

ISSN 2587-1943

#11

VOLUME 6, 1  
JUNE 2022

**Editor-in-Chief**  
Niyazi Özdemir  
Hikmet Esen

**Deputy Editor-in-Chief**  
Abdullah Kapıcıoğlu

**Managing Editor**  
Cihangir Kale

A

E

I

J

I

JOURNAL

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE ENGINEERING APPLICATIONS



### **Editor-in-Chief**

Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR

Prof. Dr. Hikmet ESEN

### **Deputy Editor-in-Chief**

Asst. Prof. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU

### **Executive Editors**

Prof. Dr. Messaoud SAIDANI

Prof. Dr. Niyazi BULUT

Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Asst. Prof. Dr. Salwa BOUADILA

### **Managing Editor**

Res. Asst. Cihangir KALE

---

### **Subject Editors**

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Prof. Dr. Asaf VAROL

Prof. Dr. Asım BALBAY

Prof. Dr. Elhoussine AZROUL

Prof. Dr. Engin AVCI

Prof. Dr. Fatih POYRAZ

Prof. Dr. Hacı Mehmet BAŞKONUŞ

Prof. Dr. Hasan TOĞRUL

Prof. Dr. İbrahim CAN

Prof. Dr. İnanç ÖZGEN

Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Prof. Dr. Murat KÖKSAL

Prof. Dr. Ömer YILDIRIM

Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Prof. Dr. Tahir KHAN

Assoc. Prof. Dr. Reza BAKHTIARI

Assoc. Prof. Dr. Erkan BAHÇE

Assoc. Prof. Dr. Faruk KARACA

Assoc. Prof. Dr. Fethi DAĞDELEN

Assoc. Prof. Dr. Filiz ÖZGEN

Assoc. Prof. Dr. Özen ÖZER

Assoc. Prof. Dr. Serdar MERCAN

Asst. Prof. Dr. Alper POLAT

Asst. Prof. Dr. Berivan YILMAZER POLAT

Asst. Prof. Dr. Fehmi ASLAN

Asst. Prof. Dr. Nagihan KARAASLAN AYHAN

Asst. Prof. Dr. Üyesi Ferit AK

Asst. Prof. Dr. Üyesi Yusuf DOĞAN

Asst. Prof. Dr. Vembu ANANTHASWAMY

### **Layout / Language Editor**

Res. Asst. Buğra ŞEN

Instructor Habip ŞAHİN

---

International Journal of Innovative Engineering Applications is published June and December.

Adress for the manuscripts and correspondence:

Uluslararası Yenilikçi Mühendislik Uygulamaları Dergisi  
Firat Üniversitesi Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Merkez–Elazığ

Tel: +90 424 237 0000/ Ext.7655

e-mail: ijieatr@gmail.com

ISSN: 2587-1943

Elazığ-2022

#11

**IJIEA**

# IJIEA

## volume 6 issue 1

### CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
<b>Varicap Diode Used Adaptive Band-Pass Filter Design Operating in the Frequency Range of 700 MHz-1800 MHz</b> <i>Varikap Diyot Kullanarak 700 MHz-1800 MHz Frekans Aralığında Çalışan Adaptif Bant Geçiren Filtre Tasarımı</i> <b>Fatma Nur GÖZEL, Mahmut Ahmet GÖZEL, Mesud KAHRİMAN</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	1-6
<b>Parametric Analysis of the Performance of Steel-Concrete Composite Structures Designed with TBDY 2018</b> <i>TBDY 2018 ile Tasarlanan Çelik-Beton Kompozit Yapıların Performansının Parametrik Analizi</i> <b>Serkan ETLİ</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	7-16
<b>Decision Tree Based Intrusion Detection Method in the Internet of Things</b> <i>Nesnelerin İnternetinde Karar Ağacı Tabanlı Saldırı Tespit Yöntemi</i> <b>Rojbin TEKİN, Orhan YAMAN, Türker TUNCER</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	17-23
<b>A Comparison Study in Terms of Dimensional Accuracy and Precision of 3D Modelling</b> <i>3D Modellemelerin Boyutsal Doğruluk ve Hassasiyet Açısından Bir Karşılaştırma Çalışması</i> <b>Mehmet ALTUĞ</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	24-29
<b>Effect of Unit Cell Height on the Ballistic Performance of the Body-Centered Lattice Structures</b> <b>Oktay KAYA, Hakan HAFIZOĞLU, Nazım BABACAN</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	30-34

# IJIEA

## volume 6 issue 1

### CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
<b>Obtaining the Electrical Characteristics of a Photovoltaic Array with DC-DC Converters</b> <i>DC-DC Konvertörler ile Bir Fotovoltaik Dizinin Elektriksel Karakteristiklerinin Elde Edilmesi</i> <b>Koray Şener PARLAK</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	35-41
<b>Recognition of Power Quality Events Using Wavelet Transform, K-Nearest Neighbor Algorithm and Gain Ratio Feature Selection Method</b> <i>Güç Kalitesi Olaylarının Dalgacık Dönüşümü, K-En Yakın Komşu Algoritması ve Kazanç Oranı Özellik Seçme Yöntemi Kullanılarak Tanınması</i> <b>Düzgün AKMAZ</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	42-47
<b>Synthesis and Characterization of NiO Reinforced Mn Based Hydroxyapatite Composites</b> <i>NiO Takviyeli Mn Katkılı Hidroksiapatit Kompozitlerinin Sentez ve Karakterizasyonu</i> <b>Tankut ATEŞ, Serhat KESER, Aydan AKSOĞAN KORKMAZ, Niyazi BULUT, Ömer KAYGILI</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	48-54
<b>Light-Emitting Properties of Pyrimidine-5-Carbonitrile Derivatives: a Theoretical Calculation</b> <b>Necdet KARAKOYUN, Sultan ERKAN</b> <i>Conference Paper [en] Konferans Bildirisi [tr]</i>	55-58
<b>Cell Culture Test and Bacterial Growth Evaluation of NiTiNbX ( X=Ta and V) Biocompatible Shape Memory Alloys in Simulated Body Fluid</b> <i>NiTiNbX ( X=Ta ve V) Biyouyumlu Şekil Hatırlamalı Alaşımların Yapay Vücut Sıvısı İçerisinde Hücre Kültür Testi ve Bakteri Üreme Değerlendirilmesi</i> <b>Esra BALCI, Cennet Canan KARADERİ, Hüseyin KAHRAMAN, Fethi DAGDELEN</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	59-64

# IJIEA

## volume 6 issue 1

### CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
<b>Investigation of the Performance of Metaheuristic Optimization Algorithms Used in Solving Real-World Engineering Design Problems</b> <i>Gerçek Dünya Mühendislik Tasarım Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Metasezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Performanslarının İncelenmesi</i> <b>Elif VAROL ALTAY</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	65-74
<b>A Comparative Investigation on the Wear Performance of Compacted Graphite Iron (CGI) Treated with Single and Double Tempering</b> <i>Tek ve Çift Temperleme İşlemi Yapılmış Vermiküler Dökme Demirin (VDD) Aşınma Performansı Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma</i> <b>Engin TAN</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	75-80
<b>The Physicochemical Properties of Tecer Lake (Ulaş/Sivas) and Its Phytoplanktonic Communities</b> <i>Tecer Gölü'nün (Ulaş/Sivas) Fizikokimyasal Özellikleri ve İçerdiği Fitoplanktonik Topluluklar</i> <b>Ergün KASAKA</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	81-90
<b>Investigation of Thermal Behavior and Microstructure of Carbon Added NiTi Shape Memory Alloy</b> <b>Ercan ERCAN</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	91-96
<b>Coating TiO<sub>2</sub> Film Using the Spin Method of AISI 304 Stainless Steel and Investigation of the Structural Properties</b> <i>AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Spin Yöntemi Kullanılarak TiO<sub>2</sub> Filmi ile Kaplanması ve Yapısal Özelliklerinin Araştırılması</i> <b>Hatice VAROL ÖZKAVAK, Hatice ASIL UĞURLU</b> <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	97-102

# IJIEA

## volume 6 issue 1

### CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
<p>Performance Evaluation of MQL, hBN and N<sub>2</sub> Lubrication/Cooling Conditions When Turning of AISI 904L Super Duplex Stainless Steel</p> <p><i>AISI 904L Süper Dupleks Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında MMY, hBN ve N<sub>2</sub> Soğutma/Yağlama Koşullarının Performans Değerlendirmesi</i></p> <p><b>Şenol ŞİRİN</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	103-110
<p>A Comparative Aerodynamic Analysis of NACA and NREL Aerofoils for Darrieus Turbines Using CFD</p> <p><b>Yunus CELİK</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	111-117
<p>Effect of Bone Ash and Compatibilizer on the Mechanical Properties of PP/PA6 Matrix Composites</p> <p><i>Kemik Külü ve Uyumlaştırıcının PP/PA6 Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi</i></p> <p><b>Lemiye ATABEK SAVAŞ, Yusuf UZUNOĞLU, Soner SAVAŞ</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	118-128
<p>Parents' View on Accessible School Design for Individuals with Autism Spectrum Disorder (ASD)</p> <p><i>Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB) Olan Bireyler için Erişilebilir Okul Tasarımında Aile Görüşü</i></p> <p><b>Merve KAVAZ</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	129-137
<p>Determining Distance Measurement Accuracy by Pedometer, GNSS and IMU and the New Developed Acceleration Sensor Based Method</p> <p><i>Pedometre, GNSS ve IMU ile Mesafe Ölçüm Doğruluğunun Tespit Edilmesi ve Yeni Geliştirilen İvme Sensörü Temelli Yöntem</i></p> <p><b>Uğur ACAR</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	138-143

# IJIEA

## volume 6 issue 1

### CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
<p>The Determination of Distribution, Infestation Rate, Damage, Adult Emergence Time of <i>Eurytoma Schreineri</i> Schr. (Hymenoptera:Eurytomidae) in Apricot Orchards of Malatya Province</p> <p><i>Malatya İli Kayısı Bahçelerinde Eurytoma Schreineri Schr. (Hymenoptera:Eurytomidae)'nin Yayılış Alanları, Bulaşıklık Oranı, Zarar Durumu ve Doğada Ergin Çıkış Zamanının Belirlenmesi</i></p> <p><b>Tarkan AYZAZ, Talip YİĞİT, Halil BOLU</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	144-149
<p>Drought-Responsive miRNAs in Plants: a Review</p> <p><i>Bitkilerde Kuraklığa Duyarlı miRNA'lar: Derleme</i></p> <p><b>Guzin TOMBULOĞLU</b></p> <p><i>Review [en] Derleme [tr]</i></p>	150-157
<p>Database Recovery Techniques in Microsoft SQL Server</p> <p><i>Microsoft SQL Sunucusunda Veri Tabanı Kurtarma Teknikleri</i></p> <p><b>Ender ŞAHİNASLAN, Önder ŞAHİNASLAN</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	158-169
<p>The Production and Optimization of SnO<sub>2</sub> Electron Transporting Layer by Slot-Die Technique</p> <p><i>SnO<sub>2</sub> Elektron Transfer Tabakasının Slot-Die Tekniği ile Üretimi ve Optimizasyonu</i></p> <p><b>Murat EBİC, Şerife AKAR, Erdi AKMAN, Faruk OZEL, Seckin AKIN</b></p> <p><i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i></p>	170-182



## VARICAP DIODE USED ADAPTIVE BAND-PASS FILTER DESIGN OPERATING IN THE FREQUENCY RANGE OF 700 MHz-1800 MHz

Fatma Nur Gözel<sup>1</sup> , Mahmut Ahmet Gözel<sup>1</sup> , Mesud Kahrıman<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering, 32260, Isparta, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Filters play an important role in wireless communication systems. For this reason, filters with different physical properties according to the operating frequency are widely designed and used. Since the physical properties of the filters prepared by traditional methods are fixed, their operating frequencies are also fixed. In this study, microstrip adaptive filter design was carried out for the RF/Microwave region. Thanks to the adaptability of the prepared filter, the applied supply voltage is changed, allowing the filter to operate at different frequencies without changing its physical properties. In the simulation studies of the filter, the ADS program, which is an RF/Microwave circuit design and simulation program produced by Keysight Technology, was preferred. As a substrate material in the filter, known as FR4 in the market; A base material with a loss tangent value of 0.025, a dielectric material thickness of 1.5 mm, and a dielectric constant of 4.3 was used. SMV 1249 varicap diode was added to the prepared filter. Different voltages between 0V and 14V were applied to the ends of the diode and S11 and S21 parameters were recorded for each case. The measurements of the circuit were made with Rohde & Schwarz FSH6 spectrum analyzer. It has been observed that the prepared microstrip filter can be used as a band-pass filter between 700MHz and 1800MHz, including GSM frequencies.

**Keywords:** Adaptive filter, microstrip filter, varicap diode.

## VARİKAP DİYOT KULLANILAN 700 MHz-1800 MHz FREKANS ARALIĞINDA ÇALIŞAN ADAPTİF BANT GEÇİREN FİLTRE TASARIMI

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Kablosuz haberleşme sistemlerinde filtreler önemli yer tutmaktadır. Bu sebeple çalışma frekansına göre farklı fiziksel özelliklere sahip filtreler yaygın olarak tasarlanıp kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan filtrelerin fiziksel özelliği sabit olduğu için çalışma frekansları da sabit olmaktadır. Bu çalışmada RF/Mikrodalga bölgesi için mikroşerit adaptif filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan filtrenin adaptifliği sayesinde, uygulanan besleme gerilimi değiştirilerek, filtrenin fiziksel özelliklerini değiştirmeden farklı frekanslarda çalışabilmesi sağlanmıştır. Filtrenin benzetim çalışmalarında Keysight Teknoloji'nin ürettiği ve bir RF/Mikrodalga devre tasarım ve benzetim programı olan ADS programı tercih edilmiştir. Filtrede alttaş malzeme olarak, piyasada FR4 olarak bilinen; kayıp tanjant değeri 0,025, dielektrik malzeme kalınlığı 1,5 mm, dielektrik sabiti 4,3 olan taban malzemesi kullanılmıştır. Hazırlanan filtreye SMV 1249 varikap diyodu ilave edilmiştir. Diyodun uçlarına 0V ile 14V arasında farklı gerilimler uygulanmış ve her durum için S11 ve S21 parametreleri kaydedilmiştir. Devrenin ölçümleri ise Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan mikroşerit filtrenin mevcut hali ile GSM frekanslarını da içeren 700MHz ile 1800 MHz arasında Band geçiren filtre olarak kullanılabilirliği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif filtre, mikroşerit filtre, varikap diyot.

### 1 Giriş

Kablosuz haberleşmede, kullanılacak sistemin teknolojisi ve ihtiyaç duyulan bant genişliğine göre farklı frekanslar kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşmenin pek çok alanda kullanılmasıyla bir ortamda çok farklı frekanslarda sinyallerin varlığından söz edilebilir. Frekansları 30 GHz'in üzerinde ve 300 GHz'e kadar olan

EM dalgalarına milimetre dalgaları da denir, çünkü dalga boyları 1 ile 10 milimetre aralığındadır. Mikrodalga frekans spektrumu altında ise Radyo Frekansı (RF) bulunmaktadır. RF ve Mikrodalgalar arasındaki frekans sınırı, bu belirli frekans aralığının işletilmesi için geliştirilen özel teknolojilere bağlı keyfi olarak seçilmektedir. Bu sebeple RF/Mikrodalga; 300 kHz ile 300 GHz arasındaki radar, navigasyon, radyo astronomi,

\* Corresponding author.

E-mail address: mesudkahrıman@sdu.edu.tr (M. Kahrıman)

Received 09 October 2021; Received in revised form 12 March 2022; Accepted 06 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1007567>



algılama, tıbbi enstrümantasyon gibi iletişimlerin olduğu uygulamalar için kullanılan genel bir terimdir [1]. Sistemlerin doğru ve verimli haberleşmesi açısından filtreler önemli bir yere sahiptir. Geleneksel olarak filtreler, belirli bir frekansa göre tasarlanır ve çalışma frekansları ve bant genişlikleri sabittir. Sabitlikten kaynaklanan bu eksiliğin önüne geçmek için aktif filtreler kullanılmaya başlanmıştır.

Elektronik olarak ayarlanabilen veya yeniden yapılandırılabilen RF/Mikrodalga filtreler, mevcut ve gelecekteki kablosuz sistemlerin kapasitesini artırmada artan önemi nedeniyle araştırma ve geliştirmeye daha fazla dikkat çekmiştir [2]. Bilişsel telsiz ve radar uygulamalarının geleceğini düşünerek, elektronik olarak yeniden yapılandırılabilir mikrodalga filtrelerinin kablosuz sistemlerde daha etkin bir rol oynayacağını söylemek mümkündür. Genel olarak, elektronik yeniden yapılandırılabilir bir filtre geliştirmek için, yarı iletken p-i-n ve varikap diyotlar, RF MEMS gibi aktif anahtarlama veya ayarlama elemanları veya ferroelektrik varikaplar gibi aktif elemanların pasif bir filtre yapısına dâhil edilmesi gerekmektedir. Mikro şerit filtreler ile bu tür küçük boyutlu entegrasyonları uygulaması kolay olduğu için, mikro şeritlere dayalı ayarlanabilir veya yeniden yapılandırılabilir filtreler geliştirmeye ilgi artmaktadır [3-37]. Bu filtreler ayarlanabilir (adaptif) bant geçişi filtreleri olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma literatürdeki filtre yapıları göz önüne alındığında aşağıdaki gibi yapılabilir:

- RF MEMS ayarlanabilir filtreler [11-17].
- Piezoelektrik dönüştürücü (PET) ayarlanabilir filtreler [18-20].
- Ayarlanabilir yüksek sıcaklık süper iletken (HTS) filtreleri [21-23].
- Yeniden yapılandırılabilir ultra geniş bantlı (UWB) filtreler [24, 37].
- Ayarlanabilir çift bantlı filtreler [25].
- Ayarlanabilir bant durduran filtreler [26-30].
- Yeniden yapılandırılabilir/ayarlanabilir çift modlu filtreler [31-36].
- Anahtarlama bir gecikme hattı yaklaşımına dayalı yeniden yapılandırılabilir bant geçiren filtreler [38].
- Yeniden yapılandırılabilir bant genişliğine sahip geniş bantlı bant geçiren filtre [39, 40].
- Analog ve Dijital Aktif Filtreler ve yapay sinir ağları ile modellemeleri [41-43]

Bu çalışmada RF/Mikrodalga frekanslarda bant geçiren mikroşerit filtre tasarımı yapılarak ve aktif veya pasif devre elemanları kullanılarak farklı giriş seviyelerine göre farklı frekans bantlarında çalışabilen bir mikroşerit adaptif filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

## 2 Filtre Tasarımı

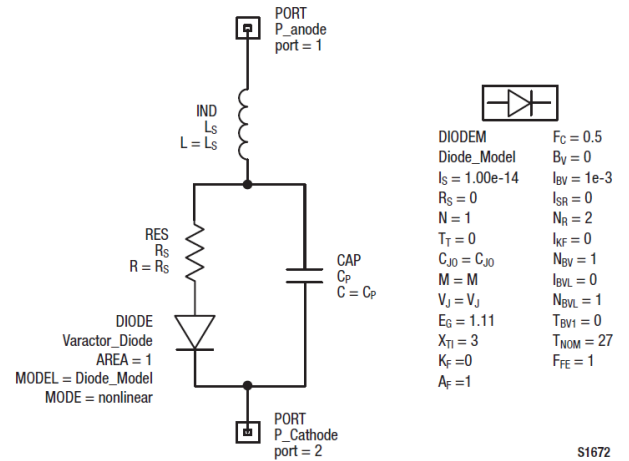
Bir filtre, geçirme bandı frekanslarında iletimi, söndürme bandı frekanslarında ise sönümlenmeyi sağlayarak bir RF veya mikrodalga sisteminin belirli bir noktasındaki frekans tepkisini kontrol eden iki kapılı bir devredir. Tipik frekans tepkileri alçak geçiren (AGF), yüksek geçiren (YGF), bant geçiren (BGF), bant durduran

(BDF) özellikleri içerir. Filtre uygulamaları neredeyse her RF veya mikrodalga iletişim, radar veya test ve ölçüm sistemlerinde bulunabilir.

Bant geçiren filtreler, alt ve üst limitleri dışında kalan noktadaki sinyalleri bastırarak, belirtilen aralıklardaki sinyallere dokunmayan transfer fonksiyonuna sahip filtrelerdir. Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin seri bağlanmasıyla elde edilir. Belirlenen frekansın altındaki frekansları geçirip üstündekileri zayıflatıyorsa alçak geçiren filtre, üstündekileri geçirip altındaki frekansları zayıflatıyorsa yüksek geçiren filtre, belirli bir frekans aralığındaki frekansları zayıflatıyorsa bant durduran filtre denir. Adaptif filtreler de bu filtreler aracılığıyla elde edilir.

Adaptif filtre, değişken parametrelerle kontrol edilen bir transfer fonksiyonuna ve bu parametreleri bir optimizasyon algoritmasına göre ayarlamak için bir araca sahip olan doğrusal filtreli bir sistemdir.

Bu çalışmada sistemin adaptifliğinin sağlanabilmesi için kullanılacak elemanlardan varikap diyotu tercih edildi. Varikap diyot eşdeğer devresi Şekil 1'deki gibi ele alınarak tasarlanacak filtre için uygun olduğu düşünülen SMV1249 079LF paketi kullanılmıştır. SMV1249 varikap diyodunun eşdeğer devresi ve iç parametreleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

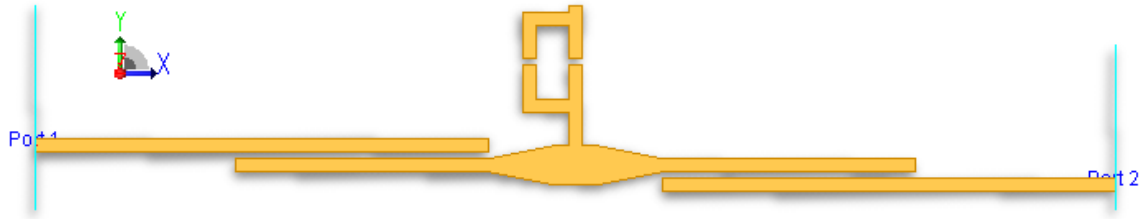


Diyot Adı	$C_{JO}$	$V_J$	$M$	$C_P$	$R_S$
SMV1249	36.40	80	70	1.68	1.7

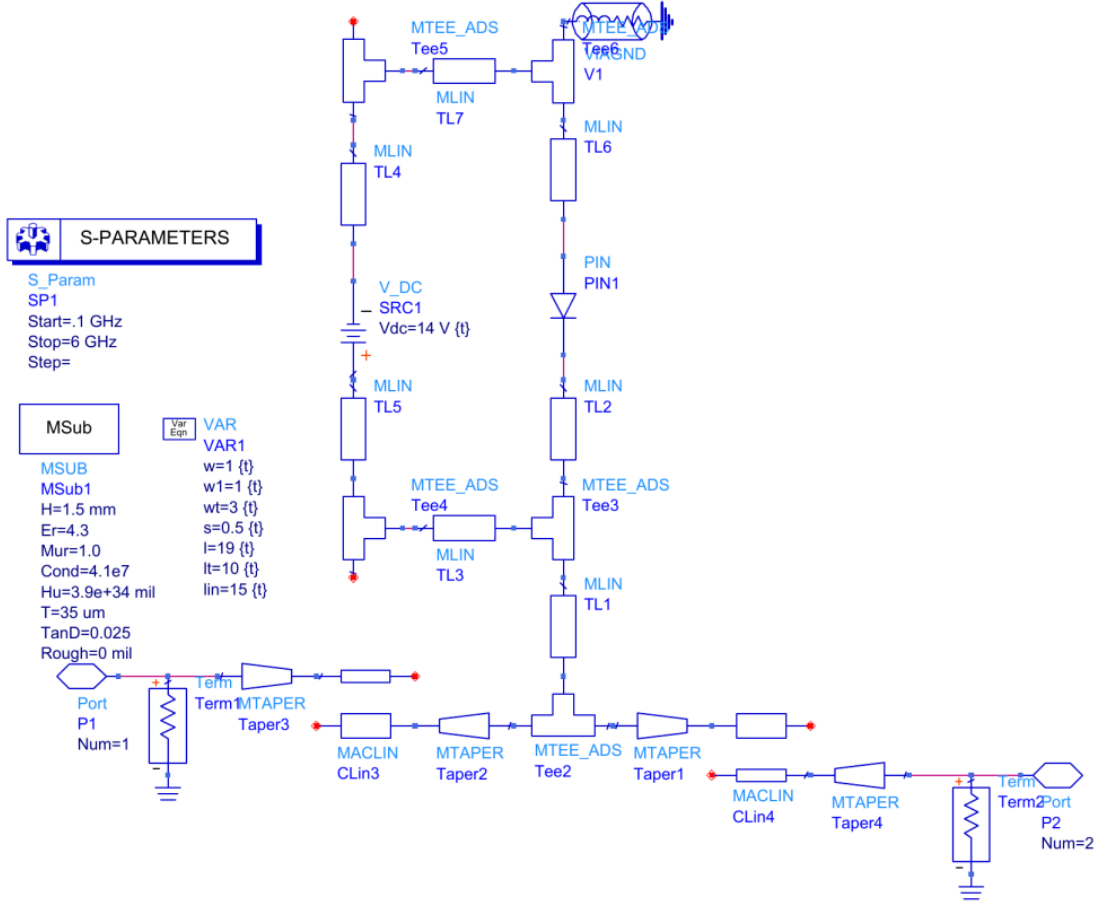
Şekil 1. SMV1249 Varikap diyot eşdeğer modeli.

RF ve Mikrodalga devre tasarımı ve simülasyonu yapılabilen ADS yazılımı kullanılarak bağlaşıklı hatlı filtre topolojisi referans alınarak bant geçiren adaptif filtre tasarımı, simülasyonu ve ölçümleri yapılmıştır.

Öncelikle ADS yazılımı kullanılarak mikroşerit hat tabanlı bağlaşıklı hatlı filtre topolojisi tasarlanmıştır. Bu tasarımın adaptif hale getirilebilmesi için SMV1249 varikap diyotu kullanılarak 0-14 Volt arasında değişken gerilimler ile bu bölgedeki kapasitif etki ayarlanmış ve böylece farklı frekans bölgelerinde bant geçiren filtre özelliği sağlayan bir devre tasarımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Şekil 2 ile gösterilen devre mikroşerit hatlar ile tasarlanmıştır.



a)

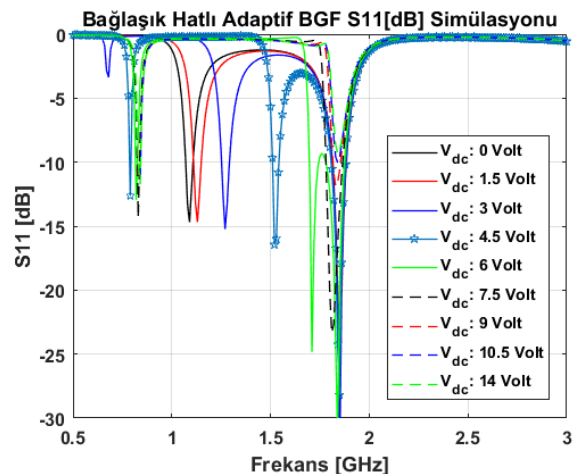


b)

Şekil 2. a). Tasarlanan devrenin baskı devre görüntüsü b) mikroşerit hatlar ile ADS tasarımı.

