ve yüksek genetik değişkenlikleri ile gelecek vaat eden ürünlerdir (Joshi vd., 2019). En önemli türleri kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), amarant (*Amaranthus* sp.), chia (*Salvia hispanica* L.) ve karabuğdaydır (*Fagopyrum* sp.) (Martinez-Villaluenga vd., 2020). Son yıllarda özellikle çölyak hastaları için glutensiz ürün formülasyonlarında kullanılan pseudotahıllar günümüzde çoğu sağlıklı bireyin tükettiği gıdalardan birisidir. Pseudotahıllar ilave edildikleri ürünlere besinsel ve sağlıksal açısından katkılar ile ön plana çıkmaktadır.

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Chenopodiaceae familyasına ait olan bir pseudotahıldır. Dünyada 158 bin ton üretim yapılan kinoa tohumunun ülkemizde tarımı son 5 yıldır deneme üretimi şeklinde yapılmaktadır. Çeşitlerine göre farklılık göstermekle birlikte ortalama %10-18 protein, %4-8 yağ, %54-64 karbonhidrat ve %2-5 arasında lif içermektedir (Keskin & Evlice, 2015). Güney Amerika'daki eski uygarlıkların temel yiyeceği olan kinoa, her geçen gün daha popüler hale gelmektedir. Kinoa hem çözünür hemde çözünmez diyet lifi bakımından mükemmel bir kaynaktır. Toplam diyet lifi içeriği %7-21.6 arasında değişmektedir (Tablo 2). Kinoa'nın yapısında bulunan toplam diyet lifinin %78'ini çözünmez diyet lifi oluştururken %22'sini çözünür diyet lifi oluşturmaktadır. Çözünür diyet lifi içeriği buğday ve mısırdan yüksek seviyededir (Graf vd., 2015).

Amarant (*Amaranthus caudatus* L.), Anavatanı güney Amerika olan sıcaklığa ve kuraklığa dayanıklı bir bitkidir. Ülkemizde üretimi yapılmamaktadır. Yapısında ortalama %13-21 protein, %5-11 yağ, %48-69 nişasta vardır (Kılınççeker & Büyük, 2019). Amarant, tohum olarak genellikle farklı un karışımlarına ilave edilerek kullanılmaktadır. Amarant çeşitleri arasında diyet lifi içerikleri farklılık göstermekle birlikte %7.3-20.6 aralığında değişmektedir (Tablo 2). Amarantlarda toplam diyet lifinin %75'ini çözünmez diyet lifi oluştururken %25'ini çözünür diyet lifleri oluşturmaktadır (Srichuwong vd., 2017). Ayrıca diğer tahıllardan ve pseudotahıllardan daha fazla suda çözünmeyen  $\beta$ -glukan içeriğine (%25) sahiptir (Venskutonis & Kraujalis, 2013).

Chia (*Salvia hispanica* L.), maya ve azteklerden bu yana kullanılan tıbbi ve yenilebilir bir bitki türüdür (De Falco vd., 2017). Genellikle tropik bölgelerde yetiştirilen chia tohumu %17-24 protein, %18-30 diyet lifi ve %25-40 oranında yağ içeren bir pseudotahıldır (Erdoğan & Geçgel, 2019). Ülkemizde yetiştiriciliği yapılmayan chia tohumuna karşı her geçen gün ilgi artmaktadır. Diyet lifi içeriği bakımından chia diğer tahıllar ile kıyaslandığında arpa, buğday, yulaf, mısır ve pirinçten daha fazla lif içerdiği belirlenmiştir. De Falco vd. (2017) yaptıkları çalışmada Chia'nın toplam diyet lifi %59.8 düzeyine kadar bildirmiştir (Tablo 2). Ertaş-Öztürk ve Şanlıer (2017) yaptıkları çalışmada farklı tohum türleri arasında toplam diyet lifinin %37-40 arasında olduğunu, çözünmez diyet lifi içeriği baskın fraksiyon olup %33-35 aralığında, çözünür diyet lifi içeriğinin ise %6-7 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Chiada çözünmez diyet liflerini selüloz, hemiselüloz ve lignin oluştururken çözünür diyet liflerini çoğunlukla musilajlar oluşturmaktadır. Çözünür diyet lifi fraksiyonunun bir parçası olan musilajların mükemmel su tutma özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir (Ertaş-Öztürk & Şanlıer, 2017).

*Polygonaceae* familyasına ait olan karabuğday kavuzsuz bir tohumdur ve farklı ülkelerde birçok geleneksel üründe kullanılmaktadır. Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.), anavatanı güneydoğu asya olan, tarihi çok eskilere dayanan özellikle son 10 yıldır tüketicilerin daha çok ilgisini çeken bir pseudotahıldır. Karabuğday yapısında ortalama %10-12.5 protein, %7-10.7 lif, %1.4-4.7 yağ ve %55-75 nişasta bulunmaktadır. Karabuğday, ekmeke, makarna, bisküvi üretiminde bira, ispiro gibi sanayi ürünlerinde ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (Dizlek vd., 2009). Karabuğdayda toplam diyet lifi içeriği %7-11.9 arasında değişmektedir (Tablo 2). Karabuğdayın yapısında çözünür diyet lifi oranı daha yüksektir (%4.8-6.1) (Boukid vd., 2018; Mir vd., 2018).

**Tablo 2.** Pseudotahılların diyet lifi içerikleri (%)  
 Table 2. Dietary fiber content of pseudocereals (%)

	Toplam Diyet Lifi	Çözünmez Diyet Lifi	Çözünür Diyet Lifi	Kaynakça
Kinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> )	14.2	-	-	Alvarez-Jubete vd. (2010)
	16.2-21.6	-	-	Pulvento vd. (2012)
	11.6-15.1	9.9-12.2	0.4-2.9	Miranda vd. (2013)
	7.7-15.0	-	-	Li ve Zhu (2017)
	9.8	4.4	5.5	Gewehr vd. (2017)
	7-9.5	4.9-5.6	2.1-3.9	Srichuwong vd. (2017)
	7.0	-	-	Boukid vd. (2018)
Amarant ( <i>Amaranthus caudatus</i> )	8.9-20.6	-	-	Alvarez-Jubete vd. (2010); Boukid vd. (2018)
	11.8	9.1	2.7	Robin vd. (2015)
	7.3	5.5	1.8	Srichuwong vd. (2017)
Chia ( <i>Salvia hispanica</i> )	37.0-40.0	33-35	6-7	Ertaş ve Şanlıer (2017)
	47.1-59.8	-	-	De Falco vd. (2017)
	34.4	-	-	Srichuwong vd. (2017)
	8.9	-	-	Boukid vd. (2018)
Karabuğday ( <i>Fagopyrum esculentum</i> )	7.0	2.2	4.8	Steadman vd. (2001)
	10.0	-	-	Boukid vd. (2018)
	11.9	5.8	6.1	Mir vd. (2018)

## 5. Diyet lifi ve sağlık

### 5. Dietary fiber and healthy

Bitkisel kaynaklı gıdaların yapısında doğal olarak bulunan diyet lifi insan metabolizması tarafından sindirilememektedir. Diyet liflerinin sağlık üzerine olumlu etkileri çözünürlük durumlarına göre açıklanabilmektedir. Çözünür diyet lifleri vücuda alınıp ince bağırsağa geldiğinde suda çözünerek jel yapı meydana getirmekte ve gıdaların ince bağırsaktaki hareketini yavaşlatmaktadır. Bu sayede besin öğelerinin emilim süresi uzamakta ve gıdalardaki glikoz ve yağ asitlerinin kana geçmesi yavaşlamaktadır. Ayrıca, jel haline gelen çözünür diyet lifleri kolesterol ve lipitleri yapısına bağlayarak vücuttan atılmalarını sağlamaktadır. Çözünmeyen diyet lifleri ise mide ve ince bağırsakta sindirilmeden ya da jel haline dönüşmeden kalın bağırsağa geçmektedir. Çözünmez diyet liflerinin kalın bağırsakta sindirim sonrası arta kalan ürünlerin fermantasyonunu ve bağırsağın kasılma hareketi üzerine olumlu etkileri mevcuttur. Çözünmez diyet lifleri, dışkıının kalın bağırsaktan daha kısa sürede atılmasını gerçekleştirerek toksik, mutajenik ve zararlı kimyasalların bağırsak hücreleri ile en az sürede temas etmesini ve bunun sonucu olarak vücuttan kolayca atılmasını sağlamaktadır (Taş, 2019).

Kardiyovasküler hastalıklar, kanser, kronik solunum yolu hastalıkları ve diyabet dünyadaki tüm ölümlerin %60'ına neden olurken, bu oran gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için %80 düzeyine kadar çıkmaktadır (Hajishafiee vd., 2016). Tam tahıllar, meyve ve sebze tüketimi dahil olmak üzere çeşitli beslenme faktörlerinin bu hastalık risklerini azalttığı gösterilmiştir (He vd., 2010). Günlük diyet lifi tüketiminin kalp krizine bağlı felç riskini düşürdüğü ve kardiyovasküler ölüm oranını azalttığı, tip II diyabet, obezite, düşük tansiyon, yüksek kan basıncı ve ateroskleroz riskini düşürdüğü, yapılan klinik ve epidemiyolojik çalışmalarda belirlenmiştir (Buil-Cosiales vd., 2009; Hu vd., 2014; Buil-Cosiales vd., 2016). Ayrıca diyet lifi tüketiminin yeterli olmaması meme ve kolon kanseri riskini arttırdığı, genç yaşlarda obeziteye sebep olduğu, açlık kan şekeri ve tokluk plazma glikoz düzeyinin dengesiz bir yapıya dönüşmesine katkı sağladığı bildirilmektedir (Kim & Je, 2016;



Murakami & Livingstone, 2016). Tablo 3'te tahıl ve pseudotahıl tüketiminin sağlık üzerine etkileri özetlenmiştir.

Kanda toplam ve LDL kolesterol seviyesi artması hipertansiyon ve kalp damar hastalıklarına yakalanma riskini yükseltmektedir. Diyet lifi gıdaların bağırsaktan geçiş süresini uzatmakta ve yemek sonrası doyunluk hissi oluşturarak kolesterol seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca bağışıklık sistemini güçlendirmekte, antioksidanlar, vitaminler, mineraller, fitoöstrojenler veya lignanların vücuttan atılımını geciktirmektedir (Kim & Je, 2016; Murakami & Livingstone, 2016).

Literatürde diyet lifinin kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki etkisini araştıran farklı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda günlük 10 gramdan fazla diyet lifi tüketiminin kroner hastalıkları %17, kroner ölümleri ise %27 oranında (Pereira vd., 2004), günlük 7 gram diyet lifi tüketiminin ise kroner kalp hastalıklarına yakalanma riskini %9 oranında azalttığı (Threapleton vd., 2013) bildirilmiştir. Tahıl lifi tüketiminin ise diğer lif kaynaklarının tüketimine göre kalp damar hastalıklarına bağlı ölümleri daha fazla azalttığı rapor edilmiştir (Li vd., 2014; Huang vd., 2015; Hajishafiee vd., 2016). 15 farklı çalışmanın incelenmesi sonucunda diyet lifi tüketimi ile tüm kanser türleri ve kroner kalp hastalıklarına bağlı ölümler arasında ilişki olduğu ve günlük 10 gram ve daha fazla diyet lifi tüketiminin bu ölüm oranlarını azalttığı ortaya konmuştur (Kim & Je, 2016). Ayrıca çözümlü yulaf  $\beta$ -glukan'ı kan kolesterol seviyesini ve kan basıncını düşürdüğü böylelikle kroner kalp hastalığı riskini azalttığı rapor edilmiştir (Sterna vd., 2016).

Obezite, tip II diyabet, kalp damar hastalıkları, metabolik hastalıklar dahil olmak üzere birçok hastalığın risk faktörlerinden biridir. Dünya sağlık örgütününün 2013 yılında yayınladığı raporda dünyada son 10 yılda obeziteye yakalanma oranlarının arttığı ve bu konunun büyük bir endişeye yol açtığı bildirilmiştir (WHO, 2016). Nguyen ve Lau (2012) yaptıkları çalışmada, dünyada yaklaşık 1,5 milyar yetişkin insanın aşırı kilolu ya da obez olduğunu ve obezitenin küresel bir salgın olarak büyümesinin devam ettiğini bildirmişlerdir. Dünya sağlık örgütününün 2016 yılında yayınladığı rapora göre ise, 2014 yılında dünyada 2 milyar insanın aşırı kilolu olduğu ve bunun 1 milyarının obez olduğu belirtilmiştir (WHO, 2016). Yapılan çalışmalar günlük diyet lifi alımının kilo kontrolü ve obezitenin önlenmesinde katkı sağladığını göstermektedir. Howart vd. (2001) yaptıkları çalışmada, günlük ilave 14 gram diyet lifi tüketiminin günlük enerji ihtiyacını %10 düşürdüğü ve 3.8 ayda ortalama 1.9 kg kilo kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir. Sağlıklı ve dengeli bir beslenmenin kilo kontrolüne yardımcı olduğunu ayrıca doğal kaynaklardan ya da biyoteknolojik olarak üretilen diyet lifi açısından zengin beslenmenin kilo kontrolüne destek sağladığı, lipid ve trigliserit seviyelerini düşürdüğü bildirilmektedir (Cruz-Requena vd., 2016).

Diyet lifi tüketiminin sağlık açısından etkileri göz önüne alındığında kanser türleri ile olan etkilerini de incelemek gerekmektedir. Yüksek diyet lifi tüketiminin östrojen geri emilimini inhibe etmesinden dolayı meme kanseri riskini azalttığı bildirilmiştir (Gaskins vd., 2009; Green vd., 2012). Yapılan epidemiyolojik ve deneysel çalışmalar, diyet lifinin kolon kanserinin önlenmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bağırsaktaki bakteriler tarafından çözümlü diyet liflerinin fermente edilmesi ile kısa zincirli yağ asitleri oluşmaktadır. Meydana gelen kısa zincirli yağ asitleri kalın bağırsaktan hızlıca emilmekte ve enerji metabolizmasına katılmaktadır. Propiyonik asit gibi kısa zincirli yağ asitleri, karaciğerde kolesterol sentezini azaltarak kandaki kolesterol seviyesini düşürmektedir. Ayrıca, kısa zincirli yağ asitleri kolon ortamının pH seviyesini düşürerek safra atılımını da kolaylaştırmaktadır (Soliman, 2019).