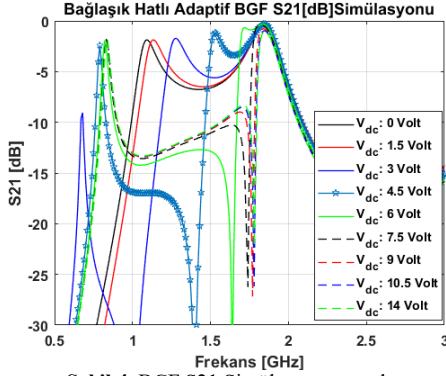
### 3 Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Tasarımları yapılan devre ile Şekil 2 b) ile gösterilen devrede SRC1 olarak isimlendirilen ve 0-14 Volt arasında DC gerilim veren değişken bir kaynak bağlanarak DC gerilim 1.5 Volt aralıklar ile değiştirilmiştir. Böylece varikap diyotun devreye sağladığı kapasitif etki değerlendirilmiştir. Kapasitif değişimin BGF(Band geçiren Filtre) üzerindeki etkisi ile S-parametreleri incelenmiştir. Yapılan benzetim çalışması ile elde edilen S11 ve S21 sonuçları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmektedir.



Şekil 3. BGF S11 Simülasyonu sonuçları.

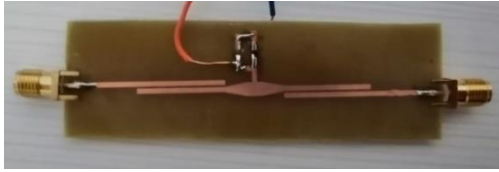
Şekil 2 ile gösterilen devrede, gerilim değerlerinin değişimine bağlı olarak 0.7 GHz den başlayarak 1.8 GHz'e kadar DC olarak verilen gerilim ile değişen S11 sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. BGF S21 Simülasyon sonuçları.

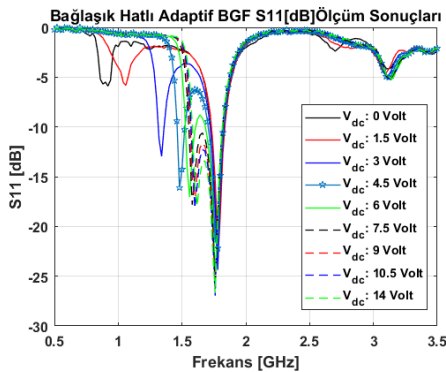
Şekil 4 ile gösterilen S21 sonuçları 1.8 GHz için tüm DC değerlerde devrenin filtre olarak çalıştığını fakat değişen giriş gerilimine bağlı olarak 0.7 GHz ile 1.8 GHz arasında farklı frekanslarda da devrenin BGF olarak çalıştığını göstermektedir.

ADS yazılımı ile yapılan devrenin baskı devresi yapılarak simülasyon ile benzerliği karşılaştırılmak istenmiştir. Bu sebeple simülasyonda belirtilen malzeme FR4 kullanılarak bir baskı devre gerçekleştirilmiştir. Bu baskı devre Şekil 5 ile gösterilmiştir.



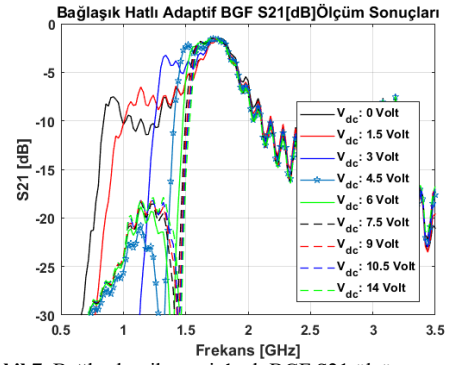
Şekil 5. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF baskı devresi.

Şekil 5 ile gösterilen ve baskı devresi yapılan bağlaşık mikroşerit hatlı BGF devresi Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör kullanılarak S11 ve S21 değerleri ölçülmüştür. S11 ölçümü için Spektrum analizör bir yönlü bağlaştırmacı yardımıyla network analizör olarak kullanılmıştır. Yapılan ölçümler ile elde edilen S11 sonuçları Şekil 6 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF S11 ölçüm sonuçları.

Şekil 6 ile gösterilen S11 ölçüm sonuçları Şekil 3 ile gösterilen simülasyon sonuçlarına yaklaşık değerlere sahiptir. Bu durum yapılan simülasyon çalışmasının gerçekliğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Bağlaşık mikroşerit hatlı BGF S21 ölçüm sonuçları.

Şekil 7 ile gösterilen ölçüm grafiği Şekil 4 ile gösterilen simülasyon grafiğinin sonuçları ile örtüşmektedir. Böylece yapılan çalışmanın geliştirilmesi ve ADS kullanımının devam ettirilmesi açısından olumlu sonuçlar alındığı gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Çalışmanın literatür ile karşılaştırılması.

Referans	Frekans Aralığı [GHz]	Varactor	Filtre Türü
[44]	0,6-1,03 GHz	MA46H202	BGF
[45]	1,4-2 GHz	SMV1405	BGF
[46]	1,32-1,89 GHz	MA46H071	BGF
Bu çalışma	0,7-1,8 GHz	SMV1249	BGF

Literatürdeki bazı çalışmalarda varikap diyot ile yapılan yeniden ayarlanabilir BGF yapıları ve bu çalışmanın frekans aralığı ile kullanılan yarıiletken türü karşılaştırılarak Tablo 1 ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan varikap diyotun bağlaşık hatlı mikroşerit filtrede kullanımı ile geniş bir frekans aralığında BGF özelliği gösterdiği söylenebilir.

#### 4 Tartışma

ADS yazılımı kullanılarak tasarlanmış olan bant geçiren filtre, gerçekleştirilmiş ve Rohde & Schwarz FSH6 spektrum analizör kullanılarak S11 ve S21 değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma 700 MHz ile 3GHz frekans aralığında, yürütülmüş olup, kontrol gerilimi 0V ile 14 V arasında kademeli olarak uygulanmıştır. Mevcut tasarım ile gerçekleştirilen devrenin 700 MHz ile 1800 MHz arasında bant geçiren filtre olarak kullanılabilceği ortaya çıkmıştır.

İleriye dönük olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, tasarlanan filtrenin katman sayısı artırılabilir ve varikap diyotun farklı bölgelerdeki kapasitif etkisi incelenebilir. Bununla birlikte varikap diyotun bağlaşık hatlı filtre topolojisindeki kullanımındaki teknik, gelecek çalışmalar için farklı kapasite aralığına sahip varikap diyotların da kullanımına ışık tutacaktır.

#### Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Referanslar

- [1] Hong, J. S. G., & Lancaster, M. J. (2004). *Microstrip filters for RF/microwave applications*. John Wiley & Sons.
- [2] Hong, J. S. (2009). Reconfigurable planar filters. *IEEE Microwave Magazine*, 10(6), 73-83.
- [3] Nath, J., Ghosh, D., Maria, J. P., Kingon, A. I., Fathelbab, W., Franzon, P. D., & Steer, M. B. (2005). An electronically tunable microstrip bandpass filter using thin-film Barium-Strontium-Titanate (BST) varactors. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(9), 2707-2712.
- [4] Sigman, J., Nordquist, C. D., Clem, P. G., Kraus, G. M., & Finnegan, P. S. (2008). Voltage-controlled Ku-band and X-band tunable combline filters using barium-strontium-titanate. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(9), 593-595.
- [5] Vendik, I., Vendik, O., Pleskachev, V., Svishchev, A., & Wordenweber, R. (2001, May). Design of tunable ferroelectric filters with a constant fractional band width. In *2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No. 01CH37157)* (Vol. 3, pp. 1461-1464). IEEE.
- [6] Fathelbab, W. M., & Steer, M. B. (2005). A reconfigurable bandpass filter for RF/microwave multifunctional systems. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(3), 1111-1116.
- [7] Torregrosa-Penalva, G., López-Risueno, G., & Alonso, J. I. (2002). A simple method to design wide-band electronically tunable combline filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(1), 172-177.
- [8] Vendik, I., Vendik, O., Pleskachev, V., & Nikol'ski, M. (2003). Tunable microwave filters using ferroelectric materials. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 13(2), 716-719.
- [9] Kim, B. W., & Yun, S. W. (2004). Varactor-tuned combline bandpass filter using step-impedance microstrip lines. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52(4), 1279-1283.
- [10] Sanchez-Renedo, M. (2007). High-selectivity tunable planar combline filter with source/load-multiresonator coupling. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 17(7), 513-515.
- [11] Kraus, G. M., Goldsmith, C. L., Nordquist, C. D., Dyck, C. W., Finnegan, P. S., Austin, F., Muyschondt, A., & Sullivan, C. T. (2004, June). A widely tunable RF MEMS end-coupled filter. In *2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE Cat. No. 04CH37535)* (Vol. 2, pp. 429-432). IEEE.
- [12] Blondy, P., Palego, C., Houssini, M., Pothier, A., & Crunteanu, A. (2007, December). RF-MEMS reconfigurable filters on low loss substrates for flexible front ends. In *2007 Asia-Pacific Microwave Conference (pp. 1-3)*. IEEE.
- [13] Pothier, A., Orlianges, J. C., Zheng, G., Champeaux, C., Catherinot, A., Cros, D., Blondy, P., & Papapolymerou, J. (2005). Low-loss 2-bit tunable bandpass filters using MEMS DC contact switches. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 53(1), 354-360.
- [14] Entesari, K., & Rebeiz, G. M. (2005). A differential 4-bit 6.5-10-GHz RF MEMS tunable filter. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 53(3), 1103-1110.
- [15] Reines, I. C., Goldsmith, C. L., Nordquist, C. D., Dyck, C. W., Kraus, G. M., Plut, T. A., ... & Sullivan, C. T. (2005). A low loss RF MEMS Ku-band integrated switched filter bank. *IEEE Microwave and wireless components letters*, 15(2), 74-76.
- [16] Zhang, R., & Mansour, R. R. (2005, June). Novel tunable lowpass filters using folded slots etched in the ground plane. In *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 2005. (pp. 775-778). IEEE.
- [17] Rebeiz, G. M., Entesari, K., Reines, I. C., Park, S. J., El-Tanani, M. A., Grichener, A., & Brown, A. R. (2009). Tuning in to RF MEMS. *IEEE microwave magazine*, 10(6), 55-72.
- [18] Hsieh, L. H., & Chang, K. (2003). Tunable microstrip bandpass filters with two transmission zeros. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 51(2), 520-525.
- [19] Tu, W. H., & Chang, K. (2007). Piezoelectric transducer-controlled dual-mode switchable bandpass filter. *IEEE microwave and wireless components letters*, 17(3), 199-201.
- [20] Poplavko, Y., Schmigin, D., Pashkov, V., Jeong, M., & Baik, S. (2005, October). Tunable microstrip filter with piezo-moved ground electrode. In *2005 European Microwave Conference (Vol. 2, pp. 3-pp)*. IEEE.
- [21] Pal, S., Stevens, C., & Edwards, D. (2005). Tunable HTS microstrip filters for microwave electronics. *Electronics Letters*, 41(5), 286-288.
- [22] Matthaei, G. L. (2003). Narrow-band, fixed-tuned, and tunable bandpass filters with zig-zag hairpin-comb resonators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 51(4), 1214-1219.
- [23] Subramanyam, G., Van Keuls, F. W., & Miranda, F. A. (2000). A K-band-frequency agile microstrip bandpass filter using a thin-film HTS/ferroelectric/dielectric multilayer configuration. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(4), 525-530.
- [24] Chun, Y. H., Shaman, H., & Hong, J. S. (2008). Switchable embedded notch structure for UWB bandpass filter. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(9), 590-592.
- [25] Djoumessi, E. E., Chaker, M., & Wu, K. (2009). Varactor-tuned quarter-wavelength dual-bandpass filter. *IET microwaves, antennas & propagation*, 3(1), 117-124.
- [26] Jachowski, D. R. (2005, June). Compact, frequency-agile, absorptive bandstop filters. In *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 2005. (pp. 513-516). IEEE.
- [27] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008, June). BST varactor tuned bandstop filter with slotted ground structure. In *2008 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (pp. 1115-1118)*. IEEE.
- [28] Huang, S. Y., & Lee, Y. H. (2009). A compact E-shaped patterned ground structure and its applications to tunable bandstop resonator. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 57(3), 657-666.
- [29] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008, October). An electronically tuned bandstop filter using BST varactors. In *2008 38th European Microwave Conference (pp. 1699-1702)*. IEEE.
- [30] Yan, W. D., & Mansour, R. R. (2007, June). Compact tunable bandstop filter integrated with large deflected actuators. In *2007 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (pp. 1611-1614)*. IEEE.
- [31] Chun, Y. H., Hong, J. S., Bao, P., Jackson, T. J., & Lancaster, M. J. (2008). BST-Varactor Tunable Dual-Mode Filter Using Variable  $Z_{in}$  Transmission Line. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 18(3), 167-169.
- [32] Al Mutairi, M. R., Sheta, A. F., & AlKanhal, M. A. (2008, October). A novel reconfigurable dual-mode microstrip meander loop filter. In *2008 38th European Microwave Conference (pp. 51-54)*. IEEE.
- [33] Chun, Y. H., & Hong, J. S. (2008). Electronically reconfigurable dual-mode microstrip open-loop resonator filter. *IEEE microwave and wireless components letters*, 18(7), 449-451.

- [34] Tang, W., Hong, J. S., & Chun, Y. H. (2008, October). Compact tunable microstrip bandpass filters with asymmetrical frequency response. In *2008 38th European Microwave Conference* (pp. 599-602). IEEE.
- [35] Tang, W., & Hong, J. S. (2009, October). Tunable microstrip quasi-elliptic function bandpass filters. In *2009 European Microwave Conference (EuMC)* (pp. 767-770). IEEE.
- [36] Tang, W., & Hong, J. S. (2010). Varactor-tuned dual-mode bandpass filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(8), 2213-2219.
- [37] Arachchige, H. R., Hong, J. S., & Hao, Z. C. (2008, December). UWB bandpass filter with tunable notch on liquid crystal polymer substrate. In *2008 Asia-Pacific Microwave Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- [38] Wong, P. W., & Hunter, I. C. (2008). A new class of low-loss high-linearity electronically reconfigurable microwave filter. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 56(8), 1945-1953.
- [39] Cheng, T., & Tam, K. W. (2017). A wideband bandpass filter with reconfigurable bandwidth based on cross-shaped resonator. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27(10), 909-911.
- [40] Miller, A., & Hong, J. S. (2010, September). Wideband bandpass filter with multiple reconfigurable bandwidth states. In *The 40th European Microwave Conference* (pp. 1273-1276). IEEE.
- [41] Serbet, F., Kaya, T., & Ozdemir, M. T. (2017, May). Design of digital IIR filter using Particle Swarm Optimization. In *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 202-204). IEEE.
- [42] Kaya, T., & İnce, M. C. (2012). Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Modellenen Pencere Fonksiyonu Kullanarak Fır Filtre Tasarımı. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 27(3).
- [43] Kaya, T., & Guler, H. (2018). A hybrid genetic algorithm for analog active filter component selection. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 86, 1-7.
- [44] Tang, W., & Hong, J. S. (2010). Varactor-tuned dual-mode bandpass filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(8), 2213-2219.
- [45] Long, J., Li, C., Cui, W., Huangfu, J., & Ran, L. (2011). A tunable microstrip bandpass filter with two independently adjustable transmission zeros. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21(2), 74-76.
- [46] El-Tanani, M. A., & Rebeiz, G. M. (2010). Corrugated microstrip coupled lines for constant absolute bandwidth tunable filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 58(4), 956-963.



## PARAMETRIC ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES DESIGNED WITH TBDY 2018

Serkan Etlî\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>University of Munzur, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Tunceli, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

In this study, the seismic behavior of steel-concrete composite buildings designed using ÇYTHYE 2016 and TBDY 2018 was investigated. For this purpose, composite moment resisting frame buildings with concrete filled steel tube columns and composite beams with 5, 10, 15 and 20 stories are modeled. Buildings are designed at high ductility (DCH) levels. During the design of the DCH class structures, the design was carried out for the ZA soil class for 0.79 g PGA in the region selected from the earthquake map given in the regulations. Within the scope of the study, SeismoStruct software was used during the design and performance evaluation of the structures. Incremental dynamic analyzes were used along with nonlinear static pushover analyses. In the static pushover analysis, uniform and triangular load distributions of the lateral load are adopted. In the dynamic analysis, 16 earthquake ground motions were obtained from AFAD earthquake acceleration databases according to the relevant design area and used. The variation of the seismic behavior of CMRFs depending on the variation of the floor number was investigated using nonlinear analysis results. Accordingly, the variation in lateral response, overstrength factors and ductility factors for CMRF structures are presented comparatively. In addition, the section deformation capacities were investigated during the IDR changes during dynamic and static nonlinear analyses. The behavior factor of all CMRFs, especially the CMRFs studied in the case study, demonstrated above-expected performance according to the design assumptions.

**Keywords:** Composite moment resisting frame; concrete filled steel tube column; incremental dynamic analysis; nonlinear pushover analysis.

## TBDY 2018 İLE TASARLANAN ÇELİK-BETON KOMPOZİT YAPILARIN PERFORMANSININ PARAMETRİK ANALİZİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 kullanılarak tasarlanan çelik-beton kompozit binaların sismik davranışı incelenmiştir. Bu amaçla kat sayısı 5, 10, 15 ve 20 olan beton dolgulu çelik tüp kolonlu ve kompozit kirişlerinde oluşan moment aktaran çerçeve binalar modellenmiştir. Binalar yüksek süneklik (DCH) seviyelerinde tasarlanmıştır. DCH sınıfı yapıların tasarımı esnasında yönetmeliklerde verilen deprem haritasından seçilen bölgede, 0.79 g PGA için ZA zemin sınıfı için tasarım gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapıların tasarımı ve performans değerlendirmesi sırasında SeismoStruct yazılımı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizleri ile birlikte artımlı dinamik analizler kullanılmıştır. Statik itme analizinde yanal yükün düşeyde düzgün ve üçgen yük dağılımları uygulanmıştır. Dinamik analizde ise 16 deprem yer hareketi ilgili tasarım alanına göre AFAD veri tabanlarından elde edilerek kullanılmıştır. Kat sayısının değişimine bağlı olarak CMRF'lerin sismik davranışlarının değişimi doğrusal olmayan analiz sonuçları kullanılarak araştırılmıştır. Buna göre, CMRF yapıları için yanal tepki, aşırı güç faktörleri ve süneklik faktörlerindeki varyasyon karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca dinamik ve statik doğrusal olmayan analizleri esnasında IDR değişimleri esnasında kesit deformasyon kapasiteleri araştırılmıştır. Tüm CMRF'lerin davranış faktörü, özellikle vaka çalışmasında incelenen CMRF'ler olmak üzere tasarım varsayımlarına göre performanslarının beklenenin üzerinde olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit moment aktaran çerçeve; beton dolgulu çelik tüp kolon; artımsal dinamik analiz; doğrusal olmayan itme analizi.

### 1 Introduction

Strong ground motions caused by earthquakes can cause damage to buildings such as houses, workplaces,

schools, hospitals where people spend part or all their daily lives, and these damages can cause serious material and moral problems on people. In the earthquakes that occurred in Turkey, for example, in Erzincan, Adana-Ceyhan,

\* Corresponding author.

E-mail address: serkanetli@munzur.edu.tr (S. Etlî)

Received 29 November 2021; Received in revised form 26 March 2022; Accepted 11 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1029942>

Afyon-Dinar and especially in the 1999 Marmara earthquake, a similar situation was encountered. In addition to the loss of life, heavy damage to our residential, commercial and industrial structures also brought a serious burden to Turkey's economy [1,2]. A large part of Turkey's surface area is located on active fault lines such as the regions where industry and population are concentrated, the North Anatolian Fault Line, the East Anatolian Fault Line, and the fact of earthquake is important for Turkey. Today, rapid, and important developments are being made about special building systems and elements produced or designed to dampen strong dynamic effects such as earthquake forces in structures and limit the damage that may occur. Intensive experimental and analytical studies are carried out for the production and design of such structural systems, especially in countries such as Japan, Italy, and America. Among the current studies conducted for this purpose, there are composite construction systems consisting of combining the superior properties of concrete and steel [3–10]. In this context, the production of load-bearing elements produced by working together of composite structures, namely concrete and steel, gains more importance in earthquake zones countries such as Turkey. In Turkey, where we live with the reality of earthquakes, it is important to design structures in accordance with the updated earthquake regulation.

Considering the characteristics of the building during the design, the coefficients at which the earthquake effects are reduced are recommended to the designer with national or international regulations. The suitability and validity of these factors depend on the suitability of the assumptions made about the designed system properties. On the other hand, it is known that the characteristics of earthquake loads acting on or likely to affect the structure are very variable and the behavior arising from the design features of the structure can be quite variable under the influence of these dynamic loads [11–13]. In addition, the definitions related to the design seismic force reduction factor are called the response factor ( $q$  factor) in the European code [14] and the response modification factor ( $R$  factor) in the American codes [15,16] and these are detailed according to the structure type. SEAOC guidelines interpret these factors [17] as a system quality factor, ie a system performance factor. Despite all these different definitions, although different design codes are used for the same building typologies, it is seen that there are small differences in these values used during the building design [8–10]. Minor differences in design  $R$  or  $q$  factors used in the calculations are due to changes in the building system and material-specific safety factors defined in design codes during the calculation of building materials and design loads. For example, when making earthquake calculations in national and international designs, the values of vertical load combinations and horizontal load factors can go up to 1.8 (ASCE 7-10 [18], ACI 318-14 [19] and AISC- 360-10 [20], Eurocode -2 [21]). In addition to the design features of the structures designed according to different standards from the previous studies on composite structures, the effects of the systems designed with different element section properties on the seismic behavior of the structure were investigated by the researchers. Various studies have been conducted to evaluate parameters related to these properties, connection points [22,23], shear interaction

[24], number of floor effect [25] and seismic performance [26,27].

Composite elements, where the superior properties of existing reinforced concrete or steel elements can be produced together thanks to appropriate engineering designs, and it is possible to combine the superior properties of both materials against earthquake effects, are frequently preferred in regions where intense earthquakes occur. It is of great importance that such structures can be applied and designed, especially in countries located between earthquake zones such as Turkey. When looking at the general design codes, national and international codes are constantly updated. When the updated national codes are evaluated, it is important to verify and re-evaluate the theoretical and practical information. Thanks to the design programs produced today, adaptive traditional material and element modeling techniques have become rapidly available. This is important in the transition of experimentally applicable models from element-based to whole-structure. For this reason, it has become easier to create models closer to reality thanks to developing modeling techniques and program capacities. Within the scope of this study, the behavior of the structures designed with TBDY 2018 and theoretically designed at the intersection of two different earthquake zones was analyzed analytically. After the design, it is aimed to help the designer in the evaluation of possible structural behaviors by examining the effects of design parameters on composite moment resisting frame (CMRF) structures in terms of dynamic effects by using nonlinear material and element methods. In this context, this case study was conducted on structures produced using the updated new national earthquake design code TBDY 2018 and national steel structure specification ÇYTHYE 2016. Evaluation of these behavior factors, which are used especially in earthquake regulations, by using different parameters within the scope of these two regulations, is important in terms of evaluating the response of the building to seismic effects. Within the scope of the study, the effects of these parameters were evaluated, especially in terms of elastic and inelastic behavior, with analytical studies used based on element and system.

Within the scope of the study, an analytical study of the behavior of composite structures under earthquakes has been examined. In the analyzed structural models, the analytical models of composite moment resisting frames (CMRF), the structural system consisting of IPE steel beams, also known as composite beams and square section (SHS) CFST columns, which are in full interaction with the slab, were examined. During the modeling of 5-, 10-, 15- and 20-story CMRF structures under earthquake loads, the designs were completed using the Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures 2016 (ÇYTHYE 2016) [28] and 2018 Turkey Building Earthquake Regulation (TBDY) [29].

Static pushover analysis (PO) and incremental dynamic analysis (IDA) were used to determine the earthquake performance of the buildings. The deformations of the elements in the CMRFs in the cross-sectional materials and the response of the system according to various parameters were evaluated. As a result, the performances of the buildings modeled within the scope of TBDY 2018 were examined comparatively

with static and dynamic methods for a specific soil feature used in the design. A flowchart of the method followed is presented in Fig. 1.

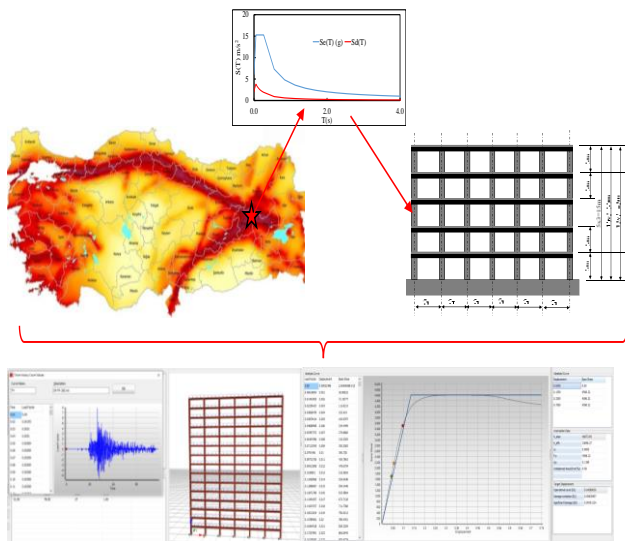


Figure 1. Flowchart of methodology.

## 2 Example Structures

The columns, which are the vertical carriers of the building, consist of elements obtained by filling the cores surrounded by SHS steel tube with concrete. These elements are defined as concrete filled steel tube, CFST, sectional composite columns in the literature. The beams were dimensioned by using elements with IPE type section in the analyzes made during the design under the influence of gravity loads and horizontally earthquake loads during the design. In all MRF systems, the designs are completed by assuming that the frame beams are fixed to the columns in a way that will transfer the moment fully.