Diyet lifi tüketiminin etkisi ile bağırsak mikroflorası kısa zincirli yağ asitleri oluşturmakta, safra asidi dekonjugasyonu ve biyoaktif maddelerin oluşması artmaktadır. Ayrıca diyet lifleri, kanserojen bileşiklerin bağırsak yüzeyine tutunmasını önlemekte ve bağırsak mikroflorasının gelişimini desteklemektedir (Zeng vd., 2014). Çözümlü ve çözünmez diyet lifi tüketiminin meme kanseri riskini düşürdüğü (Farvid vd., 2016), günlük 10 gram diyet lifi tüketiminin meme kanseri riskini %5 oranında azalttığı (Aune vd., 2012), 2110 kolon kanseri vakasının 7.3 yıl takip edilmesi sonucu elde edilen verilere göre yüksek diyet lifi tüketiminin kolon kanseri riskini erkeklerde %38, kadınlarda %12 oranında azalttığı rapor edilmiştir (Nomura vd., 2007). Buğday kepeği lifinin her 1 gramı 5.4 g, meyve sebze lifinin her 1 gramı 4.9 g, izole selülozun her 1 gramı ise 3 gram fekal dışkı hacmini arttırdığı bildirilmiştir (Slavin, 2005). Meyve ve sebzeler yüksek lif içeriği yanında antioksidan, antimutajenik ve antikanserojen etkilere sahip fitokimyasal bileşiklere de sahiptir. Meyve sebzelerde bulunan fitokimyasal bileşikler ve lifler kanserojen maddeleri bağlamakta veya zarar vermekte ve insülin metabolizmasını düzenlemektedir. Bu etkileri ile pankreas kanserine yakalanma riskini düşürdüğü



öngörülmektedir (Salem & Mackenzie, 2018). Yulaf  $\beta$ -glukanları potansiyel antikanser özellikleri nedeniyle kolon kanserine yakalanma riskini düşürmektedir (Sterna vd., 2016).

Dünya genelinde görülen büyük sağlık problemlerinden biri tip 2 diyabettir. Uluslararası diyabet federasyonuna göre 2011 yılında dünya genelinde 311 milyon yetişkin insanın, 2015 yılında 415 milyon yetişkin insanın tip 2 diyabetli olduğu, bu rakamın 2030 yılında 552 milyon, 2040 yılında ise 642 milyona yükselmesinin beklendiği bildirilmektedir (Anonim, 2015). Diyet lifi tüketimi ile diyabet arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda kadınlarda  $>25$  g/gün, erkeklerde ise  $>38$  g/gün diyet lifi tüketiminin tip 2 diyabet riskini %20-30 arasında düşürdüğü bildirilmiştir (Abdurrahmanoğlu, 2017). Tam tahıl veya çözülmüş tahıl liflerinin yüksek oranda alınması bu düşüşü sağlarken, meyvelerden veya belirli sebzelerden alınan çözülmüş, jel formunda veya fermente olabilir liflerin tip 2 diyabet riskini azaltmadığı görülmüştür (Weickert & Pfeiffer, 2018). Literatürde kepekli ekmek, tam tahıllı kahvaltılık gevrek, esmer pirinç gibi tam tahıl tüketimi ile tip 2 diyabet riski arasındaki ilişkiyi belirleyen çalışmalar bulunmaktadır (Liu vd., 2000). Yapılan çalışmalarda özellikle çözülmüş tahıl liflerinin yüksek oranda ( $>30$  g/gün) alınmasının (Aune vd., 2012) veya tahıl liflerince zengin tam tahıl ürünlerinin ( $>30-40$  g/gün) tüketilmesinin (Becerra-Tomas vd., 2017) insülin direncini düşürdüğü ve tip 2 diyabet riskini %20-30 arasında düşürdüğü, yine yüksek tahıl lifli beslenmenin tip 2 diyabet riskini %33 azalttığı bildirilmiştir (Weickert & Pfeiffer, 2018). Çözülmüş diyet lifi alımının glisemik indeks ile direkt bağlantılı olduğu çalışmalarda belirtilmektedir (Weickert & Pfeiffer, 2018).

Tip 2 diyabet hastalığının son yıllarda hızla artmasının başlıca nedenleri aşırı kilo ve yetersiz fiziksel aktivitedir. İnsanların günlük diyeti; tip 2 diyabeti doğrudan, obeziteyi ise dolaylı yoldan etkilemektedir. Tam tahıllar rafine gıdaların aksine, ruşeym ve kepek kısmını bünyesinde barındırmaktadır. Tam tahılların içerdikleri lif, vitamin, mineral ve fitokimyasalların glikoz metabolizmasını düzenlemesi ve insülin direncini düşürmesi tip 2 diyabet riskinin düşmesine ayrıca, fazla kilo ve obezitenin azalmasına neden olmaktadır (Aune vd., 2012). Tahıl liflerinin tip 2 diyabete karşı bu koruyucu etkisi: insan vücudunda enerji metabolizma döngüsünde glikoz toleransını geliştirmesi ve kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumuna neden olması, bağışıklık sistemini geliştirmesi ve iltihaplanmayı azaltması olarak 3 şekilde açıklanabilmektedir (Davison & Temple, 2018).

**Tablo 3.** Tahıl ve pseudotahılların sağlık üzerine etkileri  
*Table 3. Effects of cereals and pseudocereals on health*

	Hastalık	Sonuç	Kaynakça
Buğday	Obezite	Günlük ilave 14 g buğday kepeği tüketimi günlük enerji ihtiyacını %10 düşürmektedir.	Howart vd. (2001)
	Kolon kanseri	Günlük en az 6-8 g buğday kepeği lifi tüketiminin bağırsak mikroflorasının düzenlenmesine yardım ettiği ve kolon kanserine yakalanma riskini düşürdüğü rapor edilmiştir.	Jefferson ve Adolphus (2019)
Pirinç	Tip 1-2 Diyabet	Hastanede yatan 28 tip 2 diyabet hastası üzerinde yapılan bir çalışmada kahverengi pirinç tüketimi kan glukoz seviyesinde ani değişikliklere neden olmadığı ve tip 2 diyabet riskini düşürdüğü bildirilmiştir.	Kondo vd. (2017)
	Kroner kalp hastalıkları	Siyah pirinçlerin yüksek diyet lifi içeriği sayesinde arterlerde plak oluşumunu azaltarak damarların tıkanmasını önlemekte ve kalp krizi riskini düşürmektedir.	Thanuja ve Parimalavalli (2018)
	Kolesterol	Düşük glisemik indeks değerine sahip diyet lif bakımından zengin kahverengi pirinç alımının kan serum lipit seviyesini düşürdüğü buna bağlı olarak da HDL kolesterol seviyesini artırdığı rapor edilmiştir.	Upadhyay ve Karn (2018)