The slabs consist of a solid section cast-in-place reinforced concrete slab system with full shear connection on the main beams. The columns are basically assumed to be rigidly fixed in both directions. The floor heights of the CMRF structures are used in the design, their total height from the ground is taken into consideration as 15, 30, 45 and 60m for the 5, 10, 15 and 20 story structures, respectively. Model buildings have a floor height of 3m on the first and subsequent floors. Modeled CMRF buildings have 6 spans in x and y directions, and each span is included in the calculations as 7m. In this case, the total width in both plan directions, that is, in the x and y directions, appears as 42m (Fig. 2).

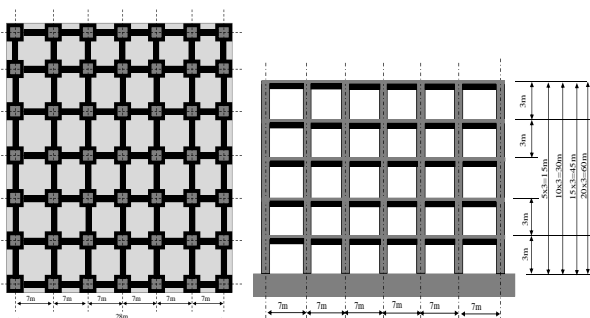


Figure 2. Schematic view of plane and elevation view.

Models of buildings consisting of CMRFs systems are positioned on the assumption that they can be constructed at a location with known ground values (Latitude: 39.298011° Longitude: 41.014378°) in Bingöl Province Karlıova District Yeşilyurt Mahallesi during the design phase. The assumed ground conditions for this geographic location are assumed to be the same as for soils of class ZA.

The steel class used during the design in the structural system elements was determined as S235 for structural steel class SHS section and IPE sections. Moreover, the concrete class used in the design in the concrete sections with composite beams and reinforced concrete sections was determined as C30 and reinforcing steel bars class were S420. Calculations for dimensioning the structural elements of buildings as CMRF and the analytical models used to evaluate their performance are given in Fig. 3. All of the analyzes made for the purpose of creating the analytical model and then making the designs and finally evaluating the performance were carried out with the SeismoStruct [30] computer software.

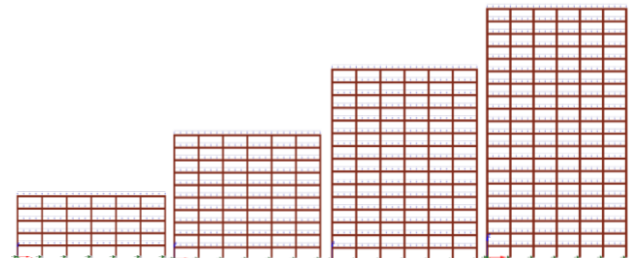


Figure 3. SeismoStruct program view of CMRFs.

### 2.1 SeismoStruct Program

SeismoStruct [30] computer program, which has the ability and computational capacity to use different nonlinear modeling techniques, was used to examine the earthquake effect of CMRFs designed within the scope of this study. If the SeismoStruct program is examined; While calculating the behavior of spatial frameworks during analysis with static and/or dynamic effects, they can analyze structural elements with the help of both material and geometrically non-linear models and calculate the response of the structure and its elements. In addition, seven different structural analyzes can be made with this software by using the technical features in the database of the software. To give a brief name to these analyzes; (i) dynamic under semi-permanent loading, (ii) static time-history analysis under semi-permanent loading, (iii) conventional pushover analysis, (iv) adaptive pushover analysis, (v) incremental dynamic analysis, (vi) modal analysis and (vii) static analysis (probably non-linear for the last two). Thanks to its large database, the software allows the use of elements with distributed elasticity and bulk plasticity evaluated on formulations based on force or displacement properties, and models are derived from theoretical and experimental data [31]. Although the defined numerical models work with different assumptions during the calculations, the basic input parameters used for these elements during the use of the models are the basic physical properties such as the cross-section geometry and uniaxial behavior of the materials used.



## 2.2 Structural Design

During the design of the CMRF system, for dimensioning the sections of beam and column elements, the section effects obtained from the SeismoStruct [30] computer software were used by using the loading conditions based on the ÇYTHYE 2016 and TBDY 2018 Regulations. For 5-, 10-, 15- and 20-story structures, CFST composite column sections SHS steel section members with dimensions of 450x12, 500x32, 600x40 and 750x50 (outside diameter x wall thickness) were used, respectively. For the beams, elements with IPE 350 section were selected. The dead loads of the materials in the cross-sections of the structural elements were calculated automatically by the computer software and were taken into account during the analyses. The total dead load remaining in the buildings is calculated as 3 kN/m<sup>2</sup> and the live load is 2.0 kN/m<sup>2</sup>. Required elastic design spectral accelerations, which are used to determine horizontal earthquake loads in the field, are calculated automatically by the software according to the natural vibration period of the structure calculated during the analysis in the software. In the creation of the horizontal elastic design spectrum, DD-2 earthquake ground motion, which has a 10% probability of exceeding in 50 years, is taken into account, and also the local soil class was obtained depending on ZA. In order to create the horizontal elastic design spectrum, it is necessary to find the spectral acceleration coefficients and determine the ground effect coefficients. In accordance with the geographical location selected for the model building, spectral acceleration values were determined from the map by using Turkey Earthquake Hazard Maps [14]. In accordance with TBDY 2018 Section 2.3.3, local ground effect coefficients were obtained based on the local soil class and local ground effect coefficients for the short-term region and the local ground effect coefficients for the 1.0 second period. The dumping rate was taken as 5%. Using the Turkey Earthquake Hazard Maps [32], the short-period map spectral acceleration coefficient was read as  $S_S = 1.947$  and the 1.0 second map spectral acceleration coefficient as  $S_1 = 0.514$ . The highest ground acceleration was obtained as  $PGA = 0.791g$  and the highest ground speed as  $PGV = 60.469 \text{ cm/s}$ .

The features of the building structural system are MRF systems with CFST columns with high ductility, and the beams in these MRF systems are designed as composite elements with IPE section. In this case, in accordance with TBDY 2018 Section 4.3.2.2, structural system behavior coefficient  $R$  and extreme strength coefficient  $D$  can be used for steel structural systems in column systems with composite section. In this case, according to TBDY 2018 Table 4.1, for the buildings examined within the scope of the study, all earthquake effects are carrier systems designed as MRF systems and buildings that are carried by steel frames with high ductility level will be considered. In this case, the coefficients  $R=8$  and  $D=3$  will be taken as basis. The General Analysis Method was used to calculate the required strengths of the structural elements, and the Design with Load and Strength Coefficients Method was used for the dimensioning. As a requirement of this method, the axial and shear stiffnesses of all the members of the system (in this example, composite columns and frame beams) and the bending stiffnesses of the frame

beams are reduced by multiplying by a factor. This coefficient was taken as 0.8 according to ÇYTHYE 6.2.3. The reduction coefficient applied to the bending stiffnesses of the composite columns was obtained as  $0.8 \times 0.8 = 0.64$  according to ÇYTHYE 6.2.3(b) and 12.2.5(d).

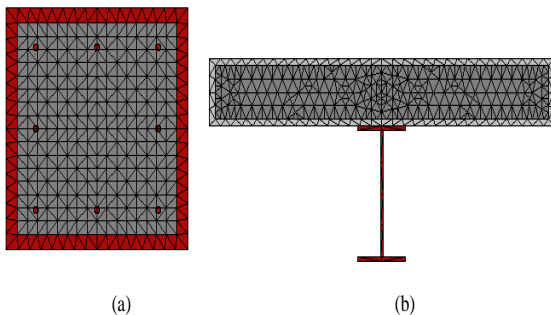
The natural vibration periods calculated at the end of the analyzes using SeismoStruct computer software were obtained as 0.816, 1.602, 2.354 and 3.098 s for 5-, 10-, 15- and 20-storey structures, respectively. Total CMRF weights were calculated from the software as 7582.7, 16127.3, 25490.5 and 36070.9 kN in the same order. In addition, with these data obtained, base shear forces were calculated as 420.1, 465, 487, and 512.5 kN from the software. According to the results of the analysis, it has been observed that the structural system of the building, which has a smooth geometry, does not contain any irregularities in the plan and vertically under the effects of earthquakes. It has been observed that the effective relative story drifts and second order effects do not exceed the limit values defined in article 4.9 of TBDY 2018. Columns are dimensioned in accordance with the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures (ÇYTHYE) Regulation 2016 12.3.2. For the axial force-bending moment interaction diagram of the column cross-section, ÇYTHYE Table 12.5, in which the plastic stress distribution method is used, was used. In addition, in accordance with TBDY 2018 9.11.4.2, the levels of axial compressive forces of all composite columns meet the condition  $N_{dm} \leq 0.40P_{no}$ .  $N_{dm}$  is defined as, the largest of the axial compressive forces calculated under the joint effect of vertical loads and earthquake loads (by considering the live load reduction coefficients defined for live loads in TS 498 [33]).  $P_{no}$  is defined as, compressive force strength of composite element cross-section with bi-symmetry axes under axial load. The design of the moment-transferring frames was carried out in such a way that the columns were stronger than the beams at all beam-column joint points for each earthquake direction, in accordance with TBDY 2018 9.11.2.2.

For 5-, 10-, 15-, and 20-story structures, CFST composite columns cross-sections of 450x12, 500x32, 600x40 and 750x50 (outside diameter x wall thickness) SHS cross-section elements were used, respectively. The beams are specified as IPE 350. The reinforced-concrete slab thicknesses, on the other hand, are dimensioned as 150 mm.

## 2.3 Nonlinear Analytical Models of the CMRF System

The nonlinear behavior results of CMRF model structures designed using ÇYTHYE 2016 Regulation [28] and TBDY 2018 [29] were examined through analytical models developed using SeismoStruct [30] computer software. In the software, it is ensured that the analyzes are concluded by considering the structural and geometric secondary effects for all analyzes. Obtained results were evaluated comparatively. For the nonlinear behavior of columns and beams in CMRFs, element models based on the spread plastic behavior approach were used in the analysis. Accordingly, it is assumed that the fiber-shaped section model is used for the plastic behavior of beams and columns in the model and the plastic behavior spreads across the section and length section. Therefore, models

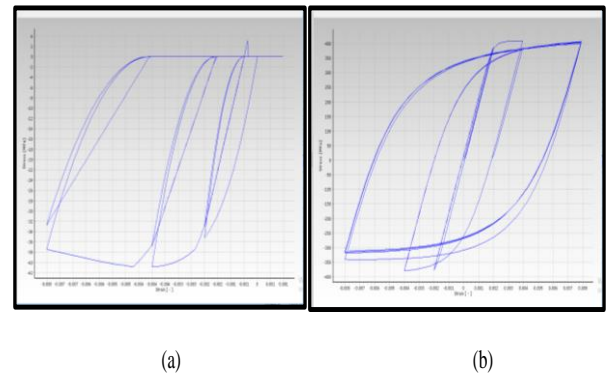
consisting of a finite number of fiber elements in the cross-sections of beams and columns were used in these analyses. More importantly, it is assumed that full adherence is provided between the section elements in the concrete and steel section that make up the composite section. The properties of the plastic behavior in these regions are determined directly by the SeismoStruct software based on the material properties. If the analytical models defined during the analysis in the software packages are examined, it can be easily seen that it works with different assumptions depending on the principle used during the calculations. However, in the use of models for the realization of calculations, the basic calculation parameters used in the software input or the element to be calculated for the calculation input are the basic physical and mechanical properties such as the cross section and the geometry of this section, the uniaxial behavior of the material to be used. After defining the sections of the CFST column elements and composite beams used in the CMRF system within the scope of the study, the sections are included in the models as fiber elements as shown in Fig. 4.



**Figure 4.** Fiberized section views for (a) CFST columns and (b) composite beam.

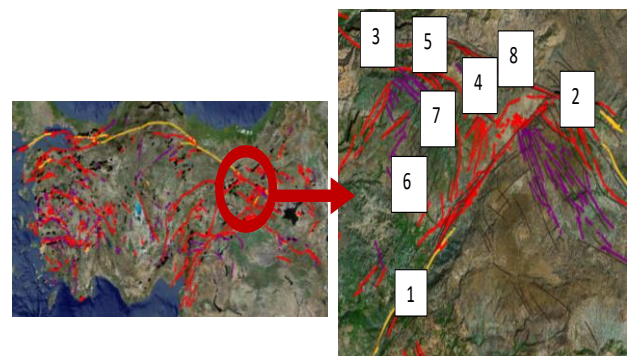
Slabs are usually not directly included in the models during elastic analysis of the structural system produced during design but are assumed to form rigid diaphragms in each floor plane. The loads of the frame beams together with the vertical loads passing through the floors are defined as uniformly distributed loads. Characteristic material strengths were used in nonlinear behavior models of steel and concrete materials used in CMRF elements. The necessary coefficients to obtain these values, the data in TBDY 2018 Table 5.1 were used. Accordingly, the expected material strengths predicted for the characteristic compressive strength of concrete and the characteristic yield strength of the S235 steel class are accepted as  $1.3f_{ck}$  and  $1.5F_y$ , respectively. In the model used for the nonlinear behavior of the steel material, a hardening coefficient of 0.005 was used.

Bilinear steel model is used for steel modelling in SeismoStruct [30] software and this is defined as “stl\_bl” material model in the software. Tensile strength is neglected in the stress-strain curve of the concrete material. In addition, the “con\_ma” material model in the software was used for the non-linear behaviour of the material while modelling the concrete in the SeismoStruct [30] software. Both models were developed for the cycling loading condition. The concrete material constitutive model image is shown in Fig. 5 (a) and steel material constitutive model image of the model is given in Fig. 5 (b).



**Figure 5.** a) Concrete and b) steel models from SeismoStruct (2018).

During the non-linear analysis in the time-history (TH), each was performed using earthquake ground motions under a constant gravitational load. During the TH analysis, in which the earthquake effects are simulated, while calculating the gravity load values, the building floor weight, that is, the fixed loads, which are effective in the earthquake, plus 30% of the live load are included in the dead load, and the calculations are completed. The analyzes consist of two parts. In the first stage, PO analyzes consist of two parts: uniformly distributed horizontal loading (ULD-PO) and triangular horizontal loading (TLD-PO). The second phase is the application phase of incremental dynamic analysis (IDA) and TH earthquake ground motions. Earthquake ground motions consist of 8 ground motion pairs. When selecting the records of earthquakes, large-scale earthquakes between the North Anatolian fault line and the East Anatolian fault line surrounding the city of Karlıova, which is assumed to have been built, were used (Fig. 6).



**Figure 6.** Selected ground motion schematic representation.

The application multipliers of the incremental effects were chosen as 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.50, 1.75, 2.00, 2.30, 2.60, 2.90, 3.20, 3.50, 3.80, and 4.00. It is aimed that the total number of analyses will be  $8 \times 2 = 16$ . In this case, the seismic demand values and other calculated parameters were determined by taking the average of 16 IDA analysis results. The characteristics of the earthquake records used in the study are given in Table 1. The information about the earthquake movements in Table 1 was taken from the AFAD ground motion database [34].

**Table 1.** Properties of earthquake ground motions.

Record ID	Record Seq. #	Station ID	Event Date	Epicentral Distance (km)	Event Depth (km)	M <sub>L</sub> /M <sub>w</sub>	Component
TH-1	2183	1133	1.05.2003	11.8	6	6.6/-	East
TH-2							West
TH-3							East
TH-4	2896	1206	25.08.2007	2.19	15.8	5.1/-	West
TH-5							East
TH-6							West
TH-7	10099	1212	14.06.2020	16.2	8	-/5.7	East
TH-8							West
TH-9							East
TH-10	24	2402	15.03.1992	45.32	29	5.4/-	West
TH-11							East
TH-12							West
TH-13	1828	2306	25.06.2021	30.88	15.51	-/5.2	East
TH-14							West
TH-15							East
TH-16	6027	6202	2.12.2015	37	10.66	-/5.3	West
TH-17							East
TH-18							West
TH-19	2587	1208	14.03.2005	54.09	9.9	5.4/-	East
TH-20							West
TH-21							East

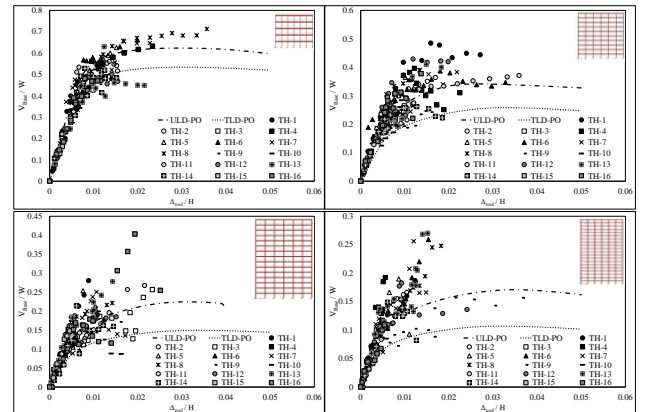
In this study, the panel regions of the joints were modelled with the help of behavioural models originally developed by Della Corte et al. (2000) using the modified Richard-Abbott model. This model included in the SeismoStruct (2018) software includes this model, which can model all kinds of steel and composite connections (eg welded-flange bolted-web connection, extended end plate connection, recessed end plate connection, angled connection, etc.) thanks to its features. The calculation model basically has increasing and decreasing curve segments based on the moment-rotation relationship and calculating using this relationship. Contrary to the load case, the increasing and decreasing parts of the curve are created with different parameters that take the period into account in the model. The presence of both compressive and tensile reversible starting points with these parameters (i.e. initial stiffness, strength, post-limit stiffness, shape factor, compression-related calibration coefficients, damage rate, and isotropic hardening) and complex parameters can also be included in the analysis. The versatility of this type of modeling using SeismoStruct software has been validated using experimental data from previous studies, and researchers have proven that the element and material models used converge sufficiently to experimental studies when used in analytical models [8,35–39]. In addition, some parameters have been calibrated to achieve greater accuracy in modeling based on the application of the component method [40].

Using the existing earthquake records, each selected ground motion pair is scaled with the earthquake spectrum with a return period of 475 years, with a 10% probability of exceedance in 50 years, which is defined as a design earthquake. At the end of the analyses carried out under these ground motion records; the structures were mutually evaluated according to the design for the targeted performance parameters.

### 3 Results and Discussion

The response of CMRFs because of ULD-PO and TLD-PO analysis is shown in Fig. 7. In the graphs given, the horizontal axis is the ratio of the roof displacement to the building height, and the vertical axis is the ratio of the ground shear to the building weight. In 5-story CMRFs,

IDA analysis presents a behaviour that lies between the first-mode dominant response and the higher-mode response. However, on the other hand, the IDA results obtained in 10-, 15- and 20-storey structures are parallel to the ULD-PO results, so it can be said that higher modes dominate in these structures [8,10,41]. The IDA was performed by using selected TH records to obtain the seismic response of the case study CMRFs. The dynamic behaviour of the structures is also plotted in Fig. 7.



**Figure 7.** PO and IDA graphs for CMRF structures a) 5, b) 10, c) 15, and e) 20 stories.

#### 3.1. Ductility Factor

This factor identifies the behavior that the behavior is making without significant reduction in maximum strength under seismic horizontal forces. The ratio of ductility in the literature is widely used in use the elastic deformation rating of a structural system under the influence of a particular earthquake or horizontal load. The mathematical definition of this ratio is expressed as follows as ductility ratio of displacement function [8–10,42]. That is, the displacement ductility ratio  $\mu$  (ductility demand) can be expressed as:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \tag{1}$$

Yield and ultimate displacement values are  $\Delta_y$  and  $\Delta_u$ , respectively, in Eq. (1). As a result of IDAs, it was

calculated from Fig. 7 as 1.81, 1.86, 1.42 and 1.74 for 5-, 10-, 15- and 20-story CMRF structures, respectively. The  $\mu$  values obtained as a result of the analyses with TLD-PO were approximately 17% larger for the 5-, and 15-storey structures compared to those obtained with IDA. On the other hand, the  $\mu$  value for the 10-story structure is 10% lower for TLD-PO than for  $\mu$  calculated from the IDA results, while it is almost the same for the 20-story structure (0.8% difference). Considering the analyses made with ULD-PO, the  $\mu$  value in 5-, 10-, and 15-storey buildings is 12%, 27% and 6% higher, respectively, than the values obtained from IDA. However, the  $\mu$  value obtained from ULD-PO of the 10-story structure is 8% smaller than that obtained from IDA. While the  $\mu$  value obtained from the dynamic method (IDA) was 1.71 on average, this value was calculated as 1.85 and 1.80 for the static methods, ULD-PO and TLD-PO (Fig. 8).

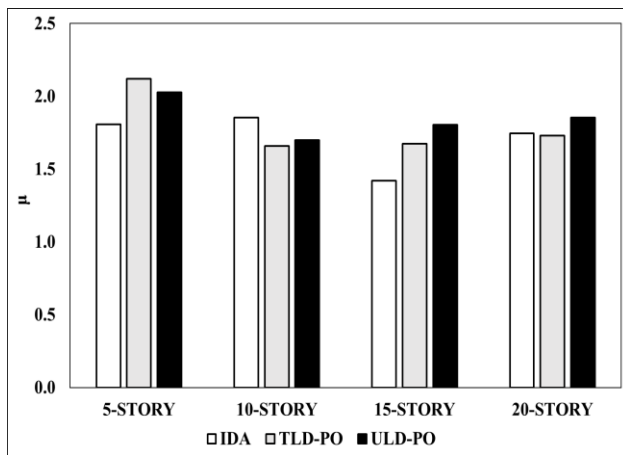


Figure 8. Ductility factor variation.

### 3.2. Overstrength Factor

When describing the nonlinear response of structures, the load-displacement relationship is often assumed to be elasto-plastic. Within the scope of this study, the structural extreme strength factors expressed by the following equation were calculated from the Figure obtained with IDAs for each structure:

$$\Omega_d = \frac{V_y}{V_d} \quad (2)$$

Yield and design base shear values are displayed as  $V_y$  and  $V_d$ , respectively, in Eq. (2). As a result of experimental and theoretical studies conducted by researchers for  $\Omega_d$ , an important performance parameter of the building, it has been shown that this factor plays an important role in protecting buildings from collapse in the face of severe earthquakes. It has been reported in the literature that this factor for steel and reinforced concrete structures varies between 1.8 and 6.5 for long-term and short-term structures [13]. In this study, IDA results showed that the  $\Omega_d$  factors of CMRFs reached 10.97, 12.53, 13.23 and 12.23 values in 5-, 10-, 15- and 20-story structures, respectively. As a result of the analysis, the  $\Omega_d$  values obtained with TLD-PO are approximately 10%, 21% and 14% smaller for 10-, 15- and 20-storey structures, respectively, than those obtained with IDA. On the other hand, when the  $\Omega_d$  value is calculated for the 5-storey building, it is slightly (in the

order of 1%) calculated from the IDA results for TLD-PO. Considering the analyses made with ULD-PO, the  $\Omega_d$  value for 5-, 10-, 15- and 20-storey buildings is 13%, 35%, 45% and 43% smaller, respectively, than the values obtained from IDA. While the  $\Omega_d$  value obtained from the dynamic method (IDA) was calculated as 12.2 on average, this value was calculated as approximately 8 and 11 for the results of the static methods, ULD-PO and TLD-PO (Fig. 9).

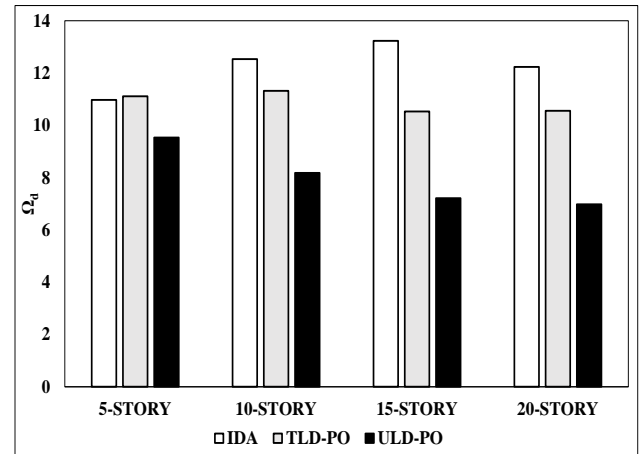


Figure 9. Overstrength factor variation.

### 3.3. Inherent Overstrength Factor

Elnashai and Mwafy [43,44] recently suggested a measure of response termed 'inherent overstrength factor. Inherent overstrength factor ( $\Omega_i$ ) is formulated as below;

$$\Omega_i = \frac{V_y}{V_e} \quad (3)$$

Yield and elastic base shear values are given as  $V_y$  and  $V_e$ , respectively, in Eq. (3). The suggested measure of response  $\Omega_i$  reflects the reserve strength and the anticipated behaviour of the structure under the design earthquake. Clearly, in the case of  $\Omega_i \geq 1.0$ , the global response will be almost elastic under the design earthquake, reflecting the high overstrength of the structure. If  $\Omega_i < 1.0$ , the difference between the value of  $\Omega_i$  and unity is an indication of the ratio of the forces that are imposed on the structure in the post-elastic range [13]. When the values obtained within the scope of the study were examined, the values of the  $\Omega_i$  parameter were obtained as 1.39, 1.57, 1.65 and 1.53 for 5-, 10-, 15- and 20-story CMRF, respectively.

As a result of the analysis, the  $\Omega_d$  values obtained with TLD-PO are approximately 10%, 21% and 14% smaller for 10-, 15- and 20-storey structures, respectively, than those obtained with IDA. On the other hand, when the  $\Omega_i$  value is calculated for the 5-storey building, it is slightly (in the order of 1%) calculated from the IDA results for TLD-PO. Considering the analyses made with ULD-PO, the  $\Omega_i$  value for 5-, 10-, 15- and 20-storey buildings is 13%, 35%, 45% and 43% smaller, respectively, than the values obtained from IDA. While the  $\Omega_i$  value obtained from the dynamic method (IDA) was calculated as 1.54 on average, this value was calculated as approximately 1 and 1.36 for the results of the static methods, ULD-PO and TLD-PO (Fig. 10). These values show that structures can easily withstand elastic deformation design earthquakes.

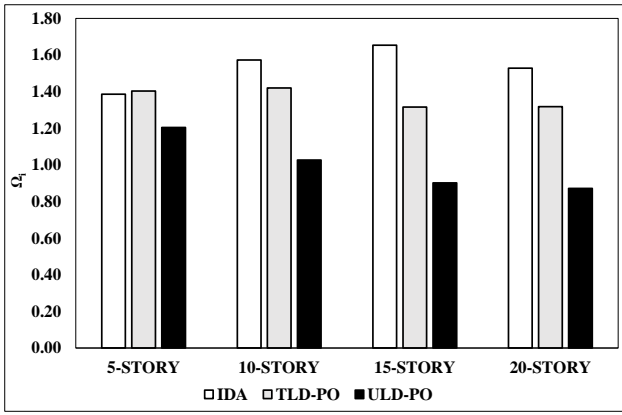


Figure 10. Inherent strength factor variation.

### 3.4. Composite Section Capacities

In this part of the paper, the examination of the deformations in the structural elements because of the non-linear dynamic analysis carried out in the systems formed by the CMRF structures is presented. The deformation states and definitions that occur in the mentioned structural elements are summarized in Table 1. The deformations in the CFST column cross sections in the CMRF system and in the sections of the composite beams, which are formed by the combination of IPE section and solid slab, are examined within the scope of this section. During the examination, IDR (interstory drift ratio) values were taken into consideration. The cross-sectional deformations obtained during IDA and given in the Table 2 were evaluated within the 3 parameters mentioned above. Obtained results are presented in the Fig. 11.

Table 2. Deformation states and definitions

Deformation	Definition
<b>BSY</b>	In the composite beam, the steel has reached yield elongation at the outermost fiber.
<b>CSY</b>	In the composite column, the steel has reached yield elongation at the outermost fiber.
<b>BSU</b>	Steel reached its ultimate capacity in the composite beam.
<b>CSU</b>	Steel reached its ultimate capacity in the composite column.
<b>BCU</b>	Concrete reached its ultimate capacity in the composite beam.
<b>CCU</b>	Concrete reached its ultimate capacity in the composite column.
<b>BCF</b>	In the composite beam, the concrete converged to the elongation at crushing limit.
<b>CCF</b>	In the composite column, the concrete converged to the elongation at crushing limit.

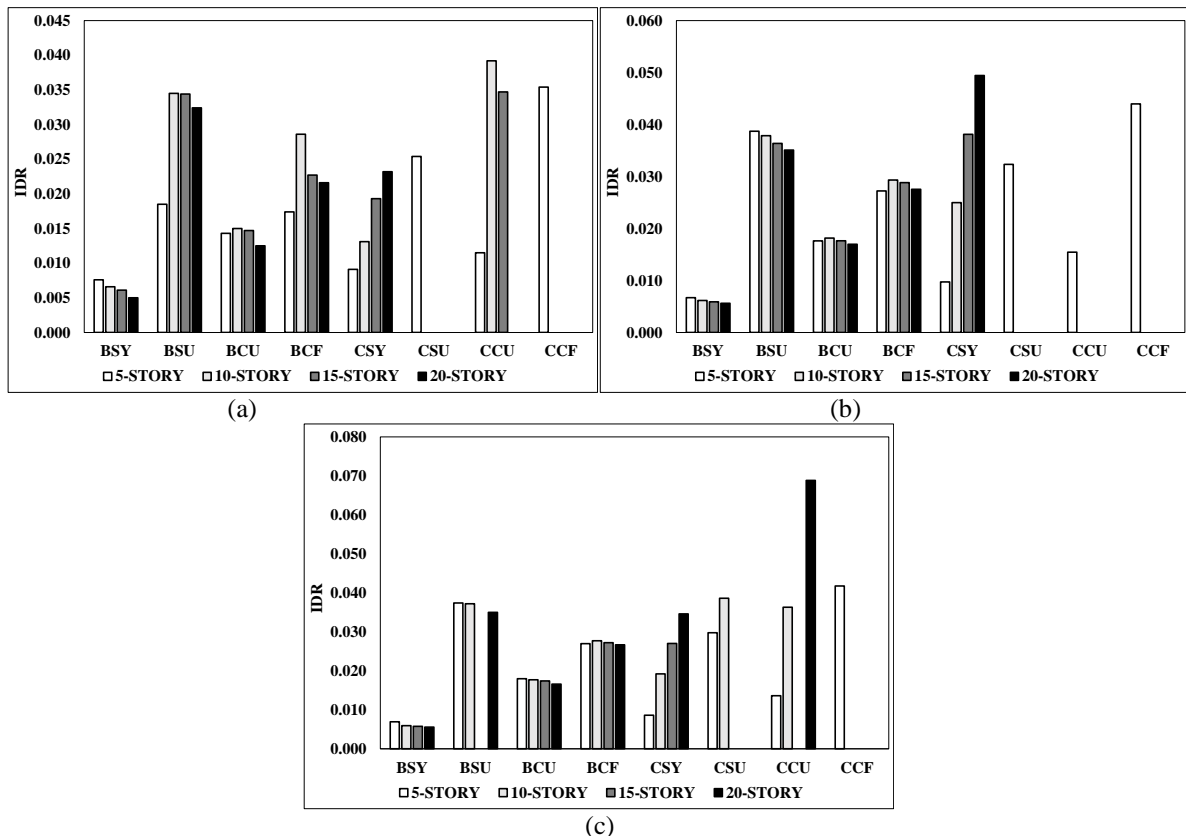


Figure 11. Section deformation with IDR a) IDA, b) TLD-PO and c) ULD-PO.

Deformations in composite beams were investigated as BSY, BSU, BCU and BCF. The IDR values observed in the limit values are calculated and presented in the Fig. 11. Deformations to BSY limit values were observed at IDR values of 0.0076, 0.0066, 0.0061 and 0.005 calculated for 5-, 10-, 15- and 20-storey buildings,

respectively, from the IDA analysis. ULD-PO results, on the other hand, showed that these deformation values were 9%, 10% and 6% lower for 5-, 10- and 15-storey structures, respectively, compared to the IDR values obtained from IDA. Also, in the 20-story structure, the ULD-PO results are 11% greater than the IDR values

obtained from IDA. The BSU deformation limit was found to be 0.0185, 0.0345, 0.0344 and 0.0324 IDR values in IDA analysis for 5-, 10-, 15- and 20-storey buildings, respectively. On the other hand, looking at the results obtained with TLD-PO, it is 109%, 10%, 6% and 8% greater than the IDR values obtained from the IDA results for BSU. For ULD-PO, no BSU deformation was observed in the 15-story structure. In 5-, 10- and 20-storey buildings, it is 102%, 8% and 8% higher, respectively, according to the IDR values calculated from IDA. The BCU deformation occurring in the concrete section of the composite beams reaches the limit state at the end of the IDA when the IDR values are 0.0143, 0.015, 0.0147 and 0.0125 in 5-, 10-, 15- and 20-storey structures, respectively. These IDR values calculated from ULD-PO analysis are 26%, 18%, 18% and 33% greater than those calculated from IDA for 5-, 10-, 15- and 20-storey structures, respectively. In addition, TLD-PO analysis results show that these deformations occur at IDR values larger than the IDA result, and this difference is calculated to be 23%, 21%, 20% and 36%, respectively. The other deformation, BCF deformation, which occurs in the concrete section of composite beams, reaches the limit state because of IDA when IDR values are 0.0174, 0.0286, 0.0227, 0.0216 in 5-, 10-, 15- and 20-storey buildings, respectively. These IDR values calculated from ULD-PO analyses are 55%, 20% and 23% greater than those calculated from IDA for 5-, 15- and 20-storey structures, respectively. In the 10-storey structure, it is 3% smaller. In addition, TLD-PO analysis results show that these deformations occur at IDR values larger than the IDA result, and this difference is calculated to be 56%, 3%, 27% and 28%, respectively (Fig. 11).

The deformation states occurring in CFST elements are presented as CSY, CSU, CCU and CCF. For CSY deformations limit state IDA analysis, the IDR value was calculated as 0.0091, 0.0131, 0.0193 and 0.0232 for a 5-, 10-, 15- and 20-storey building, respectively. In ULD-PO analyses, on the other hand, the IDR values at which this deformation occurs are 47%, 40% and 49% larger in 10-, 15- and 20-storey buildings, respectively, according to IDA analyses. However, the IDR value at which this deformation occurs is 6% smaller in a 5-storey building. Considering the CSU deformation, it was observed only in 5-story structure in IDA analysis, 5- and 10-story structure in ULD-PO analysis, and only 5-layer structure in TLD-PO. The IDR value at which this deformation occurs in ULD-PO and TLD-PO in the 5-story structure is 17% and 27% higher, respectively, compared to the IDA analysis. In ULD-PO, on the other hand, when the IDR value is as high as 0.04, it is in the limit state. As a result of IDA, the CCU deformation limit state occurring in the concrete cores of CFST elements was found to be 0.0115, 0.0392 and 0.0347 in 5-, 10- and 15-storey structures, respectively. While it is not observed for IDA in the 20-storey structure, the IDR value was calculated as 0.07 in the 20-storey structure in the analysis made with ULD-PO. In TLD-PO analysis, while the IDR value was 0.0154 in the 5-story structure, the CCU deformation limit was formed. CCF, on the other hand, is seen in 5-story structures in IDA, ULD-PO and TLD-PO analysis and the IDR values seen were calculated as 0.035, 0.042 and 0.044, respectively (Fig. 11).

#### 4 Conclusion

In this study, the performance evaluation of the structures designed with the ÇYTHYE 2016 and TBDY 2018 design codes when they are built on solid and hard rocky soils (ZA group soil) was examined by evaluating the deformations occurring in the sections of the elements as well as various performance parameters. For this, static pushover analysis and incremental dynamic analysis were performed. PO analysis made with two different lateral load patterns. It has been observed that the structures have reached the global yield limit with the effect of design earthquakes, and therefore, a behavior dominated by intense plastic behavior on element basis has begun to occur. When the obtained data are examined, the following conclusions can be reached:

- When the  $\mu$  values are examined, the obtained values are greater than 1.4. This shows that CMRF structures can adequately absorb earthquake effects by ductile horizontal displacements.
- For buildings designed as CMRF, the  $\Omega_d$  parameter calculated using IDA analysis using selected regional earthquakes was obtained as at least 10.97. In addition, the lowest score in PO analysis is 6.98. As a result, they have higher performance factors than calculations with R=8 design factor.
- When the  $\Omega_i$  values are examined, it is seen that almost all of the obtained values are greater than 1 for the IDA results. In this case, the structures show that they will absorb earthquake energy thanks to their flexible behaviour.
- When the composite beams are examined according to the IDR change, it is seen that the behaviour is within the elastic limits when the IDR value is 0.005. When the IDR value is above 0.02, the plastic behaviour is dominant in composite beams. However, this situation emerges as a decreasing IDR value as the number of floors increases. In addition, when the IDR value in beam sections approaches 0.015, the plastic behaviour observed in concrete emerges.
- In addition, when CFST columns are examined according to IDR change, it can be said that when the IDR value is 0.01, the behaviour is within elastic limits and then plastic deformations occur. Plastic behaviour is common in CFST columns when the IDR value is above 0.03. However, this situation emerges as an increasing IDR value as the number of stories increases.

#### Declaration

Ethics committee approval is not required.

#### References

- [1] Inel, M., Ozmen, H. B., & Bilgin, H. (2008). Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey. *Engineering Structures*, 30(2), 412-427.
- [2] Sevim, B., & ALTUNIŞIK, A. C. (2017). Kompozit Kolon Elemanların Modal Davranışlarının Belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 13-24.

- [3] Pecce, M., Amadio, C., Rossi, F., & Rinaldin, G. (2012, September). Non-Linear behaviour of steel-concrete composite moment resisting frames. In *15th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 1-10). IAEE.
- [4] Kamaris, G. S., Skalomenos, K. A., Hatzigeorgiou, G. D., & Beskos, D. E. (2016). Seismic damage estimation of in-plane regular steel/concrete composite moment resisting frames. *Engineering Structures*, 115, 67-77.
- [5] Jianguo, N., Yuan, H., Weijian, Y., & Jiansheng, F. (2012). Seismic behavior of CFRSTC composite frames considering slab effects. *Journal of Constructional Steel Research*, 68(1), 165-175.
- [6] Essopjee, Y., & Dundu, M. (2015). Performance of concrete-filled double-skin circular tubes in compression. *Composite Structures*, 133, 1276-1283.
- [7] Boukhalkhal, S. H., Neves, L. F. D. C., & Madi, W. (2019). Dynamic behavior of concrete filled steel tubular columns. *International Journal of Structural Integrity*.
- [8] Etili, S., & Güneyisi, E. M. (2020). Seismic performance evaluation of regular and irregular composite moment resisting frames. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 17.
- [9] Etili, S., & Güneyisi, E. M. (2021). Assessment of Seismic Behavior Factor of Code-Designed Steel-Concrete Composite Buildings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(5), 4271-4292.
- [10] Etili, S., & Güneyisi, E. M. (2020). Response of steel buildings under near and far field earthquakes. *Civil Engineering Beyond Limits*, Turkey, 2, 24-30.
- [11] Elghazouli, A. Y., Castro, J. M., & Izzuddin, B. A. (2008). Seismic performance of composite moment-resisting frames. *Engineering structures*, 30(7), 1802-1819.
- [12] Broderick, B.M., Elnashai, A.S., Seismic response of composite frames - I. Response criteria and input motion, *Eng. Struct.*, 18, 696-706, 1996.
- [13] Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2015). *Fundamentals of earthquake engineering: from source to fragility*. John Wiley & Sons.
- [14] Code, P. (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. *Brussels: European Committee for Standardization*.
- [15] Uniform Building Code (1997). In *International Conference of Building Officials*, Whittier, CA..
- [16] Building Seismic Safety Council (2004). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450), *Build. Seism. Saf. Council., Provisions*, 338.
- [17] SEAOC (1999). Recommended lateral force requirements and commentary. *Seismology Committee Structural Engineers*. Association of California.
- [18] American Society of Civil Engineers. (2000). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE Standard)*. American Society of Civil Engineers/ASCE.
- [19] American Concrete Institute (1970). *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*.
- [20] AISC Committee. (2010). Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360-10). *American Institute of Steel Construction*, Chicago-Illinois.
- [21] European Standard (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN1992-1-1)*.
- [22] Leon, R. T., Hajjar, J. F., & Gustafson, M. A. (1998). Seismic response of composite moment-resisting connections. I: Performance. *Journal of Structural Engineering*, 124(8), 868-876.
- [23] Hawkins, N. M., & Mitchell, D. (1984). Seismic response of composite shear connections. *Journal of Structural Engineering*, 110(9), 2120-2136.
- [24] Bursi, O. S., & Caldara, R. (2000, February). Composite substructures with partial shear connection: Low cycle fatigue behaviour and analysis issues. In *12 World Conference on Earthquake Engineering-Conference Proceeding*.
- [25] Plumier, A. (2000). In: *12 World Conf. Earthq. Eng. Proceeding*, pp. 1-8.
- [26] Miranda, E. (1997, January). Strength reduction factors in performance-based design. In *Proceedings of EERC-CUREe Symposium*, Berkeley, CA.
- [27] Thermou, G. E., Elnashai, A. S., Plumier, A., & Doneux, C. (2004). Seismic design and performance of composite frames. *Journal of constructional steel research*, 60, 31-57.
- [28] Environment and Urban Ministry of Turkey (2016). *Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures*.
- [29] Turkey Disaster and Emergency Management Presidency (2018). *Turkey Building Earthquake Regulation*.
- [30] SeismoSoft (2018). *A computer software for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures*.
- [31] Zendaoui, A., Kadid, A., & Yahiaoui, D. (2016). Comparison of different numerical models of RC elements for predicting the seismic performance of structures. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10(4), 461-478.
- [32] Turkey Disaster and Emergency Management Presidency (2020). *Turkey Earthquake Hazard Maps*. Retrieved July 20, 2021 from <https://tdth.afad.gov.tr/>.
- [33] Turkish Standards Institution (2007). *Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri (TS-498)*.
- [34] Turkey Acceleration Database and Analysis System (2021). Retrieved November 25, 2021 from <https://tadas.afad.gov.tr/map>, 2021.
- [35] Simoes, R., Da Silva, L. S., & Cruz, P. J. (2001). Cyclic behaviour of end-plate beam-to-column composite joints. *Steel & Composite Structures*, 1(3), 355-376.
- [36] Nogueiro, P., Silva, L. S. D., Bento, R., & Simões, R. (2009). Calibration of model parameters for the cyclic response of end-plate beam-to-column steel-concrete composite joints. *Steel and Composite Structures*, 9, 39-58.
- [37] Shamsudin, M. F. B. (2014). *Analytical tool for modeling the cyclic behaviour of extended end-plate connections* (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra).
- [38] Della Corte, G., De Matteis, G., & Landolfo, R. (2000). Influence of connection modelling on seismic response of moment resisting steel frames. *Moment resistant connections of steel buildings frames in seismic areas*, E. & FN Spon, London, 485-512.
- [39] Etili, S. (2021). Analytical Evaluation of Behavior of Composite Columns Under Axial Load, *International Journal of Pure and Applied Sciences*.
- [40] Jaspert, J.P., & Weynand, K. (2016). Design of joints in steel and composite structures, *Des. Joints Steel Compos. Struct.*, 1-388.
- [41] Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2005). Direct estimation of seismic demand and capacity of multidegree-of-freedom systems through incremental dynamic analysis of single degree of freedom approximation. *Journal of Structural Engineering*, 131(4), 589-599.
- [42] Miranda, E., & Bertero, V. V. (1994). Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design. *Earthquake spectra*, 10(2), 357-379.
- [43] Mwafy, A. M., & Elnashai, A. S. (2001). Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings. *Engineering structures*, 23(5), 407-424.
- [44] Mwafy, A. A. M. A. R. (2001). *Seismic performance of code designed RC buildings* (Doctoral dissertation, University of London).



## DECISION TREE BASED INTRUSION DETECTION METHOD IN THE INTERNET OF THINGS

Rojbin Tekin<sup>1</sup> , Orhan Yaman<sup>\*1</sup> , Turker Tuncer<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Firat University, Technology Faculty, Department of Digital Forensics Engineering, Elazığ, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Developments in computer and network technologies have also positively affected internet technology. With the development of the Internet, the concept of IoT (Internet of Things) has been invented. Nowadays, IoT devices provide convenience in many areas, and the positive effects of IoT-based systems increase people's quality of life. People want to remotely monitor and manage smart cities, smart homes, and other platforms. However, IoT systems have many vulnerabilities and thus have become the target of attackers. Detecting such attacks and preventing security vulnerabilities will further increase the rate of use of IoT technology. In this work, an intelligent intrusion detection system (IDS) for IoT devices has been suggested. The presented intelligent IDS for IoT devices have been developed on a big attack dataset and this dataset contains 3,668,443 observations. In prior works which used this dataset, researchers worked on a binary classification problem (attacked and normal). However, this research aims to classify the attack types, hence, nine categories have been used. To propose a prompt responded IDS model, a fast classifier which is a decision tree (DT) has been employed. Our proposal attained 97.43% classification accuracy on this dataset using 10-fold cross-validation. This accuracy rate frankly demonstrates the classification ability of our proposed IDS model for IoT devices.

**Keywords:** DDoS, decision tree, DoS, internet of things, intrusion detection.

## NESNELERİN İNTERNETİNDE KARAR AĞACI TABANLI SALDIRI TESPİT YÖNTEMİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bilgisayar ve ağ teknolojilerindeki gelişmeler internet teknolojisini de olumlu yönde etkilemiştir. İnternetin gelişmesiyle birlikte IoT (Nesnelerin İnterneti) kavramı ortaya çıkmıştır. Günümüzde IoT cihazları birçok alanda kolaylık sağlamakta ve IoT tabanlı sistemlerin olumlu etkileri insanların yaşam kalitesini artırmaktadır. İnsanlar akıllı şehirleri, akıllı evleri ve diğer platformları uzaktan izlemek ve yönetmek istemektedir. Ancak IoT sistemleri birçok güvenlik açığına sahiptir ve bu nedenle saldırganların hedefi haline gelmiştir. Bu tür saldırıları tespit etmek ve güvenlik açıklarını önlemek, IoT teknolojisinin kullanım oranını daha da arttıracaktır. Bu çalışmada, IoT cihazları için akıllı bir saldırı tespit sistemi (IDS) önerilmiştir. IoT cihazları için sunulan akıllı IDS, büyük bir saldırı veri seti üzerinde geliştirildi ve bu veri seti 3.668.443 örnek içermektedir. Bu veri setini kullanan önceki çalışmalarda, araştırmacılar ikili sınıflandırma problemi (Atak ve Normal) üzerinde çalışmışlardır. Ancak bu çalışmada saldırı türlerini sınıflandırmayı amaçladığından dokuz kategori kullanılmıştır. Hızlı yanıt veren bir IDS modeli önermek için karar ağacı (DT) olan hızlı bir sınıflandırıcı kullanılmıştır. Önerimiz, 10 kat çapraz doğrulama kullanarak bu veri setinde %97,43 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Bu doğruluk oranı, IoT cihazları için önerilen IDS modelimizin sınıflandırma yeteneğini açıkça göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** DDoS, DoS, Karar ağacı, Nesnelerin İnterneti, Saldırı tespiti.

### 1 Introduction

The development of the Internet contributes to us in almost every aspect of our lives. (Television, dishwasher, smart home systems, vehicles, cameras, etc.). This increase in the number of devices connected to the Internet has led to the emergence of the concept of IoT [1,2]. IoT connects physical objects and integrates both physical and digital objects to improve our daily tasks. However, today's developing internet and devices connected to the

internet have become the target point of attackers. Attacks on IoT devices show that personal data is in danger [3,4]. IoT systems; consist of object components, data components, network components, cloud components, and analysis components. There are different security vulnerabilities for each component. Preventing these security vulnerabilities will contribute to the further development of IoT technology. Today, IoT technology has been widely used in many areas such as buildings and homes, industry, the health sector, transportation, and

\* Corresponding author.

E-mail address: orhanyaman@firat.edu.tr (O. Yaman)

Received 12 July 2021; Received in revised form 07 February 2022; Accepted 14 March 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.970383>



agriculture. While IoT technology increases the quality of life of people in social areas, it increases the quality of production in the field of manufacturing such as industry. IoT application areas and distribution according to 2020 data are shown in Figure 1.

As seen in Figure 1, IoT is mostly used in manufacturing/industry. Transportation, energy, and other fields follow it. Attacks that may occur in applications that require precision, such as manufacturing, cause production to stop, decrease in quality, and material damage. Any attack on IoT platforms used in the field of transportation may disrupt transportation and accidents. Thus, IoT security has become a hot-topic research issue to prevent attacks and various defense models have been presented in the literature for IoT security. There are many IoT attacks. Some of those; are physical attacks, encryption attacks, DoS attacks, firmware hijacking,

botnets, man-in-the-middle attacks, ransomware, and brute force attacks.

The fact that objects are in constant communication and network connections allow cyber-attacks [6] [7]. Although there is not enough work in the field of security in the Internet of Things, the production of IoT devices is increasing. In the coming years, many applications will be developed to eliminate security vulnerabilities in the field of IoT [10]. Okegbile et al. In their studies proposed a model for DDOS (Denial of Service) attacks that occur on IoT devices. This model characterizes the behavior of attackers in the system. The model trust list table further improves the detection of malicious nodes, creating a precaution for future attacks [3]. Deniz examined security vulnerabilities in his study. He proposed a new model for the security of nodes on IoT platforms [8].

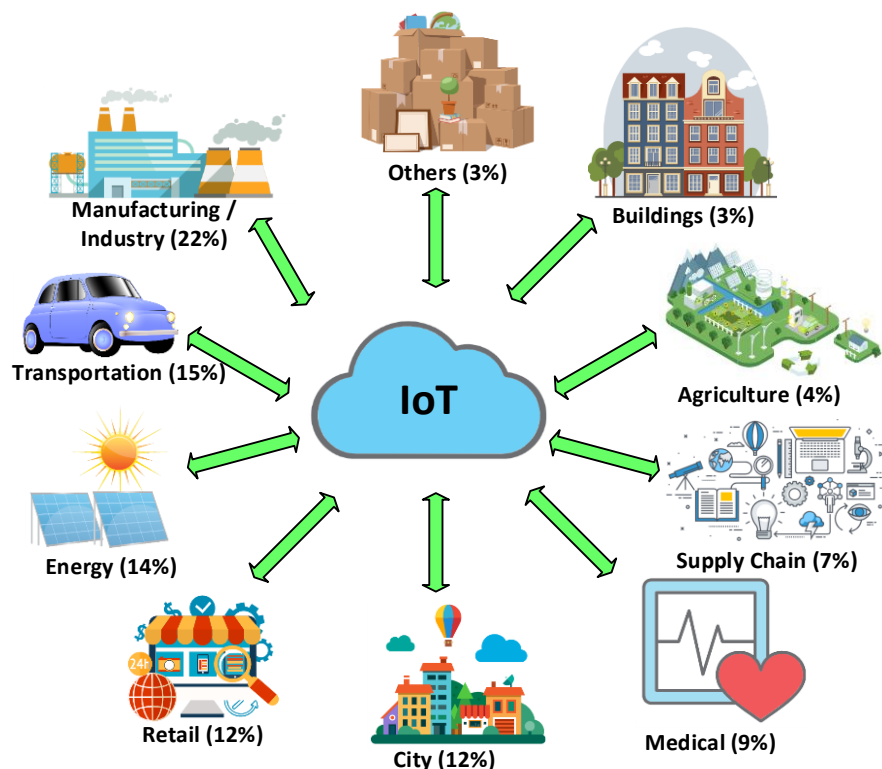


Figure 1. IoT application areas and distribution according to 2020 data [5].

Machine learning and deep learning methods are used to detect attacks on IoT platforms. Before classifying the attacks, preprocessing and feature extraction are performed. Feature extraction is important for the success of classification. Shafiq et al. In this study, a bijective soft set was applied for feature selection and then a new CorrACC feature selection metric approach was proposed. To evaluate the proposed approaches, four different machine learning classifiers were used in the BoT-IoT dataset and over 95% accuracy was calculated with the algorithm [11]. Mohammadi et al. [12] A comprehensive overview of the use of deep learning in the field of IoT is presented. Big data analysis and IoT flow data analysis were performed for IoT data. Emerging deep learning techniques for IoT data analytics are discussed and their challenges are presented [12]. In Yonem's study, artificial neural networks were used for artificial bee colony algorithms and time series. The realized model was

used in the analysis of the data. This study showed that the artificial bee colony algorithm can be used in the Internet of Things [13]. Rathore et al. [14] proposed an intrusion detection method to detect IoT attacks. They collected the KDD dataset by creating an IoT platform. They calculated 86.53% accuracy on this dataset with machine learning methods. Xiao et al. [15], examined the types of attacks commonly used in IoT platforms. They explained the types of DoS attackers, Jamming, Spoofing, Man-in-the-middle attack, Software attacks, and Privacy leakage. They presented machine learning-based methods developed to detect these attack types. Kotenko et al. [16], presented a machine learning and big data approach for IoT infrastructure. They have detected attacks on IoT devices. The datasets created on IoT platforms are large. Therefore, they proposed a distributed machine learning-based model. They compared the proposed distributed model with the local model. They showed that the

performance results are higher in the distributed model. Vu et al. [17], proposed a deep transfer learning method with data collected from multiple IoT devices. They performed attack detection by collecting nine different datasets.