**Tablo 3.** Devamı  
Table 3. Continuing

	Hastalık	Sonuç	Kaynakça
Mısır	Obezite	Mısır diyet lifi olarak kabul edilen dirençli nişasta bakımından zengin bir üründür. Mısırdan alınan dirençli nişastanın kolesterol metabolizmasını etkileyerek obezite ve hiperlipidemi riskini azalttığı bildirilmektedir.	Shah vd. (2016)
	Tip 2 Diyabet	Dirençli nişasta içeriği yüksek mısır tüketiminin kan ve serum insülin düzeyini dengede tuttuğu ve tip 2 diyabete yakalanma riskini düşürdüğü bildirilmektedir.	Sheng vd. (2018)
	Bağırsak	Günlük 17-30 g dirençli nişasta tüketiminin bağırsak hareketlerini düzenlediği ve ıslak dışkı ağırlığını 2,7g/gün arttırdığı ayrıca dışkı ile atılan kısa zincirli yağ asitleri ile asetat oranını yükselttiği rapor edilmiştir.	Sheng vd. (2018)
Yulaf	Kolesterol	Yulaf $\beta$ -Glukanı kan kolesterol seviyesini düşürerek kronik kalp hastalığı riskini düşürmektedir.	Sterna vd. (2016)
	Kolon kanseri	Yulaf $\beta$ -Glukanı antikanser özelliği nedeniyle kolon kanserine yakalanma riskini düşürmektedir.	Sterna vd. (2016)
Çavdar	Kanser	Prostat kanseri olan erkekler üzerinde yapılan bir çalışmada yüksek lifli çavdar tüketiminin kansere neden olan inflamatuvar markör C-reaktif proteinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir.	Landberg vd. 2010
	Kolesterol	190 sağlıklı birey üzerinde yapılan bir çalışmada bireylerin günlük diyetine fermente edilmiş çavdar kepeği ilave edilmiştir. 12 hafta sonra LDL kolesterol seviyesinde %6 oranında düştüğü bildirilmiştir.	Jonsson vd. (2018)
	Obezite	Çavdardaki bazı diyet liflerinin fermantasyonu sırasında meydana gelen bütirat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin doyumluk hissi verdiği, ayrıca çavdar ekmeğinde serotonin benzeri maddelerin bulunduğu ve bu maddelerinde tokluk hissi oluşturduğu rapor edilmiştir.	Johansson vd. (2018)
Arpa	Kolesterol	615 kişi üzerinde yapılan bir çalışmada ortalama 4 hafta boyunca günlük 6.5-6.9 g arpa tüketiminin LDL Kolesterol seviyesini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir.	Ho vd. (2016)
	Bağırsak	26 sağlıklı birey üzerinde yapılan bir çalışmada 2 ay boyunca günlük 3 gr arpa $\beta$ -glukanı içecek şekilde uygulanan diyet sonrası dışkı mikrobiyotası incelenmiş ve bireylerin dışkılarında Clostridiaceae, Roseburia hominis, Ruminococcus sp. ve Fusobacteria sayılarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.	De Angelis vd. (2015)
	Tip 2 Diyabet	60 gün boyunca günlük 1.2 g arpa tüketimi tip 2 diyabet riskini düşürdüğü bildirilmiştir.	Yang vd. (2016)

**Tablo 3. devamı**  
*Table 3. continuing*

	Hastalık	Sonuç	Kaynakça
Kinoa	Kardiyovasküler Hastalıklar	Günlük öğünde 2.5-5 g kinoa tüketiminin kalp damar hastalıklarına yakalanma riskini %21 düşürdüğü bildirilmiştir.	Mellen vd. (2008)
	Kolesterol	18 ila 45 yaşları arasındaki 22 öğrencinin 30 gün boyunca günlük diyetlerine kinoa ilave edilmesi trigliserit, toplam kolesterol ve LDL seviyelerini önemli ölçüde azalttığı ortaya konmuştur.	Farinazzi vd. (2012)
	Kolon Kanseri	Yaklaşık 40 gr kinoa tüketiminin günlük alınması gereken vitamin ve minerallerin büyük çoğunluğunu karşıladığı, yüksek diyet lifi sebebiyle kolon kanserine yakalanma riskini düşürdüğü bildirilmektedir.	Ledesma (2019)
Chia	İnme	20 yetişkin sağlıklı birey üzerinde yapılan bir çalışmada 12 hafta boyunca günde 37 g chia tohumu tüketilmesinin inme ve kalp krizi riskini düşürdüğü bildirilmiştir.	Marcinek ve Krejpcio (2017)
	Diyabet	Her gün 0-24 g arası chia tohumu ilave edilmiş ekmek tüketen 11 sağlıklı erkek ve kadın üzerinde yapılan bir çalışmada yemek sonrası 120. dk daki tokluk şeker düzeyinin düştüğü tespit edilmiştir.	Vuksan vd. (2010)
	Menopoz	Menopoz sonrası 10 sağlıklı kadın üzerinde yapılan çalışmada 7 hafta boyunca günde 25 gr öğütülmüş chia tohumunun yutulmasının menopoz sonrası oluşabilecek olumsuzlukları azalttığı bildirilmiştir.	Fin vd. (2012)
Karabuğday	Tip 2 diyabet	Günlük karabuğday tüketiminin tip 2 diyabet riskini düşürdüğü bildirilmiştir.	Kreft (2016)
	Kolesterol	Karabuğdayın yapısında bulunan çözünür diyet liflerinin toplam kolesterol seviyesini düşürdüğü tespit edilmiştir.	Bobkov (2016)
	Obezite	Günlük karabuğday alımının yüksek diyet lifi içeriği nedeniyle anti-obezite etkisi meydana getirdiği bildirilmiştir.	Kang vd. (2016)

## 6. Dünya’da lif tüketimi

### 6. Fiber consumption in the world

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’ne göre, yetişkin bir bireyin günde ortalama 25-35 g lif veya 14 g lif/1000 kcal gün, 2 yaşından büyük çocukların ise 0.5 g/kg vücut ağırlığı lif tüketmesi önerilmektedir. Ayrıca yaştan bağımsız olarak erkek bireylerin, kadınlardan daha fazla lif tüketmesi tavsiye edilmektedir (Buil-Cosiales vd., 2016). Tüketilecek diyet lifi türü ve kaynağı hakkında spesifik bir tavsiye bulunmamakla birlikte, alınacak diyet lifinin %50’den fazlasının tam tahıllardan karşılanması önerilmektedir (Evert vd., 2013). Önerilere rağmen kültürel değişimlerle birlikte gelen dışarıda yeme kültürü, kentleşme, rafine edilmiş ve işlenmiş gıda tüketimine yönelim, ekonomik yetersizlik ve bilgi eksikliği gibi nedenlerden dolayı dünya genelinde günlük diyet lifi tüketimi oldukça düşüktür (Hajishafiee vd., 2016).

Avrupa ülkelerinde diyet lifi alımı miktarları Tablo 4’te gösterilmektedir. Yapılan araştırmalar Avrupa ülkelerinde erkeklerde ortalama 20.12 g/gün, kadınlarda 17.70 g/gün diyet lifi tüketiminin olduğunu

göstermektedir. Avrupa ülkeleri içerisinde en düşük diyet lifi tüketiminin İspanya ve İngiltere’de, en yüksek diyet lifi tüketiminin ise Almanya ve Norveç’te olduğu belirtilmiştir. Ülkelerin beslenme alışkanlıklarının günlük diyet lifi tüketimi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Farklı beslenme şekillerine sahip olan ülkelerin diyet lifi tüketimine bakıldığında Amerika Birleşik Devletleri’nde 20-35 g/gün arasında, Japonya’da 20-35 g/gün arasında, Kore’de 20-25 g/gün arasında ve Avustralya’da ise 25-30 g/gün arasında değiştiği belirtilmektedir (Kim & Paik, 2012). Türkiye’de günlük diyet lifi tüketimi ile ilgili verilere ulaşılamamıştır.

**Tablo 4.** Avrupa ülkelerinde günlük diyet lifi alım miktarları (g/gün) (Stephen vd., 2017)

*Table 4. Daily dietary fiber intake in European countries (g/day)*

	<b>Erkek (g/gün)</b>	<b>Kadın (g/gün)</b>		<b>Erkek (g/gün)</b>	<b>Kadın (g/gün)</b>
<b>Belçika</b>	15.67	13.83	<b>Macaristan</b>	24.33	21.00
<b>Danimarka</b>	22.00	19.43	<b>Hollanda</b>	21.00	17.50
<b>Almanya</b>	26.33	24.17	<b>Avustralya</b>	19.71	19.00
<b>İrlanda</b>	20.75	18.00	<b>Portekiz</b>	18.00	16.00
<b>İspanya</b>	13.00	12.00	<b>Finlandiya</b>	22.00	20.60
<b>Fransa</b>	18.67	16.67	<b>İsveç</b>	21.00	18.50
<b>İtalya</b>	18.50	16.50	<b>İngiltere</b>	13.50	11.75
<b>Litvanya</b>	21.00	16.00	<b>Norveç</b>	26.60	22.20

## 7. Sonuç

### 7. Conclusion

Diyet lifi ile ilgili araştırmalar beslenme ve sağlık üzerine etkileri ile fonksiyonel bir bileşen olarak gıda endüstrisindeki potansiyel uygulamaları üzerine yoğunlaşmaktadır. Diyet liflerinin ana kaynakları tahıllar, pseudotahıllar, bakliyatlar, meyve ve sebzelerdir. Ayrıca birçok sentetik lif de (polidekstroz, siklodekstrin vb) gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Tahıl ve pseudotahılların meyve ve sebzelere göre çözünmez diyet lif içerikleri daha yüksek seviyededir. Günlük diyet lifi alımının özellikle kolon, mide ve pankreas kanserleri olmak üzere farklı kanser türlerinin önlenmesinde katkı sağladığı, obeziteye yakalanma ihtimalini düşürdüğü, kilo kontrolüne yardımcı olduğu ve kronik kalp hastalıklarının azaltılmasında etki sağladığı görülmektedir. Bununla beraber yapılan çalışmalar ortalama diyet lifi tüketiminin önerilen düzeylerin çok altında olduğunu göstermektedir. Kronik rahatsızlıklara yakalanma riskini düşürmek, daha sağlıklı bir yaşam sürebilmek için günlük beslenmede mutlaka diyet lifine yer verilmelidir. Diyet lifi kaynağı olarak farklı ürünler mevcut olsada tahıl ve pseudotahılların lif içeriklerinin insan metabolizmasına faydalı olduğu göz önüne alınarak, günlük diyetinde 10 g ve üzerinde tahıl ve pseudotahıllara yer verilmesi önerilmektedir.

## Yazar katkısı

### Author contribution

AC: Makalenin organizasyonu, literatür tarama ve makale yazımı, ÖA: Makalenin organizasyonu, makale kontrolü, AS: Makalenin organizasyonu, makale kontrolü

## 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*

- Abdurrahmanoğlu, E. T. (2017). *Yetişkinlerde tam tahıl yeme isteği, diyet lifi bilgi düzeyi ve tam tahıl tüketimi ile depresyon arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Ai, Y., & Jane, J. L. (2016). Macronutrients in corn and human nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 581–598. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12192>
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- Amalraj, A., & Pius, A. (2015). Influence of oxalate, phytate, tannin, dietary fiber, and cooking on calcium bioavailability of commonly consumed cereals and millets in India. *Cereal Chemistry*, 92(4), 389–394. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-11-14-0225-R>
- Anonim, (2015, Nisan 19). *International diabetes federation. IDF diabetes*. <https://www.idf.org/e-library/epidemiology-research/diabetes-atlas.html>
- Anonim, (2019, Temmuz 7). *Çavdar*. <https://ansiklopedi.halisinden.com/%C3%87avdar>
- Anonim, (2020, Temmuz 7). *Mısır ve ürünleri*. <http://www.nud.org.tr/misir-ve-urunleri/>
- Anonim, (2022, Ekim 5). *Avrupa birliği tahıl piyasası*. <https://millermagazine.com/tr/blog/avrupa-birligi-tahil-piyasasi-1750>
- Arslan, S., & Erbaş, M. (2014). Selüloz ve selüloz türevi diyet liflerin özellikleri ve fırın ürünlerinde kullanım imkanları. *Gıda*, 39(4), 243-250.
- Aune, D., Chan, D. S., Greenwood, D. C., Vieira, A. R., Rosenblatt, D. A., Vieira, R., & Norat, T. (2012). Dietary fiber and breast cancer risk: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Annals of Oncology*, 23, 1394-1402. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdr589>
- Becerra-Tomas, N., Diaz-Lopez, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D., Estruch, R., Fito, M., Serra-Majem, L., Aros, F., Lamuela-Raventos, R. M., Fiol, M., Santos-Lozano, J. M., Diez-Espino, J., Portoles, O., Salas-Salvado, J., & Investigators, P. S. (2017). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the Predimed study. *Clinical Nutrition*, 37(3), 906-913. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.03.015>
- Borderias, A. J., Alonso, I. S., & Perez-Mateos, M. (2005). New applications of fibres in foods: Addition to fishery products trends. *Food Science & Technology*, 16(2005), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.011>
- Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E., & Prandi, B. (2018). Current trends in ancient grains-based foodstuffs: Insights into nutritional aspects and technological applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 123–136. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12315>
- Bucella, B., Molnar, D., Harasztos, A. H., & Tómoskózi, S. (2016). Comparison of the rheological and end-product properties of an industrial aleurone-rich wheat flour, whole grain wheat and rye flour. *Journal of Cereal Science*, 69, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.007>
- Buil-Cosiales, P., Írimia, P., Ros, E., Riverol, M., Gilabert, R., Martínez-Vila, E., Nunez, Í., Diez-Espino, J., Martínez-Gonzalez, M. A., & Serrano-Martinez, M. (2009). Dietary fibre intake is inversely associated with carotid intima-media thickness: a cross-sectional assessment in the PREDİMED study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63, 1213-1219. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.45>