Zhang et al. [18], a lightweight defense algorithm is proposed for DDoS attacks over IoT network environments. They have been tested against various scenarios to study the interactive communication between different network nodes. In Yavuz study, a deep learning-based security system is presented. The dataset to be used in deep learning has been prepared with the Cooja simulator. Cooja IoT simulator has been used to generate high-quality attack data on IoT networks ranging up to 1000 nodes. Approximately 99% accuracy was computed with the trained dataset [19]. Koroniotis et al [20] have proposed a new dataset called Bot-IoT, which combines various types of attacks as well as legitimate and simulated IoT network traffic. They evaluated the reliability of the Bot-IoT dataset compared to other datasets by using different statistical and machine learning methods for forensic purposes. The best 10 features were selected from this large dataset. The features are classified using SVM. They compared results using the top 10 features and all features.

In this study, attack types are classified using the Bot-IoT dataset. In the literature, the Bot-IoT dataset has been used in attack detection. (Normal- DDoS HTTP, Normal-DDoS TCP, Normal- DDoS UDP etc.). In the proposed method, the results of "attack", "category" and "subcategory" are combined. Thus, nine classes have been created. DT (Decision Tree) algorithm has been used for classification.

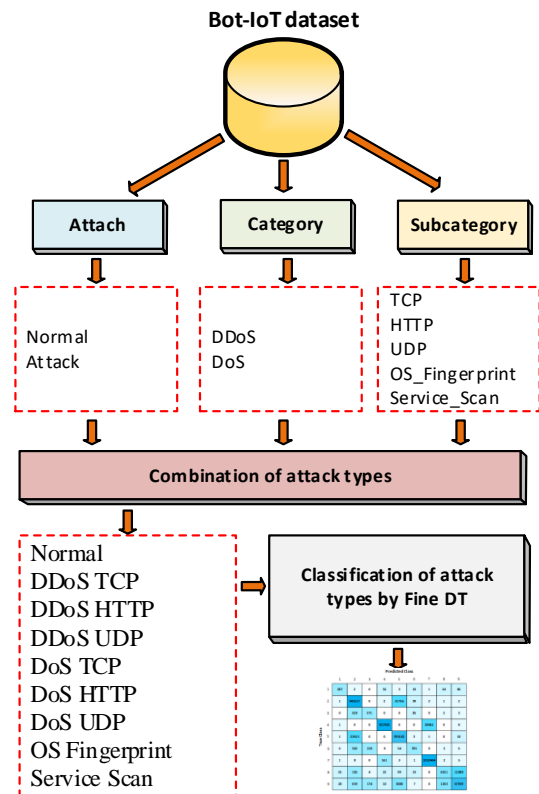
## 2 Material and Method

The Bot-IoT dataset has been used in this study [20–22]. The Bot-IoT dataset was created in a laboratory environment. Pcap files were collected and edited with the Argus tool. Many features have been obtained with the Bot-IoT dataset. Koroniotis et al. [20] Bot-IoT selected and used the top 10 features on the dataset. In this study, the top 10 features selected on the Bot-IoT dataset have been used. The top 10 features and their descriptions are tabulated in Table 1.

**Table 1.** Features and descriptions of Bot-IoT dataset [20].

Feature	Description
srate	Source-to-destination packets per second
drate	Destination-to-source packets per second
rate	Total packets per second in transaction
max	Maximum duration of aggregated records
state_number	Numerical representation of feature state
mean	Average duration of aggregated records
min	Minimum duration of aggregated records
stddev	Standard deviation of aggregated records
flgs_number	Numerical representation of feature flgs
seq	Argus sequence number

The top 10 features on the Bot-IoT dataset presented in Table 1 have been used. The block diagram of the proposed method can be illustrated in Figure 2.



**Figure 2.** Block diagram of the proposed method for Bot-IoT dataset.

As can be viewed in Figure 2, the top 10 features are classified according to the decision tree. There are "attack", "category" and "subcategory" results on the Bot-IoT dataset. There are normal and attack classes in the "attack" category. In the "category", there are DDoS and DoS classes. In the "subcategory", there are TCP, HTTP, UDP, OS\_Fingerprint, and Service\_Scan classes. In the literature, the dataset is classified separately according to the results of "attack", "category" and "subcategory". In this study, nine classes were formed and classified by combining the results of "attack", "category", and "subcategory". The class types and sample numbers obtained are demonstrated in Table 2.

**Table 2.** New classes obtained by combining "attack", "category" and "subcategory" results.

Number of Class	Class Type	Number of Sample
1	Normal	477
2	DDoS TCP	977380
3	DDoS HTTP	989
4	DDoS UDP	948255
5	DoS TCP	615800
6	DoS HTTP	1485
7	DoS UDP	1032975
8	OS Fingerprint	17914
9	Service Scan	73168

As can be show in Table 2, most examples belonging to the "DoS UDP" class. The fewest examples belong to the "Normal" class. These samples are 3668443 in total. Decision Tree has been used to classify attack types. The large size of the dataset affects the classification process. For this reason, a Decision Tree is preferred rather than

classifications such as KNN or SVM. The Decision Tree algorithm is fast compared to other classifiers [23]. For this reason, the Fine DT algorithm used has been compared with the Medium DT, Coarse DT, Ensemble Boosted Trees (EBT), and Linear Discriminant (LD) algorithms. Comparison results are displayed in Figure 3.

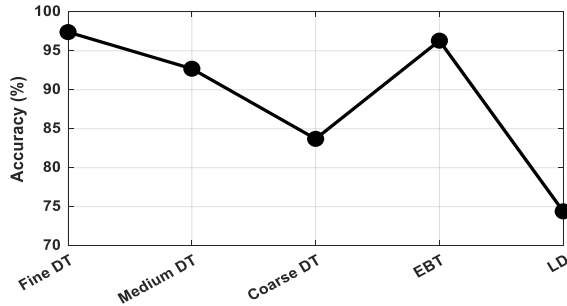


Figure 3. Comparison of Fine DT algorithm with other classifiers.

### 3 Experimental Results

In this study, Classification Learner Toolbox in MATLAB program has been used to classify the Bot-IoT dataset. The large size of the dataset affects the testing time of the proposed method. For this reason, the Decision Tree algorithm, which is fast and has low computational complexity, is preferred instead of algorithms such as deep learning. In the Fine DT classifier used in this study, the "Split Criterion" parameter was selected as "gdi" and the "Max Number of Splits" parameter as "100". The Confusion Matrix obtained as a result of the classification is shown in Figure 4.

ROC curves and AUC values of all classes can be seen in Figure 5.

		Predicted Class								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
True Class	1	287	2	0	56	3	18	1	24	86
	2	1	945517	0	2	31756	99	2	1	2
	3	0	528	371	0	0	85	0	2	3
	4	1	0	0	927305	0	0	20941	0	8
	5	1	22615	0	0	593162	3	1	0	18
	6	6	502	210	0	54	705	0	2	6
	7	1	8	0	551	3	1	1032404	2	5
	8	25	105	4	22	99	19	0	6551	11089
	9	28	659	174	10	3088	7	0	1263	67939

Figure 4. Confusion Matrix results obtained with Fine DT classifier.

As can be seen in Figure 5, the best results have been calculated for the "DDoS TCP", "DDoS UDP", "DoS TCP" and "DoS UDP" classes. Accuracy, Precision, Recall, Geometric Mean, and F1-Score values have been computed by running 100 iterations of the proposed method. Maximum, Minimum, Average, and Standard Deviation values of Accuracy, Precision, Recall, Geometric Mean, and F1-Score values are given in Table 3.

As can be illustrated in Table 3, the best 97.43% accuracy has been calculated with the Fine DT classifier. These results have been obtained using 10 Fold-CV. In addition, in the proposed method, Fold-wise accuracy values can be computed and displayed in Figure 6.

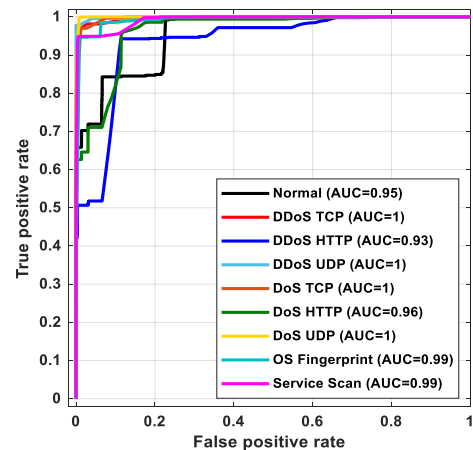


Figure 5. ROC Curve of all class.

Table 3. Performance values of the proposed method with 100 iterations.

	Accuracy	Precision	Recall	Geometric Mean	F1-Score
Max	97.43	85.29	73.99	68.56	79.23
Min	97.41	84.98	73.92	68.48	79.08
Mean	97.42	85.06	73.93	68.49	79.11
Std	0.001	0.08	0.01	0.01	0.04

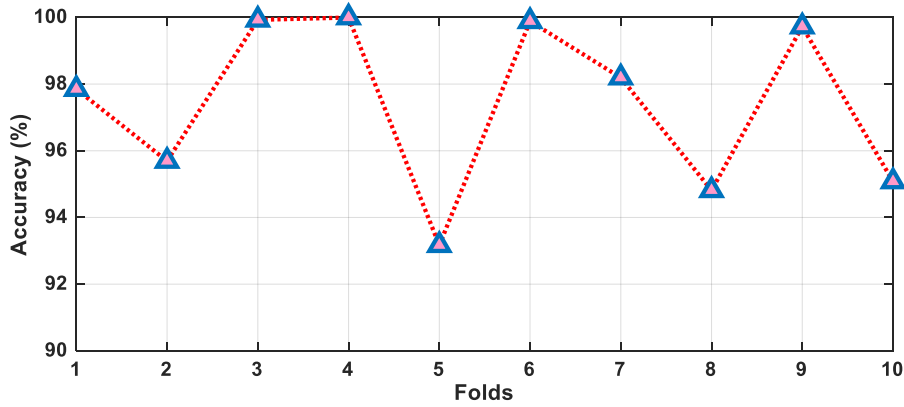


Figure 6. The calculated fold-wise accuracies employing Fine DT classifier.

As can be viewed in Figure 6, the highest results have been computed with Fold3, Fold4, Fold6, and Fold9 (>99.5% accuracy). The lowest result has been calculated at 93.16% with Fold5. Class-wise results of the proposed method can be illustrated in Figure 7.

As can be seen in Figure 7, the highest results have been computed for the "DDoS TCP", "DDoS UDP", "DoS TCP" and "DoS UDP" classes. Accuracy is 96.73% for "DDoS TCP", 97.79% for "DDoS UDP", 96.32% for "DoS TCP" and 99.94% for "DoS UDP". The lowest results have been calculated in the "DDoS HTTP", "DoS

HTTP" and "OS Fingerprint" classes. When the sample numbers in the Bot-IoT dataset are compared with the results, it can be demonstrated that the success rate is related to the sample numbers. The accuracy value has been computed high because the number of samples in the "DDoS TCP", "DDoS UDP", "DoS TCP", and "DoS UDP" classes are high.

The proposed Fine DT algorithm has been applied to the Bot-IoT dataset and has achieved high classification accuracy. Our results are compared to other state-of-art methods and comparative results are listed in Table 4.

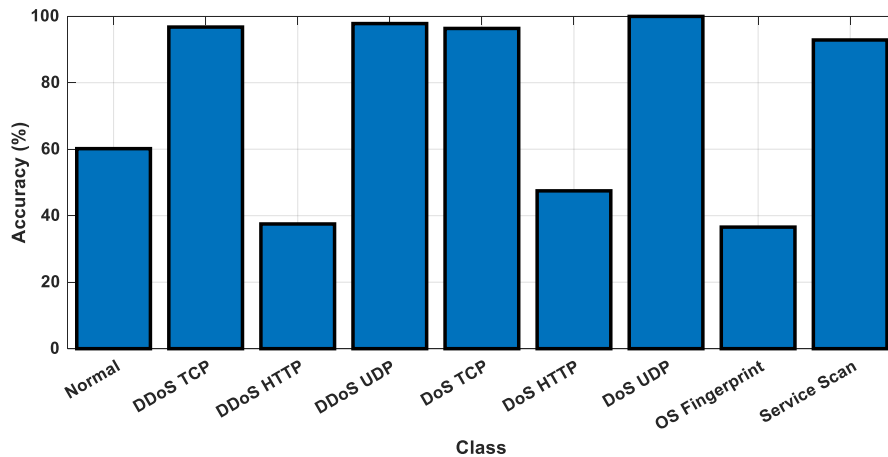


Figure 7. The calculated class-wise accuracies employing Fine DT classifier.

Table 4. Summary of comparison with other state-of-the-art methods using Bot-IoT dataset.

References	Methods	Number of Features	Number of Classes	Results (%)
Leevy et al. [24], 2021	Decision Tree	37	-	AUC=96.16
	Logistic Regression			AUC=97.37
	Naive Bayes			AUC=95.59
	Random Forest			AUC=97.18
Zeeshan et al. [25], 2022	Deep Learning, LSTM	26	3	Acc=96.32
Swarna et al. [26], 2020	KNN	-	-	Acc=92.29
	LSTM	-	-	Acc=97.28
Bhuvaneswari et al. [27], 2020	Deep Learning	10	5	Acc=93.44
Our Method	Fine DT	10	9	Acc=97.43

As can be listed in Table 4, the Bot-IoT dataset is widely used in the literature. This dataset is usually classified into two categories such as "Normal", "Attack" or three categories such as "Normal", "DDoS", "DoS". Leevy et al. [24] used 37 features in the Bot-IoT dataset and calculated 95% accuracy. Zeeshan et al. [25] selected

26 features in the Bot-IoT dataset and computed 96.32% accuracy with deep learning for three categories. Bhuvaneswari et al. [27] computed 93.44% accuracy using deep learning for 10 features and five categories. In the proposed method, the categories and subcategories in the Bot-IoT dataset have been combined and nine classes

have been obtained. For the 10 selected features, both fast and high accuracy have been calculated using the Fine DT algorithm.

The Random Sampling Reduction Technique has been used to show the accuracy of the results of the imbalance Bot-IoT dataset. 477 samples have been randomly selected from each class belonging to the dataset. Thus, 4293 samples have been selected for 9 classes. Randomly selected samples have been classified with Fine DT. As a result of the classification, 97.4% accuracy has been computed and the confusion matrix is displayed in Figure 8.

		Predicted Class								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
True Class	1	471	0	0	0	0	2	2	2	0
	2	0	477	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	473	0	1	3	0	0	0
	4	1	0	0	476	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	477	0	0	0	0
	6	1	0	3	0	0	471	0	2	0
	7	0	0	0	0	0	0	477	0	0
	8	0	0	1	2	0	1	1	470	52
	9	0	0	0	0	0	0	0	39	438

Figure 8. Fine DT classification result obtained from selected samples using Random Sample Reduction Technique.

#### 4 Conclusions

In this study, attack types are classified using the Bot-IoT dataset. In the literature, the Bot-IoT dataset has been evaluated in binary classes (Normal- DDoS HTTP, Normal- DDoS TCP, Normal- DDoS UDP, etc.). SVM, RNN, and LSTM based methods have been proposed to classify these binary classes. Due to the large size of the Bot-IoT dataset, high-spec computers are needed to propose/develop an intelligent IDS model. We aimed to propose a lightweight model to test this dataset using a simple configured personal computer. Therefore, a lightweight method has been developed for the Bot-IoT dataset. In addition, the results have been calculated by creating nine classes instead of the binary classes in the literature. 97.43% accuracy has been computed with the Fine DT classifier. In future studies, the laboratory environment will be developed and new datasets will be collected. Real-time attack detection methods will be developed on these datasets.

#### Declaration

Ethics committee approval is not required.

#### References

1. Ertam, F., Kilincer, I. F., Yaman, O., & Sengur, A. (2020, September). A new IoT application for dynamic WiFi based wireless sensor network. In *2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1-4). IEEE.
2. Hasan, M., Islam, M. M., Zarif, M. I. I., & Hashem, M. M. A. (2019). Attack and anomaly detection in IoT sensors in IoT sites using machine learning approaches. *Internet of Things*, 7, 100059.

3. Okegbile, S. D., & Ogunranti, O. I. (2020). Users emulation attack management in the massive internet of things enabled environment. *ICT Express*, 6(4), 353-356.
4. Ashraf, J., Keshk, M., Moustafa, N., Abdel-Basset, M., Khurshid, H., Bakhshi, A. D., & Mostafa, R. R. (2021). IoTBoT-IDS: A novel statistical learning-enabled botnet detection framework for protecting networks of smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103041.
5. IoT Analytics. *Market insights for the Internet of Things*. Retrieved 2 June, 2021 from <https://iot-analytics.com/>
6. Gupta, K., & Shukla, S. (2016, February). Internet of Things: Security challenges for next generation networks. In *2016 International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)* (pp. 315-318). IEEE.
7. Kumar, P., Braeken, A., Gurtov, A., Iinatti, J., & Ha, P. H. (2017). Anonymous secure framework in connected smart home environments. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 12(4), 968-979.
8. Deniz, E. (2019). *Nesnelerin İnternetinde Gizlilik Ve Güvenlik Yönetimi*. (Master's dissertation, Ankara University).
9. D'angelo, G., Palmieri, F., Ficco, M., & Rampone, S. (2015). An uncertainty-managing batch relevance-based approach to network anomaly detection. *Applied Soft Computing*, 36, 408-418.
10. Ring, M., Wunderlich, S., Scheuring, D., Landes, D., & Hotho, A. (2019). A survey of network-based intrusion detection data sets. *Computers & Security*, 86, 147-167.
11. Shafiq, M., Tian, Z., Bashir, A. K., Du, X., & Guizani, M. (2020). IoT malicious traffic identification using wrapper-based feature selection mechanisms. *Computers & Security*, 94, 101863.
12. Mohammadi, M., Al-Fuqaha, A., Sorour, S., & Guizani, M. (2018). Deep learning for IoT big data and streaming analytics: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4), 2923-2960.
13. Yönel, E. (2019). *Nesnelerin İnternetinde Veri Analizi İçin Tekrarlayıcı Sinir Ağları Yönetiminin Yapay Arı Koloni Algoritması İle Eğitilmesi*. (Master's dissertation, Erciyes University).
14. Rathore, S., & Park, J. H. (2018). Semi-supervised learning based distributed attack detection framework for IoT. *Applied Soft Computing*, 72, 79-89.
15. Xiao, L., Wan, X., Lu, X., Zhang, Y., & Wu, D. (2018). IoT security techniques based on machine learning: How do IoT devices use AI to enhance security?. *IEEE Signal Processing Magazine*, 35(5), 41-49.
16. Kotenko, I., Saenko, I., Kushnerevich, A., & Branitskiy, A. (2019, February). Attack detection in IoT critical infrastructures: a machine learning and big data processing approach. In *2019 27th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP)* (pp. 340-347). IEEE.
17. Vu, L., Nguyen, Q. U., Nguyen, D. N., Hoang, D. T., & Dutkiewicz, E. (2020). Deep transfer learning for IoT attack detection. *IEEE Access*, 8, 107335-107344.
18. Zhang, C., & Green, R. (2015, April). Communication security in internet of thing: preventive measure and avoid DDoS attack over IoT network. In *Proceedings of the 18th symposium on communications & networking* (pp. 8-15).
19. Yavuz, F.Y. (2018). *Deep Learning in Cyber Security for Internet of Things*. (Master's dissertation, Istanbul City University).
20. Koroniotis, N., Moustafa, N., Sitnikova, E., & Turnbull, B. (2019). Towards the development of realistic botnet dataset in the internet of things for network forensic analytics: Bot-iot dataset. *Future Generation Computer Systems*, 100, 779-796.

21. Koroniotis, N., & Moustafa, N. (2021). The Bot-IoT Dataset. *UNSW Canberra ADFA*.
22. Koroniotis, N. (2020). *Designing an effective network forensic framework for the investigation of botnets in the Internet of Things* (Doctoral dissertation, University of New South Wales, Sydney, Australia).
23. Yaman, O., Yetis, H., & Karakose, M. (2020, October). Decision Tree Based Customer Analysis Method for Energy Planning in Smart Cities. In *2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI)* (pp. 1-4). IEEE.
24. Leevy, J. L., Hancock, J., Khoshgoftaar, T. M., & Peterson, J. (2021, December). Detecting Information Theft Attacks in the Bot-IoT Dataset. In *2021 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)* (pp. 807-812). IEEE.
25. Zeeshan, M., Riaz, Q., Bilal, M. A., Shahzad, M. K., Jabeen, H., Haider, S. A., & Rahim, A. (2021). Protocol-Based Deep Intrusion Detection for DoS and DDoS Attacks Using UNSW-NB15 and Bot-IoT Data-Sets. *IEEE Access*, 10, 2269-2283.
26. Sugi, S. S. S., & Ratna, S. R. (2020, December). Investigation of machine learning techniques in intrusion detection system for IoT network. In *2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)* (pp. 1164-1167). IEEE.
27. Bhuvanewari, B.A., & Selvakumar, S. (2020). Anomaly detection framework for Internet of things traffic using vector convolutional deep learning approach in fog environment. *Future Generation Computer Systems*, 113, 255-265.



## A COMPARISON STUDY IN TERMS OF DIMENSIONAL ACCURACY AND PRECISION OF 3D MODELING

Mehmet Altuğ<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Inönü University, Department of Machine and Metal Technologies, Malatya, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

In this study, the differences in the dimensions of the 3D models produced by Polyjet and FDM (Fused Deposition Modeling) methods as Auto surface modeling ( $AS_m$ ) and Parametric modeling ( $P_m$ ) were investigated. Here, our purpose is to demonstrate the effects of the modeling methods on the dimensional accuracy and precision. A component having cylindrical, plane and amorphous surfaces have been selected as a sample material. Polyjet and FDM methods have been used in 3D printer using the nominal data of this component. Then a 3D scanner have been used to scan those aforementioned parts. These scans have been remodeled with two different modeling methods, namely,  $AS_m$  and  $P_m$ . After modeling, the measured (scan) data has been compared with the nominal data. Differences in terms of the size of the results were revealed mathematically. According to the results obtained, when we compare the parts produced by Polyjet by  $AS_m$  and  $P_m$  methods, we observe that  $AS_m$  gives better results all over the surface than  $P_m$ . Also, the former one has less maximum error norm than the later one. On the other hand the samples produced by FDM using both  $AS_m$  and  $P_m$  give better results all over the surface, but the former one has relatively less maximum error norm than the later one.

**Keywords:** 3D scanning, 3D printing, accuracy, auto surface modeling, parametric modeling, reverse engineering.

## 3D MODELLEMELERİN BOYUTSAL DOĞRULUK VE HASSASİYET AÇISINDAN BİR KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, Otomatik yüzey modelleme ( $AS_m$ ) ve Parametrik modelleme ( $P_m$ ) olarak Polyjet ve FDM (Fused Deposition Modeling) yöntemleri ile üretilen 3D modellerin boyutlarındaki farklılıklar araştırılmıştır. Burada amaç modelleme yöntemlerinin boyutsal doğruluk ve hassasiyet üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Malzeme olarak silindirik, düz ve amorf yüzeylere sahip bir bileşen seçilmiştir. Bu bileşenin nominal verileri kullanarak 3D yazıcıda Polyjet ve FDM yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra, yukarıda belirtilen parçaları taramak için bir 3D tarayıcı kullanılmıştır. Bu taramalar  $AS_m$  ve  $P_m$  olmak üzere iki farklı modelleme yöntemi ile yeniden modellenmiştir. Modellemelerden sonra ölçülen (tarama) veriler nominal verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçların büyüklüğü açısından farklılıklar matematiksel olarak ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Polyjet' in  $AS_m$  ve  $P_m$  yöntemleriyle ürettiği parçaları karşılaştırdığımızda  $AS_m$ ' nin tüm yüzeyde  $P_m$ 'ye göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemliyoruz. Ayrıca  $AS_m$ ' nin tüm yüzeyde  $P_m$ 'ye göre daha az maksimum hata normuna sahiptir. Öte yandan, FDM tarafından hem  $AS_m$  hem de  $P_m$  kullanılarak üretilen numuneler tüm yüzeyde daha iyi sonuçlar vermiş, ancak  $AS_m$ ,  $P_m$ 'ye göre nispeten daha az maksimum hata normuna sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** 3D tarama, 3D yazıcı, hassasiyet, otomatik yüzey modelleme, parametrik modelleme, tersine mühendislik.

### 1 Introduction

Reverse engineering (RE) can be defined as the redesign of the design process based on the shape or geometry of the products. RE, which plays an important role in the remodeling of medical and mechanical products, provides an ease access to Computer Aided Design (CAD) data products in engineering. In this way, an efficient

process occurred by digitizing the product geometry using contact (probe) and non-contact (laser).

Traditional measurement methods in industry have been used for decades. Although classical CMM systems are relatively responsive to the industry's need, high accuracy/precision is now required with fewer deviations and measurement errors. The modeling of the data obtained at the end of the scanning processes is also extremely

\* Corresponding author.

E-mail address: mehmet.altug@inonu.edu.tr (M. Altuğ)

Received 19 October 2021; Received in revised form 28 December 2021; Accepted 08 January 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1012067>

important. The structure and limitations of the surface play an important role in this context.

There have been some studies by researchers on issues about RE. Boschetto et al. designed a 3D model and then made measurements by producing a prototype of this model. They found that this profile is effective on the surface of FDM technology [1]. Dietrich et al. produced 20 different prototypes and re-scanned these parts and found that there was a significant difference between these two prototyping methods with the Polyjet and SLS method [2]. Mallepree et al. created a 3D model based on CT images. They have achieved very important measurement proximity [3]. Jonhson et al. produced a model containing different geometries with both CNC and FDM method. They then re-scan these comparison models by scanning. In their study, they concluded that the CNC method is relatively inexpensive and higher in size than FDM [4]. Armillotta et al. re-scan the ABS 3D model produced by the FDM method to detect edge, surface forms and position errors. In their study, parameters yielded effective results on edge structure [5]. Cheng et al. conducted an experimental and theoretical study for an efficient optimization of the density of cellular structure in layered production. They also proposed a homogenized model in their study and confirmed the optimization by comparison with the experiments in Ref. [6]. Anwer et al., in their study, have demonstrated how to use reverse engineering in product development processes and how they can be developed using curves [7]. Eijnatten et al. examined the effects of CT data on product STL data. They also have found that there were 3 methods of MDCT (Multi detector row computed tomography) that gave the best results in terms of accuracy in terms of 3 different CT methods [8]. Chiu et al. minimized time for repeatability productions by optimizing 3D production parameters. As a result, they showed that the process time, light flux, curing time and platform moving velocity have been affected [9]. Aroca et al., in their work, have recognized the 3D parts of the finished parts of a robot with a robot to allow serial production. In this way, they have created a series production system in low-cost components [10].

Anwer et al., on the product simulations, developed computer aided tolerance systems for modeling the effects of tolerances and were able to obtain realistic solutions as a result [11]. Villiers et al. developed a real inferential model for rapid prototyping of graphics models. This study using the C++ program has demonstrated rapid and effective solutions for graphical models [12]. Doubenskaia et al. used a comprehensive optical monitoring method for the parametric analysis of the Selective Laser Melting (SLM) method. As a result of the different screening methods used in the study, the microstructure and product properties of the products were also found to be effective and different [13]. Wang and Yu have done modeling with quadratic curve and surface fitting with minimization management in squared distance. They also achieved effective results due to repetition of the method [14]. Schleich et al. developed a model in which the deviations in the surface are examined in the geometric shapes of the products. In the study, the results showed significant differences in the geometry of the products and the validation of the design measures [15]. Pattnaik et al. studied rapid prototyping techniques and at the same time

evaluated the advantages and disadvantages of their limitations during production. As a result, they demonstrated that long and costly processes can be overcome by rapid prototyping in industry and health sectors [16]. Salmi et al. examined the completeness of measurement in medical models of additive manufacturing method. They produced 3 different skull models with SLS, Polyjet and 3DP methods. According to the results, they found that Polyjet is better than other methods [17]. Majstorovic et al. presented a new method of anatomical features through X-ray images of human bones. With this method, they managed to form a complete bone geometry within the required surgical margins [18]. Stark et al. developed a reverse engineering process based on 3D scans of 3D models for maintenance repair and renewal processes. In their work, they demonstrated the successful results of data processing approaches for automatic separation, identification and mapping of assembly structures in product data management systems in 3D assembly scans [19]. İsa and Lazoglu designed a laser scanner that works in a global structure. With this design, measurement uncertainties and deviations have been tried to be minimized [20]. Molleda et al. in the study of the properties of 2-dimensional rolled products such as flatness and width have been examined in a 3-dimensional method. This method is intended to reduce unwanted surface defects [21]. Popov et al. developed a high speed and resolution non-contact scanning method. In their study, they found two types of errors in surface scans and they reduced the random errors linearly [22]. Isheil et al., examined the parameters of the distance  $d$ , the incidence angle  $\alpha$  and the projected angle using a non-contact scanning method and contributed to the reduction of systematic screening errors [23]. In Xi et al., demonstrated an empirical formula for compensating for errors caused by laser scanning lines [24]. In their study, Wang and Feng examined the measurement errors resulting from reflective surfaces that significantly affected the quality of point cloud data in the scanning of complex surfaces. They have produced two different models that give effective results for these contradictions [25]. In another study, Wang and Feng also examined the effects of the scanning direction on 3D laser scanning of reflective surfaces. In the present study, they investigated empirically the effects of the scanning direction on contradictory formations [26]. Besic et al. CMM also examined the effects of laser scanner lines on measurements. They also conducted a series of tests using contact and non-contact scanning systems [27]. Iuliano et al. examined the performance of these systems by considering the dimensional and geometrical tolerances as well as their quantitative and qualitative criteria in 3D scanning systems [28]. Feng et al. analyzed the digitization errors of laser scanning systems. The empirical model, based on some parameters, such as scanning depth and laser angle, revealed very fine deviation values [29].

As it is understood from the literature, the studies on the efficiency of scanning methods and 3D prototypes on the dimensional accuracy and precision of the products are quite high. However, this study, the modeling of the end products' dimensional accuracy and precision is mathematically revealed through the error analysis. In this sense, it will contribute to RE studies as an experimental and theoretical study.



## 2 Materials and Method

### 2.1 3D Printing and 3D Scanning Process

To demonstrate the effects of the modeling method on dimensional accuracy and precision, 3D prototype models of the component selected for the study were produced by the EDEN 250 (Figure 1a) produced that uses Polyjet method and Zortrax M200 (Figure 1b) that uses FDM method. The scans of the produced parts have been made with Breuckmann 3D Smartscan (Figure 1c).

Each of the four samples has been scanned from 6 different directions and approximately 150 points in each scan and compared with the same points in each modeling. In the auto surface modeling of Polyjet samples 909 points (Figure 2a), and in  $P_m$  898 points (Figure 2b) have been taken. In FDM  $AS_m$  897 points (Figure 2c) and in  $P_m$  901 points (Figure 2d) have been taken. These data are the differences between the nominal data and the scanned data given in millimeter (mm).

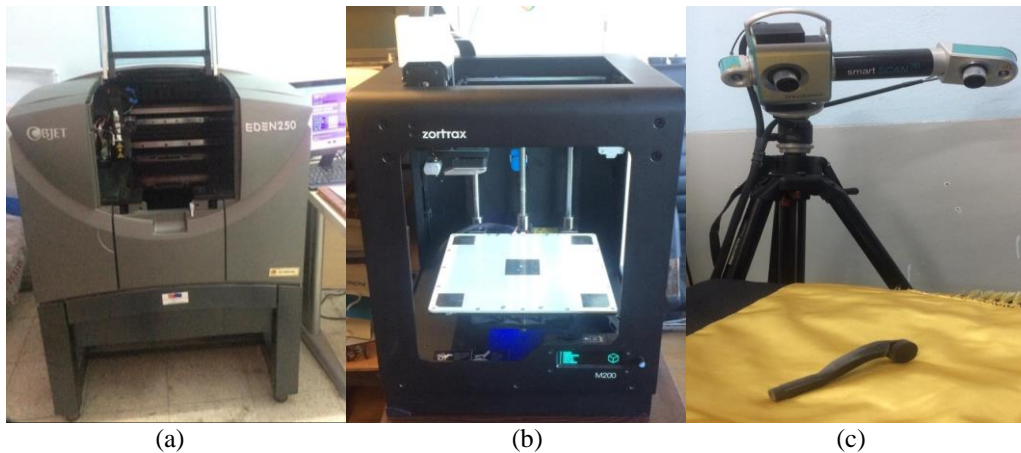


Figure 1. 3D Printers and Scanner (a) EDEN 250 3D printer (b) Zortrax M 200 3D printer (c) SmartSCAN 3D scanner.

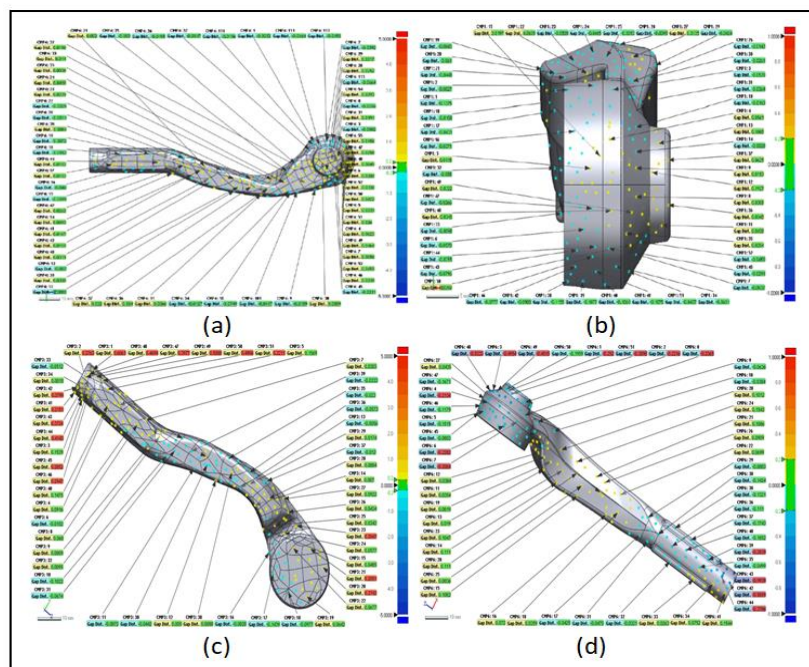


Figure 2. Some scan views a)  $AS_m$  Polyjet b)  $P_m$  Polyjet c)  $AS_m$  FDM d)  $P_m$  FDM.

### 2.2 Modeling Process

Rapid form XOR program has been used in modeling studies. Firstly, in the modeling, polygonal data of the part is obtained by scanning system on those data. Next, the sections have been obtained by using reverse engineering software. Sketches are created on those received sections. These sketches are formed by solids or surfaces, resulting in final results. Two methods have been applied according to the geometry of the parts, accuracy & precision, cost or application used for the modeling.

#### 2.2.1 Parametric Modeling ( $P_m$ )

Sketch based modeling can also be used for  $P_m$ . Since the solids and surfaces can be obtained from the drafts, the changes made through the drafts are reflected to the entire design.

$P_m$  refers to a modeling method that establishes a relationship between the model elements and the modeling objective in order to perform the control and dynamic update of geometry with mathematical variables and algorithms [30,31,32].

### 2.2.2 Auto Surface Modeling (ASm)

Data can be easily created by rapid surface modeling. This method is used to edit the scanned data. (Clearing the blanks, clearing the deformations, arranging the polygons, softening or sharpening the polygons) The program then automatically creates a surface on the polygon data.

The difference between these two processes is the fact that in the first one the data is obtained in a controlled manner and in the other one the data is generated according to the software's own algorithm. As a result, AS<sub>m</sub> is a relatively quick method of obtaining geometry. P<sub>m</sub> reconfigures design changes in the whole process, regardless of geometrics. However, this dependent and specific design method can be slower in RE processes. The argument discussed in this study is the error analysis between the AS<sub>m</sub>, which is designed for high accuracy machining with lower accuracy, and the high accuracy of P<sub>m</sub>, which leads to high computational time expenditure. However, the amorphous surface of the surface is also an important parameter in this context.

### 2.2.3 Mathematical Results

In order to measure how good the approximations are, the error norms  $L_2$  and  $L_\infty$  defined as follows;

$$L_2 = \|u - u_{nm}\|_2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_{ip}} |u_i - (u_{nm})_i|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_{ip}} |u_i|^2}}, \quad (1)$$

$$L_\infty = \|u - u_{nm}\|_\infty = \max_{0 < i < n_{ip}} |u_i - (u_{nm})_i| \quad (2)$$

have been used using Microsoft Excel VBA language.

Here  $n_{ip}$  is the number of inner points,  $u_i$  and  $(u_{nm})_i$  are

the exact and numerical solutions at the point  $i$ , respectively. The  $L_2$  and  $L_\infty$  error norms are computed by taking the values  $u_i$  and  $(u_{nm})_i$  at selected points obtained by dividing the region elements in the directions. As clearly seen from the formulae, the numerical solution becomes better as the number of points used increases.

### 3 Result and Discussion

Differences in the size of the nominal data and the deviations (Figures. 3,4) of the scanned data were compared with the results of the comparison of Polyjet and FDM samples with both AS<sub>m</sub> and P<sub>m</sub>. In order to test the accuracy and efficiency of the methods used in this manuscript, we have used the most commonly used error norms  $L_2$  and  $L_\infty$  given as;

$$L_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N |U_{exact} - U_{approx}|^2} \quad (3)$$

$$L_\infty = \max |U_{exact} - U_{approx}| \quad (4)$$

In Polyjet samples, while we have computed the error norms as  $L_2=1.722 \times 10^{-3}$  and  $L_\infty=0.2456$  for  $n=909$  measurements using AS<sub>m</sub>, we have computed the error norms as  $L_2=2.2374 \times 10^{-3}$  and  $L_\infty=0.803$  for  $n=898$  measurements using P<sub>m</sub>. In Polyjet samples, when we compare AS<sub>m</sub> and P<sub>m</sub>, we see that AS<sub>m</sub> gives better results all over the surface than P<sub>m</sub>. Also the former one has less maximum error norm than the later one.

In samples produced by FDM, again, we found out the error norms as  $L_2=6.48 \times 10^{-3}$  and  $L_\infty=0.0663$  for  $n=897$  measurements using AS<sub>m</sub>, we have found out the error norms as  $L_2=6.676 \times 10^{-3}$  and  $L_\infty=0.9939$  for  $n=901$  measurements using P<sub>m</sub>. In FDM samples, one can easily see that both AS<sub>m</sub> and P<sub>m</sub> give better results all over the surface, but the former one has relatively less maximum error norm than the later one.

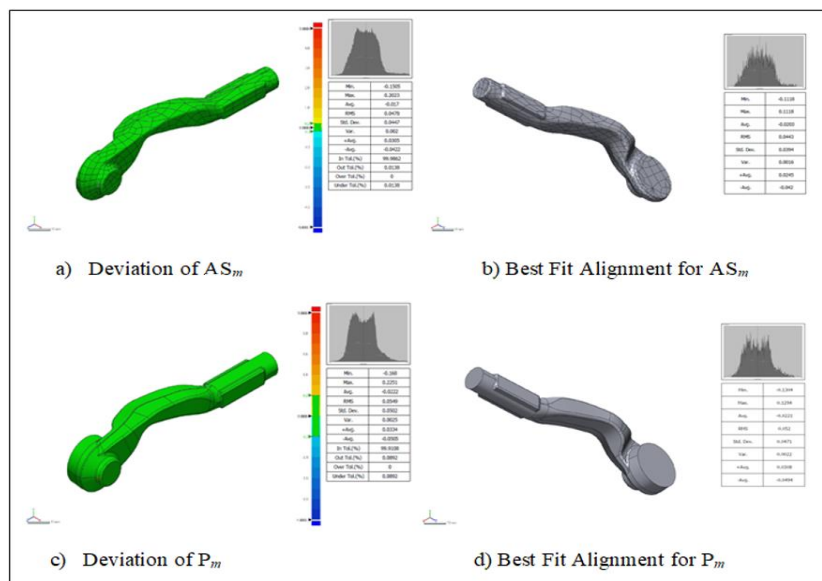


Figure 3. Deviation and Best Fit Alignment of the polyjet sample.

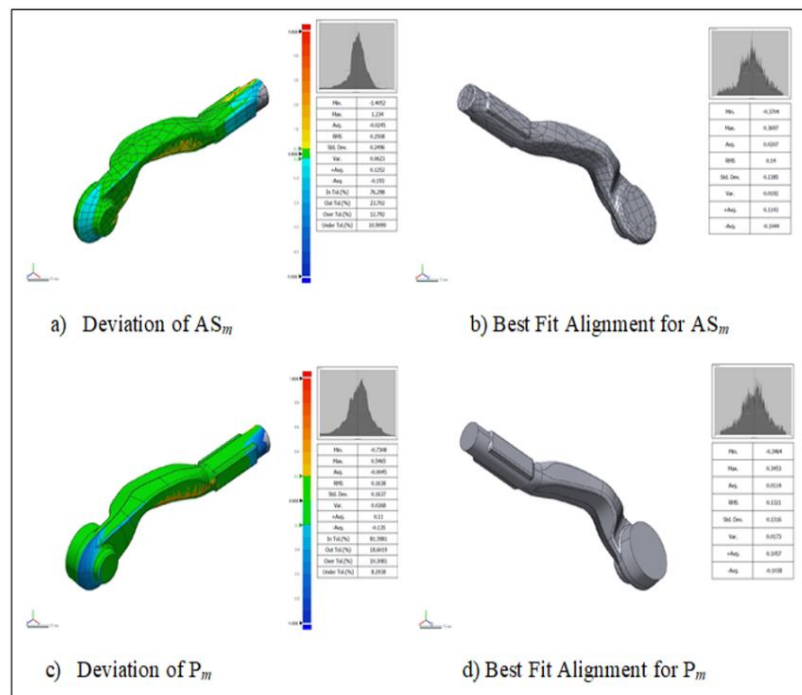


Figure 4. Deviation and Best Fit Alignment of the FDM sample.

## 4 Conclusion

The purpose of this study is to determine the effects of modeling method on dimensional accuracy and precision. The difference in the dimensions of the 3D models produced by Polyjet and FDM using AS<sub>m</sub> and P<sub>m</sub> have been examined. According to the error analysis after the scanning of the component having cylindrical, plane and amorphous, the following results have been reached.

We have found out the maximum error made in each model. We have also calculated be replaced with we also calculate the overall error throughout the surfaces. According to those results, we conclude the following points.

- For samples produced by Polyjet, AS<sub>m</sub> can be preferred P<sub>m</sub> due to the fact that error norm  $L_2=1.722 \times 10^{-3}$  of the former one is less than that of the latter one  $L_2=2.2374 \times 10^{-3}$  and at the same time the error norm of the former one  $L_\infty=0.2456$  is also less than that of the latter one  $L_\infty=0.803$ .
- Again for samples produced by FDM, AS<sub>m</sub> can slightly be preferred P<sub>m</sub> due to the fact that error norm  $L_2=6.480 \times 10^{-3}$  of the former one is a little less than that of the latter one  $L_2=6.676 \times 10^{-3}$  and at the same time the error norm of the former one  $L_\infty=0.0663$  is quiet less than that of the latter one  $L_\infty=0.9939$ .
- We concluded that while modeling components having amorphous surfaces, AS<sub>m</sub> is preferred to P<sub>m</sub>.

## Acknowledgements

Thanks to the "Poligon Engineering/Istanbul" for their support.

## Declaration

Ethics committee approval is not required.

## References

- [1] Boschetto, A., Giordano, V., & Veniali, F. (2013). 3D roughness profile model in fused deposition modelling. *Rapid Prototyping Journal*, 19(4), 240-252.
- [2] Dietricha, C.A., Enderb, A., Baumgartner, S., & Mehd, A. (2017). A validation n study of reconstructed rapid prototyping models produced by two Technologies. *Angle Orthodontist*, 87(5), 782-786.
- [3] Mallepre, T., & Bergers, D. (2009). Accuracy of medical RP models. *Rapid Prototyping Journal*, 15(5), 325-332.
- [4] Johnson, W.M., Rowell, M., Deason, B., & Eubanks, M. (2014). Comparative evaluation of an open-source FDM system. *Rapid Prototyping Journal*, 20(3), 205-214.
- [5] Armillotta, A., Bianchi, S., Cavallaro, M., & Minnella, S. (2017). Edge quality in fused deposition modeling: II. experimental verification. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), 686-695.
- [6] Cheng, L., Zhang, P., Biyikli, E., Bai, J., Robbins, J., & To, A. (2017). Efficient design optimization of variable-density cellular structures for additive manufacturing: theory and experimental validation. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), 660-677.
- [7] Anwer, N., & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 65(1), 165-168.
- [8] Van Eijnatten, M., Berger, F.H., De Graaf, P., Koivisto, J., Forouzanfar, T., & Wolff, J. (2017). Influence of CT parameters on STL model accuracy. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), 678-685.
- [9] Chiu, S.-H., Chen, K.-T., Wicaksono, S.T., Tsai, J.-R., & Pong, S.-H. (2015). Process parameters optimization for area-forming rapid prototyping system. *Rapid Prototyping Journal*, 21(1), 70-78.
- [10] Aroca, R.V., Ventura, C.E.H., De Mello, I., & Pazelli, T.F.P.A.T. (2017). Sequential additive manufacturing: automatic manipulation of 3D printed parts. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), 653-659.
- [11] Anwer, N., Schleich, B., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2014). From solid modelling to skin model shapes: Shifting paradigms in computer-aided tolerancing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(1), 137-140.

- [12] De Villiers, H., Van Zijl, L., & Niesler, T. (2015). High-level Rapid Prototyping of Graphical Models, *Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference*, (pp.130-135).
- [13] Doubenskaia, M., Grigoriev, S., Zhirnov, I., & Smurov, I. (2016). Parametric analysis of SLM using comprehensive optical monitoring. *Rapid Prototyping Journal*, 22(1), 1-20.
- [14] Wang, J., & Yu, Z. (2011). Quadratic curve and surface fitting via squared distance minimization. *Computers & Graphics*, 35(6), 1035-1050.
- [15] Schleicha, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzacka, S. (2014). Skin Model Shapes: A new paradigm shift for geometric variations modelling in mechanical engineering. *Computer-Aided Design*, 50, 1-15.
- [16] Pattnaik, S., Jha, P.K., & Karunakar, D.B. (2013). A review of rapid prototyping integrated investment casting processes. *Proc IMechE Part L: J Materials: Design and Applications*, 228(4), 249-277.
- [17] Salmi, M., Paloheimo, K.S., Tuomi, J., Wolff, J., & Mäkitie, A. (2013). Accuracy of medical models made by additive manufacturing. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 41(7), 603-609.
- [18] Majstorovic, V., Trajanovic, M., Vitkovic, N., & Stojkovic, M. (2013). Reverse engineering of human bones by using method of anatomical features. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 62(1), 167-170.
- [19] Stark, R., Grosser, & H., Müller, P. (2013). Product analysis automation for digital MRO based on intelligent 3D data acquisition. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 62(1), 123-126.
- [20] Isa, M.A., & Lazoglu, I. (2017). Design and analysis of a 3D laser scanner. *Measurement*, 111, 122-133.
- [21] Molleda, J., Usamentiaga, R., Garcí'a, D.F., Bulnes, F.G., Espina, A., Dieye, B., & Smith, L.N. (2013). An improved 3D imaging system for dimensional quality inspection of rolled products in the metal industry. *Computers in Industry*, 64(9), 1186-1200.
- [22] Popov, I., Onuh, S., & Dotchev, K. (2010). Dimensional error analysis in point cloud-based inspection using a non-contact method for data acquisition. *Measurement Science and Technology*, 21(7), 1-8.
- [23] Isheil, A., Gonnet, J.P., Joannic, D., & Fontaine, J.F. (2011). Systematic error correction of a 3D laser scanning measurement device. *Optics and Lasers in Engineering*, 49(1), 16-24.
- [24] Xi, F., Liu, Y., & Feng, H.Y. (2001). Error Compensation for Three-Dimensional Line Laser Scanning Data. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 18(3), 211-216.
- [25] Wang, Y., & Feng, H.Y. (2014). Modeling outlier formation in scanning reflective surfaces using a laser stripe scanner. *Measurement*, 57, 108-121.
- [26] Wang, Y., & Feng, H.Y. (2016). Effects of scanning orientation on outlier formation in 3D laser scanning of reflective surfaces. *Optics and Lasers in Engineering*, 81, 35-45.
- [27] Besic, I., Van Gestel, N., Kruth, J.P., Bleys, P., & Hodolic, J. (2011). Accuracy improvement of laser line scanning for feature measurements on CMM. *Optics and Lasers in Engineering*, 49(11), 1274-1280.
- [28] Iuliano, L., Minetola, P., & Salmi, A. (2010). Proposal of an innovative benchmark for comparison of the performance of contactless digitizers. *Measurement Science and Technology*, 21(10), 1-13.
- [29] Feng, H.-Y., Liu, Y., & Xi, F. (2001). Analysis of digitizing errors of a laser scanning system. *Precision Engineering Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, 25(3), 185-191.
- [30] Zhang, Y., Zhong, D., Wu, B., Guan, T., Yue, P., & Wu, H. (2018). 3D Parametric Modeling of Complex Geological Structures for Geotechnical Engineering of Dam Foundation Based on T-Splines. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33(7), 545-570.
- [31] Borrmann, A., Kolbe, T.H., Donaubaue, A., Steuer, H., & Jubierre, J.R. (2015). Multi-Scale Geometric - Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263-281.
- [32] Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L., Lapini, A., & Volpe, Y. (2018). Reverse Engineering of Mechanical Parts: A template-based Approach. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(2), 145-159.



## EFFECT OF UNIT CELL HEIGHT ON THE BALLISTIC PERFORMANCE OF THE BODY-CENTERED LATTICE STRUCTURES

Oktay Kaya<sup>1</sup> , Hakan Hafizoğlu<sup>2</sup> , Nazim Babacan<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Sivas University of Science and Technology, Sivas 58140, Turkey

<sup>2</sup>TUBITAK Defense Industries Research and Development Institute, P.K. 16 06261 Mamak, Ankara, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Lattice structures, produced by metal additive manufacturing technology, can be a potential alternative in armor applications, which are important parts of defense technologies due to their shock wave damping, energy absorption and light-weight properties. Despite the fact that the protection of metal lattice structures against explosives has been frequently investigated in the literature, their perforation performance is rarely studied. In this research, numerical ballistic penetration tests were carried out with Johnson-Cook strength and failure model parameters by using LS-DYNA software. AlSi10Mg alloy was chosen as a lattice material, which has high energy absorption ability. Both width and length were chosen as 4 mm for the body-centered lattice structure, while eight different cell height (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 15 mm) were used as unit cell parameters. The results show that the ballistic performance of lattice structures could be improved by optimizing the unit cell height for the body-centered lattice structures.

**Keywords:** AlSi10Mg, ballistic, energy absorption, lattice structure, LS-DYNA.

### 1 Introduction

Ballistic performance of the materials against rapidly penetrating objects has long been a significant research topic. Composite structures, ceramics, polymers, metal alloys such as titanium, steel, aluminum, are generally preferred in armor designs individually or in combinations. These materials have some advantages over each other according to the usage area. Low-density aluminum alloys are substantially used in the applications where the weight is a crucial design criterion. For example, it is known that 5083 aluminum alloy, which exhibits successful properties in terms of ballistic performance, is used as an armor element in the M113 personnel vehicle [1] and 2139 aluminum alloy is utilized in the CAMEL armored vehicle in a similar manner [2].

The researchers have been generally focused on the ballistic perforation performance of the plate-shaped alloys up to date [3-6]. One of the important reasons for this preference is that the production techniques used until the last decade did not allow manufacturing of complex parts. The production of alloys with a much more complex structure has become possible with the additive manufacturing method that has emerged in recent years. Unlike the traditional methods, additive manufacturing enables the production of cellular materials with complex geometries owing to its layer-based production technique. For example, open-cell structures, which are called "lattice structures", consisting of struts with a diameter of several hundred microns, can be easily produced by this technology. AlSi10Mg alloy is one of the most produced

aluminum alloys by additive manufacturing today, and it is one of the few alloys that is widely produced with selective laser melting (SLM) [7].

Among other metal additive manufacturing processes, SLM stands out with its design flexibility, short production cycle, high geometric accuracy, relatively low production costs, and ability to form suitable microstructures. Layer-wise production occurs by melting each layer with laser in a bed of metal powder in SLM. Li et al. [8] demonstrated the superiority of AlSi10Mg lattice structures manufactured by SLM in absorbing energy to a degree that reaches the level of titanium alloy lattice structures.

It has been determined that lattice structures absorb and distribute the dynamic effect quite well and that these structures can be successfully applied in passive protection systems [9]. However, so far, the number of the scientific studies related with the ballistic perforation resistance of the lattice structures is quite limited. Hassanin et al. [10] numerically compared the energy absorption capacity of the plate-shaped and auxetic lattice-structured Ni-Ti alloys and they found that energy absorption per mass of the lattice structure is approximately two times higher than that of the bulk structure. On the other hand, there is no published work on the ballistic performance of the body-centered cubic whose dynamic energy absorbing performance were substantially investigated by the researchers and found to be encouraging [11].

Besides the lattice type, factors such as cell dimensions are critical in terms of mechanical

\* Corresponding author.