- Buil-Cosiales, P., Toledo, E., Salas-Salvado, J., Zazpe, Í., Farras, M., Basterra-Gortari, F.J., Diez-Espino, J., Estruch, R., Corella, D., Ros, E., Marti, A., Gomez-Gracia, E., Ortega-Calvo, M., Aros, F., Monino, M., Serra-Majem, L., Pinto, X., Lamuela-Raventos, R. M., Babio, N., Gonzalez, J. Í., Fito, M., Martinez-Gonzalez, M. A., & Investigators, P. (2016). Association between dietary fibre intake and fruit, vegetable or whole-grain consumption and the risk of CVD: results from the prevention con dieta mediterranea (PREDIMED) trial. *British Journal of Nutrition*, *116*, 534-546. <https://doi.org/10.1017/S0007114516002099>
- Caceres, P. J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. (2014). Assessment on proximate composition, dietary fiber, phytic acid and protein hydrolysis of germinated ecuatorian brown rice. *Plant Foods for Human Nutrition*, *69*, 261–267. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0433-x>
- Champ, M., Langkilde, A. M., Brouns, F., Kettlitz, B., & Le Bail Collet, Y. (2003). Advances in dietary fibre characterization. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutrition Research Reviews*, *16*, 71–82. <https://doi.org/10.1079/NRR200254>
- Collar, C., & Angioloni, A. (2014). Nutritional and functional performance of high  $\beta$ -glucan barley flours in breadmaking: mixed breads versus wheat breads. *European Food Research and Technology*, *238*, 459–469. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2128-1>
- Cruz-Requena, M., Aguilar-González, C. N., Prado-Barragan, L. A., Cunha, M. G. C., Correia, M. T. S., Contreras-Esquivel, J. C. & Rodríguez-Herrera, R. (2016). Dietary fiber, an ingredient against obesity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *28*(8), 522–530. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-07-521>
- Davison, K. M., & Temple, N. J. (2018). Cereal fiber, fruit fiber, and type 2 diabetes: explaining the paradox. *Journal of Diabetes Complications*, *32*, 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.11.002>
- De Angelis, M., Montemurno, E., Vannini, L., Cosola, C., Cavallo, N., Gozzi, G., Maranzano, V., Di Cagno, R., Gobbetti, M., & Gesualdo, L. (2015). Effect of whole-grain barley on the human fecal microbiota and metabolome. *Applied and Environmental Microbiology* *81*, 7945–7956. <https://doi.org/10.1128/AEM.02507-15>
- De Falco, B., Amato, M., & Lanzotti, V. (2017). Chia seeds products: an overview. *Phytochemistry Reviews*, *16*, 745–760. <https://doi.org/10.1007/s11101-017-9511-7>
- De Santis, M. A., Kosik, O., Passmore, D., Flagella, Z., Shewry, P. R., & Lovegrove, A. (2018). Comparison of the dietary fibre composition of old and modern durum wheat (*Triticum turgidum* spp. durum) genotypes. *Food Chemistry*, *244*, 304–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.143>
- Demirci, M., Sağdıç, O., Çavuş, M., Pehlivanoglu, H., Çağları, M. Y., & Yılmaz, M. T. (2017). Prebiyotik oligosakkaritlerin kaynakları, üretimleri ve gıda uygulamaları. *European Journal of Science and Technology*, *6*(10), 20-31.
- Djurle, S., Andersson, A. A. M., & Andersson, R. (2016). Milling and extrusion of six barley varieties, effects on dietary fibre and starch content and composition. *Journal of Cereal Science*, *72*, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.017>
- Dodevska, M. S., Djordjevic, B. I., Sobajic, S. S., Miletic, I. D., Djordjevic, P. B., & Dimitrijevic-Sreckovic, V. S. (2013). Characterisation of dietary fibre components in cereals and legumes used in Serbian diet. *Food Chemistry*, *141*, 1624–1629. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.078>
- Elmadfa, L. (2009). European nutrition and health report, *62*, 12–13.
- Ertay-Öztürk, Y., & Şanlıer, N. (2017). Chia seed (*Salvia hispanica* L.): It's place in nutrition and relation with health a review. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, *9*(4), 101–111.
- Evert, A. B., Boucher, J. L., Cypress, M., Dunbar, S. A., Franz, M. J., Mayer-Davis, E. J., Neumiller, J. J., Nwankwo, R., Verdi, C. L., Urbansk, P., & Yancy, W. S. (2013). Nutrition therapy recommendations for the management of adults with diabetes. *Diabetes Care*, *36*, 3821-3842. <https://doi.org/10.2337/dc14-S120>
- FAO, (2018, Temmuz 10). *Faostat*. <http://www.fao.org/faostat>



- Farinazzi, F. V. M., Barbalho, S. M., Oshirwa, M., Goulart, R., & Junior, O. P. (2012). Use of cereal bars with quinoa (*chenopodium quinoa* w.) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Food Science and Technology*, 32, 239-244. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000040>
- Farvid, M. S., Eliassen, A. H., Cho, E., Liao, X., Chen, W. Y., & Willett, W. C. (2016). Dietary fiber intake in young adults and breast cancer risk. *Pediatrics*, 137, 12-26. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-1226>
- Frølich, W., Aman, P., & Tetens, I. (2013). Whole grain foods and health—a scandinavian perspective. *Food & Nutrition Research*, 57, 18503. <https://doi.org/10.3402/fnr.v57i0.18503>
- Gaskins, A. J., Mumford, S. L., Zhang, C., Wactawski-Wende, J., Hovey, K. M., Whitcomb, B. W., Howards, P. P., Perkins, N. J., Yeung, E., & Schisterman, E. F. (2009). Effect of daily fiber intake on reproductive function: the BioCycle Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90, 1061-1069. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27990>
- Gewehr, M. F., Danelli, D., De Melo, L. M., Flores, S. H., & De Jong, E. V. (2017). Nutritional and technological evaluation of bread made with quinoa flakes (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12803>
- Giménez-Bastida, J. A., Piskula, M. K., & Zieliński, H. (2015). Recent advances in processing and development of buckwheat derived bakery and non-bakery products – a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(1), 9-20. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0005>
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeo'n, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 431–445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>
- Green, L. E., Dinh, T. A., & Smith, R. A. (2012). An estrogen model: the relationship between body mass index, menopausal status, estrogen replacement therapy, and breast cancer risk. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 792375. <https://doi.org/10.1155/2012/792375>
- Guine, F., Duarte, J., Ferreira, M., Correia, P., Leal, M., Rumbak, I., Baric, I. C., Komes, D., Satalic, M., Saric, M. M., Tarcea, M., Fazakas, Z., Jovanoska, D., Vanevski, D., Vittadini, E., Pellegrini, N., Szucs, V., Harangozo, J., Kenawy, A., El-Shenawy, O., Yalcin, E., Kösemeci, C., Klava, D., & Straumite, E. (2016). Attitudes toward dietary fibre on a multicultural basis: a fibre study framework. *Current Nutrition and Food Science*, 12(2), 132-141.
- Hajishafiee, M., Saneei, P., Benisi-Kohansal, S., & Esmailzadeh, A. (2016). Cereal fibre intake and risk of mortality from all causes, CVD, cancer and inflammatory diseases: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *British Journal of Nutrition*, 116, 343-352. <https://doi.org/10.1017/S0007114516001938>
- Halef Dizlek, H., Özer, M. S., İnanç, E., & Gül, H. (2009). Karabuğday'ın (*Fagopyrum Esculentum* Moench) bileşimi ve gıda sanayinde kullanım olanakları. *Gıda*, 34(5), 317-324.
- He, M., Van Dam, R. M., Rimm, E., Hu, F. B., & Qi, L. (2010). Whole-grain, cereal fiber, bran, and germ intake and the risks of all-cause and cardiovascular disease-specific mortality among women with type 2 diabetes mellitus. *Circulation*, 121, 2162-2168. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.90736>
- Hipsley, E. H. (1953). Dietary “fibre” and pregnancy toxemia. *British Medicana Journal*, 2, 420.
- Ho, Hvt., Sievenpiper, J. L., Zurbau, A., Mejia, B., Jovanovski, E., Au-Yeung, F., Jenkins, A. L., & Vuksan, V. (2016). A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials of the effect of barley β-glucan on LDL-C, non-HDL-C and apoB for cardiovascular disease risk reduction. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 1239–1245. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.89>
- Honcu, I., Slukova, M., Vaculova, K., Sedlackova, I., Wiege, B., & Fehling, E. (2016). The effects of extrusion on the content and properties of dietary fiber components in various barley cultivars. *Journal of Cereal Science*, 68, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.01.012>
- Howarth, N. C., Saltzman, E., & Roberts, S. B. (2001). Dietary fiber and weight regulation. *Nutrition Reviews*, 59(5), 129-139.