E-mail address: nazimbabacan@sivas.edu.tr (N. Babacan)

Received 06 January 2022; Received in revised form 22 February 2022; Accepted 21 March 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1054219>

performance of the lattice geometries. The variation of each parameter may cause the material to behave differently in terms of ballistic performance [12]. In this study, lattice structures with different body-centered unit cell dimensions (cubic or tetragonal) were designed in order to investigate the effects of the unit cell height on the ballistic performance. Numerical perforation tests were conducted, and the residual velocity of the projectiles were compared for the different designs. Therefore, the most protective body-centered structure among these designs in terms of the perforation resistance were revealed as a result of this study.

## 2 Materials and Method

The ballistic numerical simulations were done in an explicit solver of the non-linear finite element method, LS-DYNA, which is suitable for modelling ballistic problems [13]. Strength and damage evolution for ductile materials were modeled with Johnson Cook material model (MAT\_15) [14]. The Eqs. (1)-(3) show the fracture criteria, damage parameters and failure damage, respectively. Johnson Cook material model have some essential properties like simulating von Mises plasticity, initial yielding, linear elasticity, strain hardening, strain-rate hardening, damage evolution and fracture [15]. The model calculates equivalent stress ( $\sigma$ ) with using of temperature ( $T$ ), strain rate ( $\dot{\epsilon}$ ) and strain ( $\epsilon$ ) parameters as presented in Eq. (1):

$$\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}, T) = [A + B\epsilon^n] \left[ 1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{ref}} \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

$A$ ,  $B$ ,  $n$  parameters refer to yield stress at reference strain rate, strain hardening parameter and strain hardening exponent, respectively. While  $C$  is strain rate sensitivity,  $m$  represents the temperature exponent.  $T_0$ ,  $T_m$  are reference and melting temperatures, respectively and  $\dot{\epsilon}_{ref}$  is the reference strain rate.

Fracture strain ( $\epsilon_f$ ) for Johnson-Cook material model is calculated with the stress triaxiality ( $\sigma^*$ ), strain rate ( $\dot{\epsilon}$ ) and temperature as given in Eq. (2):

$$\epsilon_f(\sigma^*, \dot{\epsilon}, T) = [D_1 + D_2 e^{D_3 \sigma^*}] [1 + D_4 \ln \dot{\epsilon}] \left[ 1 + D_5 \frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right] \quad (2)$$

where  $D_1 - D_5$  are empirical coefficients of the materials.

Damage evolution is zero while the material is exposed to elastic deformation. Damage evolves after some certain threshold of the accumulated plastic strain. The equation of Johnson Cook damage evolution is shown in Eq. (3) [13]:

$$\dot{D} = \begin{cases} 0, & \epsilon < p_d \\ \frac{D_c}{\epsilon_f - p_d} \dot{\epsilon}, & \epsilon \geq p_d \end{cases} \quad (3)$$

$p_d$  is the damage threshold,  $\epsilon_f$  is the fracture strain and  $D_c$  is the critical damage parameter. Solid bodies were defined with elements using nodes and meshes and every element has a damage value. If  $\dot{D}$  reaches to 1, the element is deleted and removed from simulation.

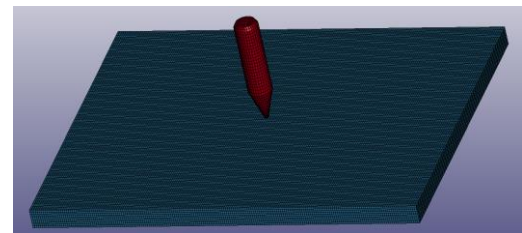
In this study, AlSi10Mg alloy produced by SLM method was used as target materials and 4340-H steel was selected as projectile material. Johnson–Cook strength and damage model parameters for AlSi10Mg [16] and 4340-H steel [17] were taken from the literature and tabulated in Table 1. Since the damage parameter was not added for steel, “EFFEPS” (maximum effective strain at failure) parameter was selected as 0.3 in the “MAT\_ADD\_EROSION” section of the model. Mie Grüneisen, one of Equation of State function, for AlSi10Mg were also adapted from [17] which was originally used for modelling 7075-T6 aluminum alloy. Mie Grüneisen for steel was taken from [18]. Materials were assumed be isotropic, therefore the material response is equal in all directions.

**Table 1.** Johnson–Cook material and damage model parameters for AlSi10Mg and steel.

Material model parameters	AlSi10Mg [10]	4340-H Steel [11]
$A$	167 MPa	791 MPa
$B$	396 MPa	510 MPa
$n$	0.551	0.26
$C$	0.001	0.014
$m$	0.859	1.03
$D_1$	0	0
$D_2$	0.873	0
$D_3$	-0.449	0
$D_4$	0.00147	0
$D_5$	0.8	0

### 2.1 Numerical Modeling for Verification

Verification of the material model parameters was done by simulating the experimental perforation study performed by Kristoffersen et. al. [19]. Additively manufactured AlSi10Mg plates with a dimension of 100 x 80 x 5 mm<sup>3</sup> was exposed to AP 7.62 mm 4340-H steel bullets which was fired with initial velocities in the range of between 300 and 725 m/s. The finite element models of the projectile and the plate were presented in Figure 1.

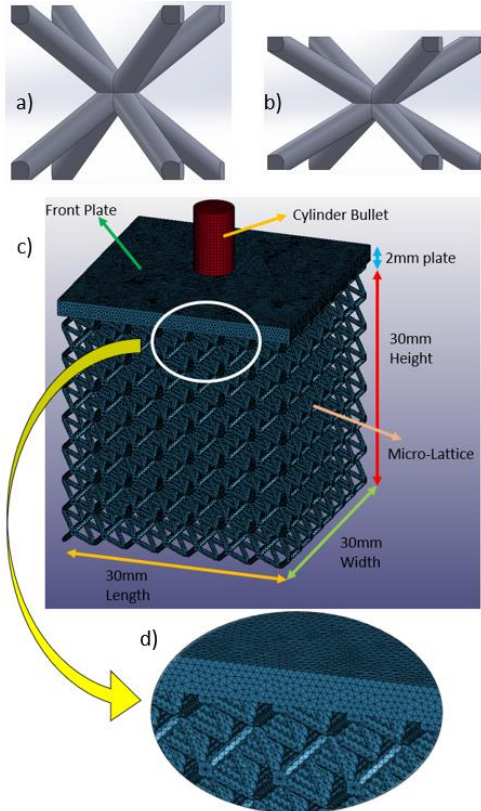


**Figure 1.** AP 7.62 bullet and AlSi10Mg plate numerical setup.

### 2.2 Modeling of the Lattice Structures

Lattice structures with body-centered unit cells were created in SolidWorks CAD system as target elements. Unit cell length and width of the designed lattice structures were chosen as 4 mm and cell heights of 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 15 mm were used to examine the effect of cell height. Therefore, cell aspect ratio which will be defined as unit cell height divided by the unit cell length or width was varied. The weight of all lattice samples was kept constant by adjusting the strut diameter of lattices. Target lattice structures were named by their unit cell dimensions. All the lattice structures were designed by

considering the total volume of  $30 \times 30 \times 30 \text{ mm}^3$ . Lattice material was selected as AlSi10Mg alloy. To improve the ballistic response of the lattice structures, a 2 mm AlSi10Mg plate was placed in front of the lattice structures where the first impact of the projectile occurs. Some of the modelled lattice unit cells as well as an example of entire lattice target were seen in Figure 2. A cylinder-shape 4340H steel with a diameter of 5 mm and a length of 8 mm was chosen as the projectile geometry. An initial velocity of 600 m/s was used for the projectile.



**Figure 2.** Geometry of the unit cells: (a) 4x4x4, (b) 4x4x3. (c) The numerical model of a target lattice structure with 4x4x4 unit cell dimensions with cylindrical projectile (d) mesh detail of the part shown with white color in (c).

Projectile was modelled with hexahedron elements, with an element size of  $0.8 \times 0.8 \times 0.8 \text{ mm}^3$  whereas the lattice structure was modelled with tetrahedron elements. The maximum tetrahedron element size was chosen as 0.4 mm after conducting a mesh dependency study. Each simulation model has totally approximately one million elements. The lattices were fixed from their bottom edge faces with a boundary condition. “ERODING\_SINGLE\_SURFACE” eroding algorithm was used with 0.2 static friction value. Hourglass type and Hourglass coefficient parameter were chosen as 4 and 0.1, respectively.

### 3 Results and Discussion

#### 3.1 Verification Study

An experimental study conducted by Kristoffersen et al. [19] was modelled to verify our numerical model. The residual velocity values of the AP7.62 bullets obtained from our numerical models were compared with the

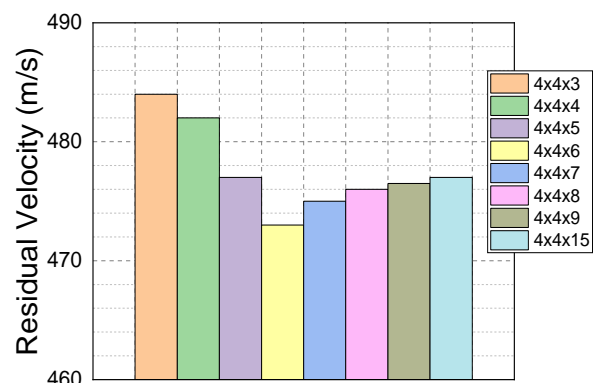
experimental values fitted by Recht–Ipson model [19] and this comparison was shown with the calculated numerical error values in Table 2. Low numerical values verify our ballistic model including Johnson-Cook material model parameters.

**Table 2.** Residual velocities after perforations.

Initial Velocity (m/s)	Residual Velocity [19] (m/s)	Residual Velocity (Our Result) (m/s)	Numerical Error (%)
725	689	680	1.31
600	556	553	0.54
450	389.5	391	-0.39
300	197.8	207	4.65
200	0	0	0

#### 3.2 Lattice Structure Study

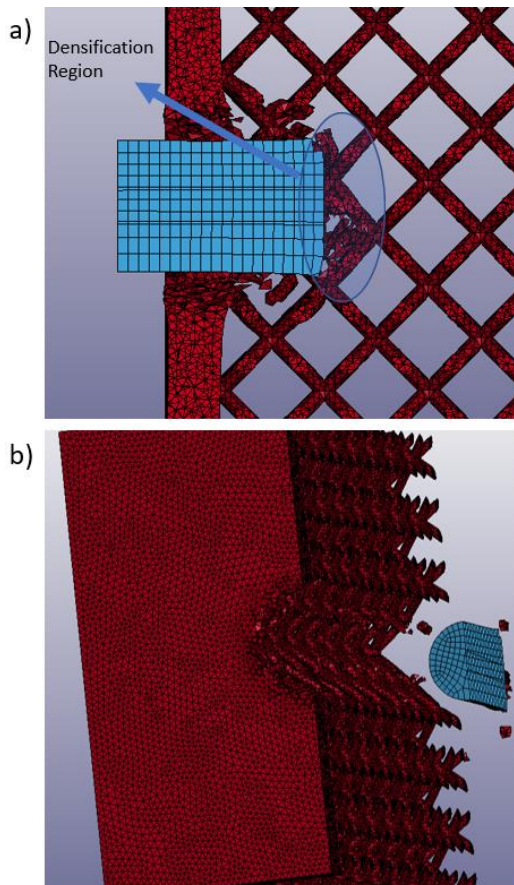
Numerical ballistic resistance of the lattice structures with different cell heights but in same weights were performed by means of perforation tests. Residual velocity values of the projectiles which has initial velocity of 600 m/s are shown in Figure 3 as a histogram. The residual velocities were obtained in the range of 473–484 m/s. Hence, the lattice structures with front thin-plates absorbed 34.9% to 37.8% of kinetic energy of the penetrator. It is seen that the residual velocity decreased continuously when the cell height was increased from 3 to 6 mm or in other words aspect ratio of the unit cell was increased from 0.75 (3/4) to 1.5 (6/4). Then, residual velocity slightly increased with increasing cell height from 6 to 9 mm as well as in 15 mm cell length as shown in Figure 3. It should be also stated that almost same residual velocity (477 m/s) was obtained for the 10 mm and 12 mm samples which were not included in the Figure 3. While the maximum residual velocity is at 4x4x3 geometry with 484 m/s, the minimum residual velocity was found at 4x4x6 geometry with 473 m/s. Even if the residual velocity difference seen in the different lattice structures seems to be relatively low, just modifying the one geometric parameter of the unit cell without changing the mass could lead to obtain more efficient lattice armor structure. The results also indicated that 6 mm cell height which corresponds to aspect ratio of 1.5 is the turning point of the deformation behavior for 4-mm body-centered structures. In addition, increasing the aspect ratio above value of 2 did not influence the ballistic behavior of the lattice structures prominently.



**Figure 3.** Residual velocities of the projectiles with initial velocity of 600 m/s after perforating the different lattice structures.

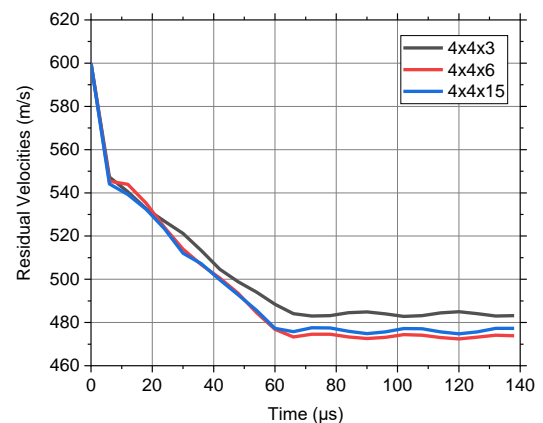
Section views of the 4x4x4 lattice structure and the projectile was presented in Figure 4 to illustrate the deformation behavior of the both structures during the penetration. The first interaction of the projectile on the lattice structure caused to a densification as seen in Figure 4 (a). The layers of the lattice structure tried to resist against to the projectile by getting closer as explained in the study of Hassanin [10] for the auxetic structures. It is also seen that AlSi10Mg target was deformed locally and the material has been subjected to local fractures in Figure 4 (b). As expected, there was not much deformation on the steel projectile, which is much harder than aluminum. It should be noted that deformation of the only one of the lattice structures was presented since there is no visible discrepancy between the deformation behavior of the different lattice structures.

Bai et al. [20] found that additively manufactured Ti-6Al-4V body-centered lattice structures with small aspect ratio have larger energy absorption capacity compared to those have larger aspect ratio as a result of the quasi-static tests. They attributed this result to the failure mode of the structures by changing the aspect ratio and they observed that lattice structure with a larger aspect ratio has more cracks, unlike to the counterparts which showed more stable mechanical response. However, an opposite trend was seen in this study for cell height in the 3-6 mm range and lattice structures with large aspect ratio absorbed more energy. This could be sourced from the difference of the deformation behavior of AlSi10Mg alloys than Ti-6Al-4V structures, as well as the difference of the dynamical response from the static response.



**Figure 4** The deformation of 4x4x4 lattice structure: a) during the first transition of the projectile from the front plate to the lattice structure b) after perforation.

The velocity change of the projectiles which penetrate three different lattice structures were shown in Figure 5 as a function of time. An initial rapid decline in the velocity for all the models takes place until the projectile passes the front plate. Afterwards, a further decrease in velocity but with lower slopes which corresponds to the interaction of the bullet with the lattice structure is observed for all numerical analyses. While the slopes of the velocity drop of the 4x4x6 and 4x4x15 are almost equal, it is lower for the 4x4x3 lattice structure. This stage shows the more successful performance of the 4x4x6 and 4x4x15 structures in terms of the ballistic performance. Moreover, it is observed that the penetrator completely pierced the lattice structures in approximately 80  $\mu$ m for all the numerical tests.



**Figure 5** Residual velocities of 4x4x3, 4x4x6 and 4x4x15 lattice structures with respect to time.

#### 4 Conclusion

In this study, ballistic performance of body-centered lattice structures which have different cell heights was investigated. Resistance against the penetration was improved by increasing the aspect ratio of the unit cell from 0.75 to 1.5. A further increase resulted in a decrease in ballistic performance. The minimum and maximum residual velocities were obtained at 4x4x6 and 4x4x3 lattice structures, respectively. The energy absorption difference of these structures was found to be approximately 8.3 %. The results show that the ballistic performance of lattice structures can be improved by optimizing the unit cell height parameter. Further research related to the effect of lattice geometry on the experimental ballistic performance is still under development.

#### Declaration

This study does not require ethics committee approval.

#### References

[1] Constellium awarded contract with TARDEC, the US army tank automotive research development and engineering center. *Constellium*. Retrieved November 30, 2018 from <https://www.constellium.com/news/2016/09/28/constellium-awarded-contract-tardec-us-army-tank-automotive-research-development-and>



- [2] Balos, S., Howard, D., Brezulianu, A., & Labus Zlatanović, D. (2021). Perforated plate for ballistic protection—A review. *Metals*, *11*(4), 526.
- [3] Luo, D., Wang, Y., Wang, F., Cheng, H., Zhang, B., & Zhu, Y. (2020). The influence of metal cover plates on ballistic performance of silicon carbide subjected to large-scale tungsten projectile. *Materials & Design*, *191*, 108659.
- [4] Flores-Johnson, E., Saleh, M., & Edwards, L. (2011). Ballistic performance of multi-layered metallic plates impacted by a 7.62-mm APM2 projectile. *International Journal of Impact Engineering*, *38*(12), 1022-1032.
- [5] Yunfei, D., Wei, Z., Yonggang, Y., & Gang, W. (2014). The ballistic performance of metal plates subjected to impact by projectiles of different strength. *Materials & Design*, *58*, 305-315.
- [6] Zhang, R., Qiang, L., Han, B., Zhao, Z., Zhang, Q., Ni, C., & Lu, T. J. (2020). Ballistic performance of UHMWPE laminated plates and UHMWPE encapsulated aluminum structures: Numerical simulation. *Composite Structures*, *252*, 112686.
- [7] Laurençon, M., De Rességuier, T., Loison, D., Baillargeat, J., Ngnekou, J. D., & Nadot, Y. (2019). Effects of additive manufacturing on the dynamic response of AlSi10Mg to laser shock loading. *Materials Science and Engineering: A*, *748*, 407-417.
- [8] Liu, X., Sekizawa, K., Suzuki, A., Takata, N., Kobashi, M., & Yamada, T. (2020). Compressive properties of Al-Si alloy lattice structures with three different unit cells fabricated via laser powder bed fusion. *Materials*, *13*(13), 2902.
- [9] Płatek, P., Sienkiewicz, J., Janiszewski, J., & Jiang, F. (2020). Investigations on mechanical properties of lattice structures with different values of relative density made from 316L by selective laser melting (SLM). *Materials*, *13*(9), 2204.
- [10] Hassanin, H., Abena, A., Elsayed, M. A., Essa, K. (2020). 4D Printing of NiTi Auxetic Structure with Improved Ballistic Performance, *Micromachines*, *11*(8), 745.
- [11] Sadeghi, H., Bhate, D., Abraham, J., & Magallanes, J. (2018). Quasi-static and dynamic behavior of additively manufactured metallic lattice cylinders. *AIP Conference Proceedings*, *1979*, 070029
- [12] Tancogne-Dejean, T., Spierings, A. B., & Mohr, D. (2016). Additively-manufactured metallic micro-lattice materials for high specific energy absorption under static and dynamic loading. *Acta Materialia*, *116*, 14-28.
- [13] Hafizoglu, H., Durlu, N., & Konokman, H. E. (2019). Effects of sintering temperature and Ni/Fe ratio on ballistic performance of tungsten heavy alloy fragments. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *81*, 155-166.
- [14] Børvik, T., Hopperstad, O. S., & Pedersen, K. O. (2010). Quasi-brittle fracture during structural impact of AA7075-T651 aluminium plates. *International Journal of Impact Engineering*, *37*(5), 537-551.
- [15] LS-Dyna Keyword User's Manual, vol. I. (2007). *Livermore Software Technology Corp.* Retrieved July 29, 2021 from [https://www.lstc.com/pdf/lstc-dyna\\_971\\_manual\\_k.pdf](https://www.lstc.com/pdf/lstc-dyna_971_manual_k.pdf)
- [16] Segebade, E., Gerstenmeyer, M., Dietrich, S., Zanger, F., & Schulze, V. (2019). Influence of anisotropy of additively manufactured AlSi10Mg parts on chip formation during orthogonal cutting. *Procedia CIRP*, *82*, 113-118.
- [17] Fras, T., Colard, L., & Pawlowski, P. (2015). Perforation of aluminum plates by fragment simulating projectiles (FSP). *The International Journal of Multiphysics*, *9*(3), 267-286.
- [18] Elshenawy, T., & Li, Q. (2013). Influences of target strength and confinement on the penetration depth of an oil well perforator. *International Journal of Impact Engineering*, *54*, 130-137.
- [19] Kristoffersen, M., Costas, M., Koenis, T., Brøtan, V., Paulsen, C. O., & Børvik, T. (2020). On the ballistic perforation resistance of additive manufactured AlSi10Mg aluminium plates. *International Journal of Impact Engineering*, *137*, 103476.
- [20] Bai, L., Gong, C., Chen, X., Zheng, J., Yang, J., Li, K., & Sun, Y. (2021). Heterogeneous compressive responses of additively manufactured Ti-6Al-4V lattice structures by varying geometric parameters of cells. *International Journal of Mechanical Sciences*, *214*, 106922.



## OBTAINING THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A PHOTOVOLTAIC ARRAY WITH DC-DC CONVERTERS

Koray Şener Parlak\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Firat University, Technical Vocational High School, Department of Electronics and Automation, Elazığ, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

With the increasing use of Photovoltaic modules in daily life, knowing the performance parameters of these modules has become important in terms of usage, design and efficiency studies. DC-DC converters are power electronics circuits used in almost the majority of photovoltaic systems. Since these circuits can also be used as a load emulator, they also offer the opportunity to obtain the electrical characteristic curves of photovoltaic modules. In this study, the electrical characteristics of a photovoltaic array are demonstrated using different types of DC-DC converters. The system was simulated in the Matlab-Simulink environment, and the results were examined both in uniform irradiation and in different partial shade scenarios. Then, it is explained how these characteristics can be used in maximum power point tracker methods by comparing them by considering the converter type used.

**Keywords:** Electrical characteristics, maximum power point, partial shading conditions, photovoltaics.

## DC-DC KONVERTÖRLER İLE BİR FOTOVOLTAİK DİZİNİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN ELDE EDİLMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Günlük hayatta fotovoltaik modüllerin kullanımının artmasıyla, bu modüllerin performans parametrelerinin bilinmesi kullanım, tasarım ve verimlilik çalışmaları açısından önemli hale gelmiştir. DC-DC konvertörler hemen hemen fotovoltaik sistemlerin çoğunda kullanılan güç elektroniği devreleridir. Bu devreler aynı zamanda bir yük emülatörü olarak da kullanılabilir olduğundan, fotovoltaik modüllerin elektriksel karakteristik eğrilerini elde etme amaçlı da kullanıma elverişlidir. Bu çalışmada bir fotovoltaik dizinin, farklı tip dc-dc konvertörler kullanılarak elektriksel karakteristiklerinin elde edilişi gösterilmiştir. Tasarlanan sistemin Matlab-Simulink ortamında benzetimi yapılarak, hem homojen ışıkta hem de farklı kısmi gölge senaryolarında analizi yapılmıştır. Ardından, elde edilen bu karakteristiklerin, kullanılan konvertör tipi de göz önüne alınarak, karşılaştırılmalı olarak maksimum güç izleyici yöntemlerinde nasıl kullanılabilirliği açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektriksel karakteristikler, fotovoltaik diziler, kısmi gölge koşulları, maksimum güç noktası.

### 1 Giriş

Fotovoltaik (Photovoltaic-PV) modüllerin elektriksel karakteristik eğrileri (akım-gerilim I-V ve güç-gerilim P-V), ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi değişen çevresel koşullarda modüllerin performansını ve kalitesini tanımlamak için önemli bir göstergedir. Bu karakteristikler, modülün çalışma noktaları ile kısa devre akımı (I<sub>sc</sub>), açık devre gerilim (V<sub>oc</sub>) ve maksimum güç noktası (MPP) gibi önemli parametreleri göstermektedir. Bu parametreler, bir PV sistemin tasarımında bilinmesi gereken bilgilerdir [1,2].

PV modüllerin elektriksel karakteristiklerini elde edebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu

yöntemlerden en basit olanı değişken direnç yöntemidir [3,4]. Bu yöntemde, PV modülün çıkışına bağlanan bir direncin değeri sıfırdan yaklaşık sonsuza kadar değiştirilip, modülün kısa devreden açık devre olana kadar çalışması sağlanır. Bu sırada modülün akım ve gerilim değerleri ölçülerek elektriksel karakteristikler elde edilir. Maliyeti oldukça düşük olmasına rağmen değişken direnç yönteminin yüksek güçlü PV dizilerine uygulanması zordur ve direncin adım adım değiştirilmesi zaman almaktadır. Ayrıca pürüzsüz bir eğri elde edebilmek için oldukça fazla sayıda direnç değişkeni kullanmak gerekir ki, bu da uygulamayı güçleştirmektedir [5].

Elektronik yük yönteminde, genellikle MOSFET olarak seçilen yarı iletken anahtarlama elemanı, PV

\* Corresponding author.

E-mail address: ksparlak@gmail.com (K. Ş. Parlak)

Received 09 December 2021; Received in revised form 11 March 2022; Accepted 25 March 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1034743>

modülün çıkışına bir yük gibi bağlanarak elektriksel karakteristikleri çıkarılabileceği gösterilmiştir [6-7]. Bu yöntemde anahtarlama elemana uygulanan modülasyon sinyali ile kapı-yayıcı (gate-source) gerilimi değiştirilirken, kanal akımı (Id) kontrol edilebilir. Böylelikle, uygulanan modülasyon sinyali ile PV diziden 0-Isc aralığında bir akım akması sağlanarak modülün elektriksel eğrileri elde edilebilmektedir. Burada PV diziden üretilen güç anahtarlama elemanında harcandığından, anahtarlama elemanının güç ve ısı kısıtlamalarından dolayı yüksek güçlerde çalışmaya olanak vermemektedir. Ayrıca anahtarlama elemanının doğrusal bir çalışma karakteristiği olmadığından, PV modül eğrilerinin bazı bölgelerinde yetersiz doğrulukta verilerin elde edilmesine neden olmaktadır [8,9].