- Hu, D., Huang, J., Wang, Y., Zhang, D., & Qu, Y. (2014). Fruits and vegetables consumption and risk of stroke: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Stroke*, *45*, 1613-1619. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.004836>
- Huang, T., Xu, M., Lee, A., Cho, S., & Qi, L. (2015). Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: prospective analysis of 367,442 individuals. *BMC Medicine*, *13*, 59. <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0294-7>
- Jefferson, A., & Adolphus, K. (2019). The effects of intact cereal grain fibers, including wheat bran on the gut microbiota composition of healthy adults: a systematic review. *Frontiers in Nutrition*, *6*, 33. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00033>
- Ji, C. M., Shin, J.A., Cho, J. W., & Lee, K. T. (2013). Nutritional evaluation of immature grains in two Korean Rice cultivars during maturation. *Food Science and Biotechnology*, *22*(4), 903–908. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0162-1>
- Jin, F., Nieman, D. C., Sha, W., Xie, G., Qiu, Y., & Jia, W. (2012). Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Journal of Plant Food and Human Nutrition*, *67*, 105-110. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0286-0>
- Johansson, D. P., Vázquez Gutiérrez, J. L., Landberg, R., Alming, M., & Langton, M. (2018). Impact of food processing on rye product properties and their in vitro digestion. *European Journal of Nutrition*, *57*, 1651–1666. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1450-y>
- Jones, J. M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the ‘fiber gap’. *Jones Nutrition Journal*, 13-34.
- Jonsson, K., Andersson, R., Knudsen, K. E. B., Hallmans, G., Hanhineva, K., & Katina, K. (2018). Rye and health—Where do we stand and where do we go. *Trends in Food Science & Technology*, *79*, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018>
- Joshi, D. C., Chaudhari, G. V., Sood, S., Kant, L., Pattanayak, A., Zhang, K., & Zhou, M. (2019). Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gains through integrated breeding and genomics approach. *Planta*, *250*(3), 783-801. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03080-4>
- Kang, S. (2016). Major components and health functionalities of brown rice, germinated brown rice, barley and buckwheat. *Korea Agricultural Science Digital Library*, *20*(3), 175-182.
- Keskin, Ş., & Evlice, A. (2015). Fırın ürünlerinde kinoa kullanımı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *24*(2), 150-156. <https://doi.org/10.21566/tbmaed.50292>
- Khan, M. A., Nadeem, M., Rakha, A., Shakoor, S., Shehzad, A., & Khan, M. R. (2016). Structural characterization of oat bran (1!3), (1!4) -β-D-glucans by lichenase hydrolysis through high-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *International Journal of Food Properties*, *19*, 929–935. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1045519>
- Kılınççeker, O., & Büyük, G. (2019). Amaranth (*Amaranthus* spp)’ın bazı özellikleri ve et ürünlerinde kullanımı. *ADYÜTAYAM*, *7*(2), 36-42.
- Kim, H. J., & Paik, H. D. (2012). Functionality and application of dietary fiber in meat products. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *32*(6), 695-705. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.6.695>
- Kim, Y., & Je, Y. (2016). Dietary fibre intake and mortality from cardiovascular disease and all cancers: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Archives of Cardiovascular Diseases*, *109*, 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2015.09.005>
- Knudsen, K. E. B., Nørskov, N. P., Bolvig, A. K., Hedemann, M. S., & Lærke, H. N. (2017). Dietary fibers and associated phytochemicals in cereals. *Molecular Nutrition & Food Research*, *61*(7), 1–15. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600518>
- Kondo, K., Morino, K., Nishio, Y., Ishikado, A., Arima, H., Nakao, K., Nakagawa, F., Nikami, F., Sekine, O., Nemoto, K., Suwa, M., Matsumoto, M., Miura, K., Makino, T., Ugi, S., & Maegawa, H. (2017). Fiber-rich diet with brown

- rice improves endothelial function in type 2 diabetes mellitus: A randomized controlled trial. *Plos One*, 12(6), 0179869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179869>
- Köten, M., Ünsal, A. S. & Atlı, A. (2013). Arpanın insan gıdası olarak değerlendirilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(2), 51-55.
- Kreft, M. (2016). Buckwheat phenolic metabolites in health and disease. *Nutrition Research Reviews*, 29, 30–39. <https://doi.org/10.1017/S0954422415000190>
- Landberg, R., Andersson, S., Zhang, J. X., Johansson, J. E., Stenman, U., Adlercreutz, H., Kamal-Eldin, A., Aman, P., & Hallmans, G. (2010). Rye whole grain and bran intake compared with refined wheat decreases urinary c-peptide, plasma insulin, and prostate specific antigen in men with prostate cancer. *The Journal of Nutrition and Disease*, 140, 2180-2186. <https://doi.org/10.3945/jn.110.127688>
- Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: a review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27-47. <https://doi.org/10.31989/bchd.v2i3.556>
- Li, G., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. *Food Chemistry*, 221, 1560–1568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137>
- Li, S., Flint, A., Pai, J. K., Forman, J. P., Hu, F. B., Willett, W. C., Rexrode, K. M., Mukamal, K. J., & Rimm, E. B. (2014). Dietary fiber intake and mortality among survivors of myocardial infarction: prospective cohort study. *BMJ*, 348, 26-59. <https://doi.org/10.1136/bmj.g2659>
- Liu, S., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Hu, F. B., Giovannucci, E., Colditz, G., Hennekens, C. H., & Willett, W. C. (2000). A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in us women. *American Journal of Public Health*, 90(9), 1409–1415. <https://doi.org/10.2105/ajph.90.9.1409>
- Madeira, J. V., Contesini, F. J., Calzado, F., Rubio, M. V., Zubieta, M. P., Lopes, D. B. & Melo, R. R. (2017). Agro-industrial residues and microbial enzymes: An overview on the eco-friendly bioconversion into high value-added products. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 475-511. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00018-2>
- Mankan, E. (2008). *Hamurun fiziksel özelliklerinin çavdar ekmeğinin kalitesi üzerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Marcinek, K., & Krejpcio, Z. (2017). Chia seeds (*salvia hispanica*): health promoting properties and therapeutic applications – a review. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 68(2),123-129.
- Marotti, I., Bregola, V., Aloisio, I., Di Gioia, D., Bosi, S., & Di Silvestro, R. (2012). Prebiotic effect of soluble fibres from modern and old durum-type wheat varieties on *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 2133–2140. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5597>
- Martinez-Villaluenga, C., Penas, E., & Hernandez-Ledesma, E. (2020). Pseudocereal grains: nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137(2020), 111178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Mellen, P. B., Walsh, T. F., & Herrington, D. M. (2008). Whole grain intake and cardiovascular disease: A meta-analysis. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 18, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2006.12.008>
- Mensinka, M. A., Frijlink, H. W., Maarschalka, K. V., & Hinrichs, W. L. J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130(2015), 405–419. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026>
- Messia, M. C., Candigliota, T., De Arcangelis, E., & Marconi, E. (2017). Arabinoxylans and  $\beta$ -glucans assessment in cereals. *Italian Journal of Food Science*, 29, 112–122.
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.016>
- Miranda, M., Vega-Ga'ivez, A., Martinez, E. A., Lopez, J., Marin, R., Aranda, M., & Fuentes, F. (2013). Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties.

*Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2), 108–116. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392013000200004>

- Murakami, K. & Livingstone, M. B. (2016). Associations between meal and snack frequency and diet quality and adiposity measures in british adults: findings from the national diet and nutrition survey. *Public Health Nutrition*, 19, 1624-1634. <https://doi.org/10.1017/S1368980015002979>
- Nomura, A. M., Hankin, J. H., Henderson, B. E., Wilkens, L. R., Murphy, S., Pike, M. C., Le Marchand, L., Stram, D. O., Monroe, K. R., & Kolonel, L. N. (2007). Dietary fiber and colorectal cancer risk: the multiethnic cohort study. *Cancer Causes Control*, 18, 753-764. <https://doi.org/10.1007/s10552-007-9018-4>
- Pereira, M. A., O'Reilly, E., & Augustsson, K. (2004). Dietary fiber and risk of coronary heart disease a pooled analysis of cohort studies. *Archives International. Medicine*, 164(4), 370-376. <https://doi.org/10.1001/archinte.164.4.370>
- Prasad, V. S. S., Hymavathi, A., Ravindra Babu, V., & Longvah, T. (2018). Nutritional composition in relation to glycemic potential of popular Indian rice varieties. *Food Chemistry*, 238, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.138>
- Prasanthi, P. S., & Naveena, N., Vishnuvardhana Rao, M., Bhaskarachary, K. (2017). Compositional variability of nutrients and phytochemicals in corn after processing. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1080–1090. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2547-2>
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., & D'andria, R. (2012). Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198, 254–263. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00509>
- Rainakari, A. I., Rita, H., Putkonen, T., & Pastell, H. (2016). New dietary fibre content results for cereals in the Nordic countries using AOAC 2011.25 method. *Journal of Food Composition and Analysis*, 51, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.001>
- Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., & Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–675. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
- Robin, F., Theoduloz, C., & Srichuwong, S. (2015). Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 2152–2159. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12893>
- Saldamlı, İ. (2007). *Gıda kimyası* (4. Baskı). Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Salem, A. A., & Mackenzie, G. G. (2018). Pancreatic cancer: A critical review of dietary risk. *Nutrition Research*, 52, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.12.001>
- Sebastiena, G., Christopheb, B., Marioa, A., Pascala, L., Michela, P., & Aurore, R. (2014). Impact of purification and fractionation process on the chemicalstructure and physical properties of locust bean gum. *Carbohydrate Polymers*, 108(2014), 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.092>
- Shah, T. R., Prasad, K., & Kumar, P. (2016). Maize—A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2, 1166995. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
- Sheng, S., Li, T., & Liu, R. (2018). Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>
- Sidhu, J. S., Kabir, Y., & Huffman, J. (2007). Functional foods from cereal grains. *International Journal of Food Properties*, 10, 231–244. <https://doi.org/10.1080/10942910601045289>
- Slavin, J. L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21, 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018>
- Soliman, G. A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11, 1155. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>

- Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L., & Gloria-Hernandez, H. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chemistry*, 233, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019>
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001). Buckwheat seed milling fractions: Description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33, 271–278. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0366>
- Stephen, A. M., Champ, M. M. J., Cloran, S. J., Fleith, M., Van Lieshout, L., Mejborn, H., & Burley, V. J. (2017). Dietary fibre in Europe: current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutrition research reviews*, 30(2), 149-190. <https://doi.org/10.1017/S095442241700004X>
- Sterna, V., Zute, S., & Brunava, L. (2016). Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.100>
- Sterna, V., Zute, S., Jansone, I., & Kantane, I. (2017). Chemical composition of covered and naked spring barley varieties and their potential for food production. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(2), 151–158. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0019>
- Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7), 1–16. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
- Tarcea, M., Rus, V., & Zita, F. (2017). Insight of dietary fibers consumption and obesity prevention. *Journal of Obesity & Eating Disorders*, 3(1), 31.
- Taş, M. (2019, Temmuz 10). Aşkla ye, diyet lifi ve sağlık. <https://www.medyakesan.com.tr/askla-ye-saglikli-yasa-diyet-lifi-ve-saglik-makale,544.html>
- Teixeira, C., Nyman, M., Andersson, R., & Alming, M. (2016). Effects of variety and steeping conditions on some barley components associated with colonic health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4821–4827. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7923>
- Thanuja, B., & Parimalavalli, R. (2018). Role of black rice in health and diseases. *International Journal of Health Sciences & Research*, 8(2), 241-248.
- Theuwissen, E., & Mensink, R. P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & Behavior*, 94(2008), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.01.001>
- Threapleton, D. E., Greenwood, D. C., Evans, C. E., Cleghorn, C. L., Nykjaer, C., Woodhead, C., Cade, J. E., Gale, C. P., & Burley, V. J. (2013). Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 347, 68-79.
- Upadhyay, A., & Karn, S. (2018). Brown rice: nutritional composition and health benefits. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 10, 48-54. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v10i0.19711>
- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 381–412. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>
- Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 451–463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005>
- Vuksan, V., Jenkins, A. L., Dias, A. G., Lee, A. S., Jovanovski, E., Rogovik A. L., & Hanna, A. (2010). Reduction in postprandial glucose excursion and prolongation of satiety: possible explanation of the long-term effects of whole grain Salba (*Salvia Hispanica* L.). *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(4), 436-438. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.159>
- Weickert, M. O., & Pfeiffer, A. F. (2018). Metabolic effects of dieatry fiber consumption and prevention of diabetes. *Journal of Nutritional*, 138(3), 439-442. <https://doi.org/10.1093/jn/138.3.439>

WHO, (2016). *Obesity and overweight*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>

Yang, J., Zeng, Y., Yang, X., Pu, X., & Du, J. (2016). Utilization of barley functional foods for preventing chronic diseases in China. *Agricultural Science and Technology*, 17(9), 2195-2204.

Zeng, H., Lazarova, D. L., & Bordonaro, M. (2014). Mechanisms linking dietary fiber, gut microbiota and colon cancer prevention. *World Journal of Gastrointestinal Oncology*, 6, 41-51. <https://doi.org/10.4251/wjgo.v6.i2.41>



## 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.