“Dört Bölge Güç Kaynağı” olarak adlandırılan yöntemde, PV modüle bağlanan cihaz içinde bulunan gerilim kaynağının değeri ayarlanarak, modüle hem akım akıtan hem de akım çekebilen bir topoloji oluşturulmaktadır [10,11]. Bu gerilim kaynağının değeri, PV modülden 0-Isc aralığında akım çekilecek şekilde ayarlanarak modülün elektriksel karakteristikleri çıkarılabilmektedir. Cihazın içinde bulunan elektronik anahtarlama elemanlarının kontrolüyle elde edilen farklı gerilim değerleri ile PV modül farklı bölgelerde çalıştırılabilmektedir. Burada PV modülün elektriksel karakteristikleri birinci bölgede elde edilmektedir. Elektronik yük cihazlarının temelini oluşturan bu yöntemle, yakıt hücreleri ve bataryalar gibi diğer çeşitli doğru akım güç kaynakları da test edilebilmektedir. Maliyetinin yüksek olmasının yanında elektronik yük cihazı ile daha yüksek güç seviyelerinde ölçümler yapılabilmekte ve daha çok örnek ile elektriksel karakteristikler hızlı ve doğru bir şekilde çıkarılabilmektedir.

Sayısal çözümleme yöntemleriyle yapılan yapay zekâ tabanlı yöntemlerde, üretici firma tarafından verilen belirli parametreler ile PV hücreye ait denklemler çözdürülerek, panel/dizinin elektriksel karakteristikleri elde edilebilmektedir. Ancak bu çözümler, üzerinde işlem yapılan hücre/panele özgü olduğundan, farklı tipteki PV modüller için yeniden başlangıç parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Bu yöntemler donanımsal olmadığı için karakteristiği çıkarılacak PV dizinin bağlantı yapısının da algoritmaya veri girişi olarak verilmesini gerektirmektedir. Ayrıca bu yöntemlere ait algoritmaların karmaşıklığının yanı sıra, kısmi gölge şartlarındaki performansları yetersiz olabilmektedir [12-14].

PV dizinin çıkışına bağlanan bir kondansatörün şarj karakteristiği incelendiğinde, şarj süresi boyunca bağlı olduğu uçlara göre direnci  $0-\infty$  değişmektedir. PV modüle bir yük gibi bağlanan kondansatörün deşarjdan tam şarj olana kadar, modülden  $I_{sc}-0$  aralığında akım çekilmesi sağlanabilir. Dolayısıyla bu şarj süresi boyunca ölçülen akım ve gerilim parametreleri ile PV modülün elektriksel karakteristikleri elde edilebilmektedir [15]. Bu yöntemde, farklı güçlerdeki PV diziler ve yüksek bir eğri çözünürlüğü sağlayabilmek için kapasite bankları kullanılmaktadır. Buradaki farklı kapasitelerin devreye alınıp çıkarılması, elektronik anahtarların kontrolüyle sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem, fiziksel olarak

yüksek bir hacim gerektiren ölçüm standartlarını gerektirmektedir [16].

DC-DC konvertörlerin voltaj dönüşüm oranının değiştirilmesiyle elde edilen sanal bir direnç yükü ile PV dizinin elektriksel karakteristiklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır [17-19]. Bu voltaj dönüşümü, görev periyodu [0-1] arasında değiştirilerek yapılabilmektedir. Böylece konvertör, PV modülün çıkışında bir direnç emülatörü gibi çalışarak modülün elektriksel karakteristiklerinin elde edilebilmektedir. Farklı topolojideki dc-dc konvertörlerin görev periyodunun değişimi programlanarak, bir direnç yükü gibi emüle edilebilmektedir. Bu yöntemde konvertörün yükü, elektriksel karakteristiğin çıkarımını etkilediğinden, karakteristiklerin doğruluğunu arttırmak için bir dijital-analog dönüştürücü ile sistem yükünü ayarlanan metotlar geliştirilmiştir. Bu uygulamalarda konvertörün sürekli iletim modunda kalacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu elektronik anahtar nedeniyle oluşan akım ve gerilimde oluşan sıçrama ve dalgalanmalar bu yöntemin dezavantajıdır [20,21]. Bununla beraber yöntemin sadeliği, maliyeti ve pratik olarak uygulanabilirliği nedeniyle cuk tip dc-dc konvertörde yük optimizasyonu yapan bir algoritma ile PV dizinin elektriksel karakteristikleri çıkarabilen taşınabilir bir cihaz geliştirilmiştir [22].

Yukarıda açıklamaları yapılan ve literatürde bulunan elektriksel karakteristik çıkarım yöntemlerinin karşılaştırmaları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Elektriksel karakteristik çıkarım yöntemlerinin genel bir karşılaştırması.

Yöntem	Doğruluk	Tarama Hızı	Maksimum Güç	Çözünürlük
Direnç Yükü	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Kondansatör Yükü	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Elektronik Yük	Orta	Orta	Düşük	Orta
Dört Bölge	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
DC-DC Konvertör	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek

Bu çalışmada buck, boost ve cuk tip dc-dc konvertörün bir direnç yükü gibi emüle edilerek seri bağlı 4 panelden oluşan PV dizinin elektriksel karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Makalenin amaçlarından biri bu konvertör tiplerinin birbirleriyle olan farklarını gösterebilmektir.

Önerilen yöntemin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- DC-DC konvertörler, PV sistemlerin hemen hepsinde kullanılan devrelerdir. Karakteristikleri çıkarmak için bu devreler kullanılacağından, ilave herhangi bir donanıma ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Karakteristik eğrileri elde etmek için PV modülün parametrelerine ve dizinin bağlantı yapısıyla ilgili bir bilgiye ihtiyaç bulunmamaktadır.
- Bu yöntem, homojen ışımının yanı sıra kısmi gölge şartlarında da başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

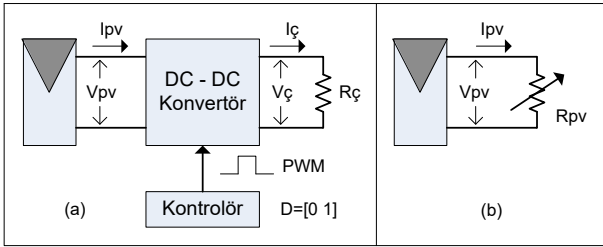
Bu avantajlar doğrultusunda yapılan çalışmanın bilimsel katkısı; eğrilen elde edilmesi ile dizinin o anki çevresel şartlardaki gerçek MPP’ye ait bilgiler de elde edildiğinden, yüksek verimli ve sade bir algoritmaya sahip

bir MPPT yönteminin geliştirilmesine olanak sağlamak olacaktır.

Bu çalışmada yapılan simülasyonlar hem homojen ışımada hem de farklı kısmi gölge senaryolarında gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen bu eğrilerin MPPT uygulamalarında nasıl kullanılabileceği irdelenmiştir.

## 2 DC-DC Konvertörün Bir Yük Olarak Emülasyonu

DC-DC konvertörlerin PV sistemlerde oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Bu alanlardan biri de, konvertörün değişken yük olarak emüle edilmesiyle PV dizinin elektriksel karakteristiklerinin elde edilmesidir. Şekil 1.a'da gösterildiği gibi, konvertör görev periyodunun (D) [0-1] aralığında değiştirilmesi ile PV modülün çıkışında değişken bir yük gibi davranmasını sağlanabilmektedir (Şekil 1.b). Bu çalışma durumunda konvertörün bir yük gibi emüle edilmiş olur ve PV modül çıkışının açık devreden kısa devre aralığında çalışmasına olanak sağlanır.



Şekil 1. (a) DC-DC konvertör ile PV modül elektriksel karakteristiğinin elde edilmesi. (b) Modül tarafından görülen eşdeğer direnç.

Herhangi bir dc-dc konvertör için akım ve gerilim için kazanç "G", şu şekilde tanımlanabilir [23]:

$$\frac{V_{\zeta}}{V_{pv}} = \frac{I_{pv}}{I_{\zeta}} = G \quad (1)$$

Konvertör çıkış gerilimi:

$$V_{\zeta} = R_{\zeta} \cdot I_{\zeta} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) birlikte kullanılarak denklem (3) şu şekilde elde edilebilir:

$$R_{pv} = \frac{V_{pv}}{I_{pv}} = \frac{R_{\zeta}}{G^2} \quad (3)$$

Denklem (3)'den görüldüğü gibi PV modülün çıkış direnci olan  $R_{pv}$ , konvertör kazancına bağlıdır. Dolayısıyla  $R_{pv}$ 'nin değişimi, seçilen konvertörün tipine göre değişiklik gösterecektir. Sürekli iletim modunda  $R_{pv}$ 'nin konvertör tipine göre olan fonksiyonu, Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Temel konvertör tipleri için D'ye bağlı  $R_{pv}$  fonksiyonları.

Konvertör Tipi	$R_{pv}$	$R_{pv}$ (D=0)	$R_{pv}$ (D=1)
Buck	$R_{\zeta}/D^2$	$\infty$	$R_{\zeta}$
Boost	$R_{\zeta}(1-D)^2$	$R_{\zeta}$	0
Buck-Boost, Cuk, SEPIC	$R_{\zeta}((1-D)/D)^2$	$\infty$	0

PV dizinin I-V veya P-V eğrilerinin tamamıyla taranabilmesi için, PV çıkış akımının, 0 ile kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) arasında değişmesi gerekir. Bir başka ifadeyle emüle edilen direncin, 0 dan sonsuza kadar değişmesi gerekir. Sadece buck-boost, cuk ve SEPIC topolojilerinin bu durumu sağladığı, Tablo 2'den görülmektedir.

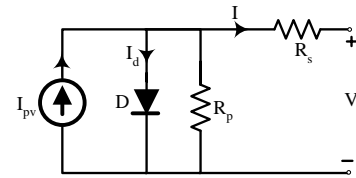
## 3 I-V ve P-V Eğrilerinin Elde Edilmesi ve Simülasyon Sonuçları

Bir PV panelin I-V ve P-V eğrilerini elde edebilmek için panelin birçok çalışma noktasına ait akım ve gerilim değerini elde etmek gerekir. Bu değerler panelin kısa devre konumundan açık devreye geçişi sırasında elde edilen verilerdir. Bu geçişi sağlamak için panelin beslediği yükü çok küçük dirençten ( $\sim 0$  ohm) çok yüksek dirence ( $\sim \infty$  ohm) kadar değiştirmek gerekir. Bu değişim esnasında PV sistemin akım ve gerilim çıkışları ölçülerek I-V ve P-V eğrileri çıkarılabilir. Yukarıda açıklandığı gibi bu direnç değişiminin benzetimi, dc-dc konvertörün görev periyodunu [0-1] aralığında değiştirerek sağlanabilir.

Bu çalışmada sırasıyla buck, boost ve cuk tip dc-dc konvertörlerin bir direnç yükü gibi benzetimi yapılarak, seri bağlı 4 PV panelden oluşan dizinin elektriksel karakteristik eğrileri elde edilecektir. Bu eğriler hem homojen ışımada hem de farklı kısmi gölge şartlarında gerçekleştirilecektir. Elde edilen eğrilerin doğruluğunu göstermek için bir kondansatörün PV dizinin çıkışına bağlanarak elde edilen eğriler referans alınarak karşılaştırılmıştır. Önceki bölümde açıklandığı gibi kondansatör bağlama yönteminde, bir kondansatörün PV dizinin çıkışına yük olarak bağlanarak, dizinin o anki ışımaya ve sıcaklık koşullarındaki elektriksel karakteristikleri çıkarılabilmektedir.

### 3.1 PV Hücre Modeli

Bu çalışmada, paralel direncin de dâhil edildiği tek-diyotlu - beş parametrelili PV devre modeli kullanılmıştır. Bu model, basitliği ve yüksek doğruluğa sahip olması nedeniyle oldukça sık tercih edilmektedir. Bir PV hücrelerin tek diyetolu model eşdeğer devresi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi.

Modelde verilen akım kaynağı ( $I_{pv}$ ), üretilen fotoelektrik akımına karşılık gelmektedir. Paralel direnç ( $R_p$ ) sızıntı akımını, seri direnç ( $R_s$ ) ise çıkıştaki gerilim düşümünü temsil etmek için kullanılır [24].

Denklem (4), bir PV hücrenin I-V karakteristiğini tanımlamaktadır.

$$I = I_{pv} - I_o \left[ \exp\left(\frac{V+R_s I}{V_{tA}}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_s I}{R_p} \quad (4)$$

Yukarıda verilen parametrelere ilave olarak (4) denkleminde ki diğer parametreler aşağıdaki gibidir:

A : Diyot idealite sabiti

$V_t$  : Jonksiyon termal gerilim sabiti

K : Boltzman sabiti ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  j/K°)

Q : Elektron yükü ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  C)

Oluşturulan olan bu model 5 parametrelili model olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde adlandırılmasının nedeni, modelin tanımlanabilmesi için  $I_{pv}$ ,  $I_o$ ,  $R_s$ ,  $R_p$  ve A parametrelerine olan ihtiyaçtan dolayıdır.

Akım kaynağından üretilen fotoelektrik akımının ( $I_{pv}$ ) değeri ışınma miktarı ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Akım kaynağı tarafından üretilen akım denklem (5) yardımıyla bulunmaktadır.

$$I_{pv} = \frac{G}{G_n} (I_{scn} + K_i(T - T_n)) \quad (5)$$

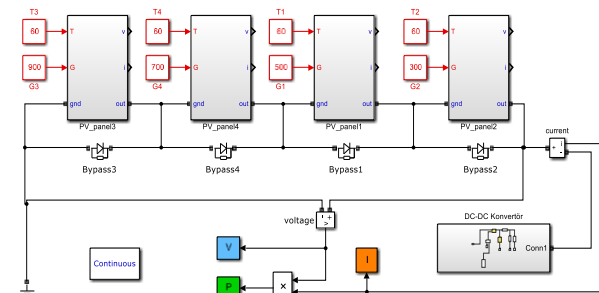
Burada  $I_{scn}$ , standart test şartlarındaki (STC-  $G_n = 1000$  W/m<sup>2</sup>,  $T_n = 25$  C° ve air mass (AM)=1.5) kısa devre akımıdır. T ve  $T_n$  ise sırasıyla gerçek ve nominal sıcaklık [K] değerleridir. G [W/m<sup>2</sup>] cihaz yüzeyine düşen ışınım miktarı,  $G_n$  ise nominal ışınım değeridir.  $K_i$  [A/K] sabiti kısa devre akımının sıcaklık katsayısı olup ürün kataloglarında verilmektedir. Denklem (4-5), diyot elektriksel karakteristik denklemi ve diğer PV hücre denklemleri, sayısal çözümlene teknikleri içinde kullanılarak, Matlab ortamında m-file olarak PV panel modeli oluşturulmuştur.

**Tablo 3.** Simülasyonda kullanılan PV panel parametreleri.

Maksimum güç (P <sub>MAX</sub> )	55 W
Maksimum güç noktasındaki gerilim (V <sub>MPP</sub> )	18.5 V
Maksimum güç noktasındaki akım (I <sub>MPP</sub> )	3.5 A
Açık devre gerilimi (V <sub>oc</sub> )	22.3 V
Kısa devre akımı (I <sub>sc</sub> )	3.85 A
Akımın sıcaklık katsayısı( $t_i$ )	2.0 mA/C°
Gerilimin sıcaklık katsayısı( $t_v$ )	-60.8 V/C°
Gücün sıcaklık katsayısı	-0.38 %/C°

### 3.2 Simülasyonlar

Matlab-Simulink ortamında buck konvertör ile yapılan simülasyon ait örnek bir görsel Şekil 3'de verilmiştir. Geliştirilen modelde sıcaklık ve ışınma değerleri her bir panele ayrı ayrı girilebilmektedir. Simülasyonlarda kullanılan konvertörlerin anahtarlama frekansları 10 KHz. olup devre parametreleri aşağıdaki Tablo 4'de verilmiştir.

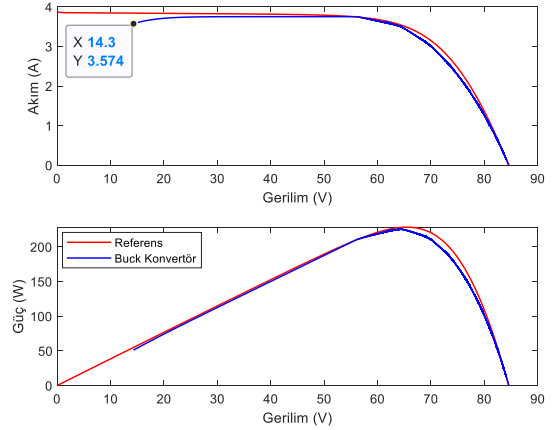


**Şekil 3.** Simulink ortamında yapılan simülasyona ait bir görsel.

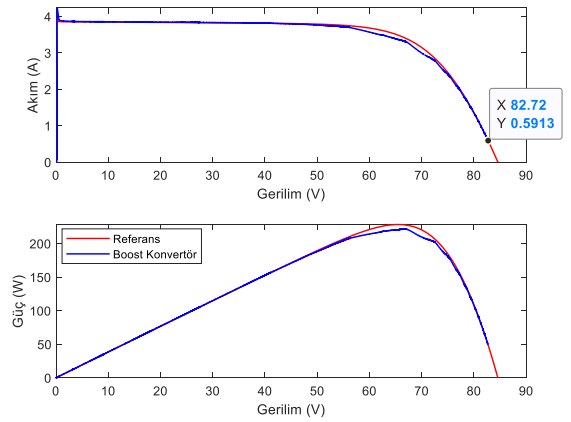
**Tablo 4.** Konvertörlerde kullanılan devre elemanlarının parametreleri.

Konvertör Tipi	L1 (H)	L2 (H)	C (µF)	Rç (Ω)
Buck	10m	-	100	4
Boost	5m	-	200	140
Cuk	10m	1m	100	20

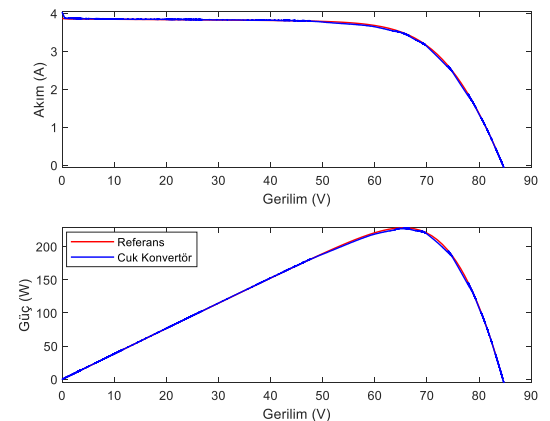
Simülasyonlar, PV panellere farklı ışınma değerleri ve 60° sabit sıcaklık değeri verilerek yapılmıştır. Kullanılan PV panellere ait kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç değerleri sırasıyla 3.7A, 21V ve 55W. dır. Şekil 4-15'de, PV dizinin farklı ışınmalar altında, I-V ve P-V eğrilerine ait simülasyon sonuçları verilmiştir.



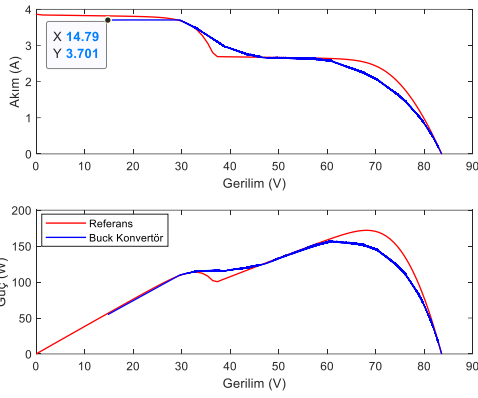
**Şekil 4.** (1000-1000-1000-1000) W/m<sup>2</sup> ışınmada buck konvertör ile elde edilen karakteristikler.



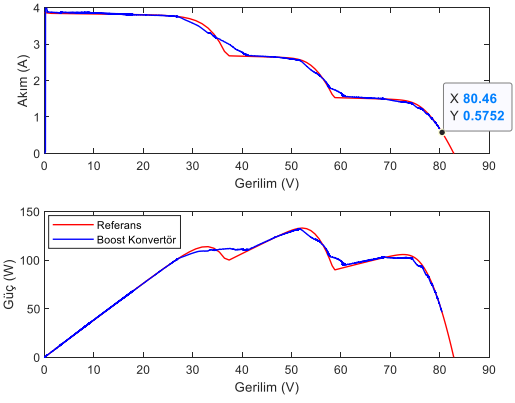
**Şekil 5.** (1000-1000-1000-1000) W/m<sup>2</sup> ışınmada boost konvertör ile elde edilen karakteristikler.



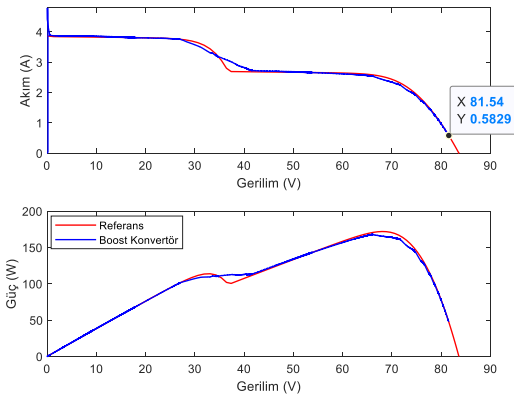
**Şekil 6.** 1000-1000-1000-1000) W/m<sup>2</sup> ışınmada cuk konvertör ile elde edilen karakteristikler.



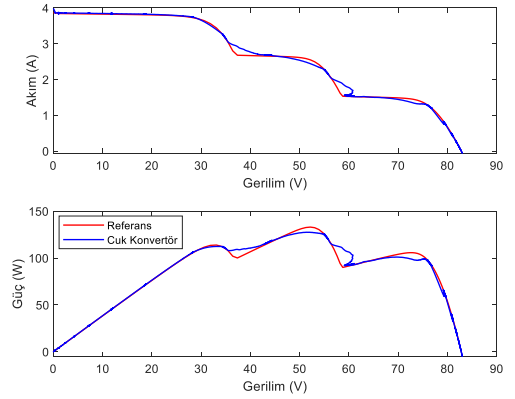
Şekil 7. (1000-1000-700-700) W/m<sup>2</sup> ışımada buck konvertör ile elde edilen karakteristikler.



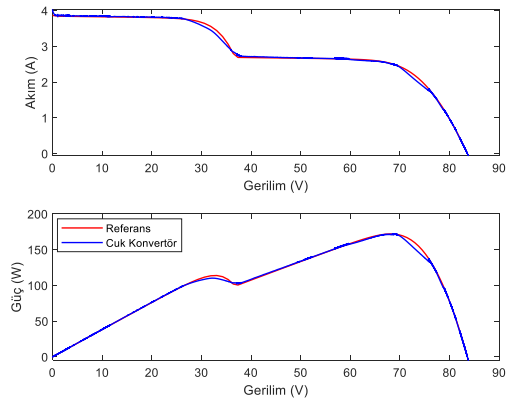
Şekil 11. (1000-1000-700-400) W/m<sup>2</sup> ışımada boost konvertör ile elde edilen karakteristikler.



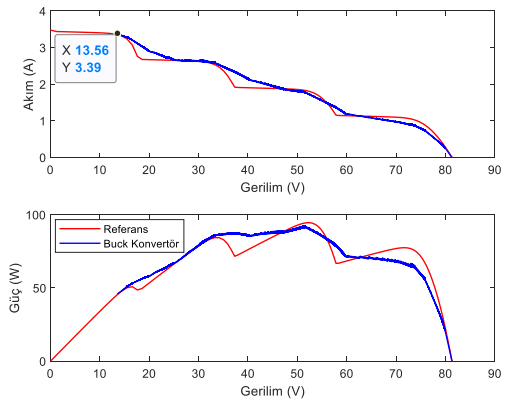
Şekil 8. (1000-1000-700-700) W/m<sup>2</sup> ışımada boost konvertör ile elde edilen karakteristikler.



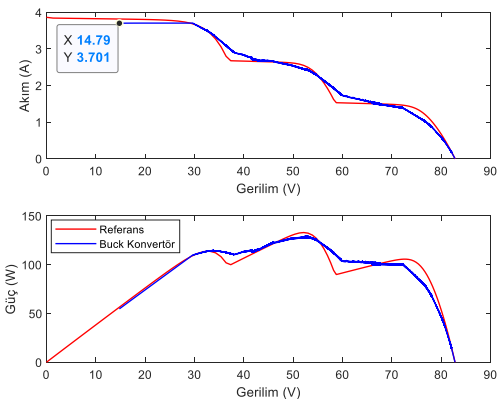
Şekil 12. (1000-1000-700-400) W/m<sup>2</sup> ışımada cuk konvertör ile elde edilen karakteristikler.



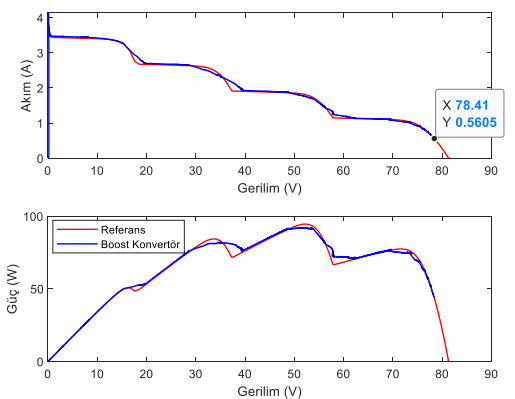
Şekil 9. (1000-1000-700-700) W/m<sup>2</sup> ışımada cuk konvertör ile elde edilen karakteristikler.



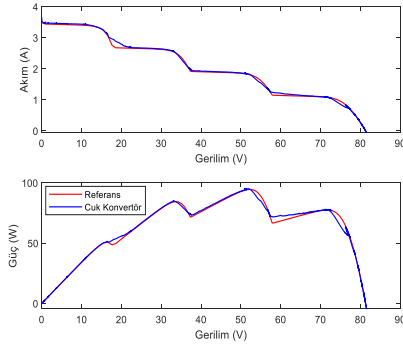
Şekil 13. (900-700-500-300) W/m<sup>2</sup> ışımada buck konvertör ile elde edilen karakteristikler.



Şekil 10. (1000-1000-700-400) W/m<sup>2</sup> ışımada buck konvertör ile elde edilen karakteristikler.



Şekil 14. (900-700-500-300) W/m<sup>2</sup> ışımada boost konvertör ile elde edilen karakteristikler.



Şekil 15. (900-700-500-300) W/m<sup>2</sup> ışımada cuk konvertör ile elde edilen karakteristikler.

Simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi, her üç tip konvertör ile elde edilen eğriler, referans eğrilerin bazı kısımlarından ayrılsa bile büyük ölçüde uyuşmaktadır. Ayrıışan bölgeler, kritik yerler olan MPP'lerde olmakla birlikte, yine de bu noktaları tanımlamaktadır.

Buck konvertör ile yapılan simülasyonlarda, Tablo 2' de belirtildiği gibi, PV dizinin yük direnci [ $R_{\text{ç}} - \infty$ ] aralığında olacak şekilde eğrilerin elde edildiği görülmektedir. Örneğin; Şekil 7'de, yük direnci  $4\Omega$  ( $14.79/3.701$ )'dan büyük çalışma noktaları için I-V ve P-V eğrileri çıkarılmıştır. Bilindiği gibi bir PV modülün çalışma noktası, I-V eğrisi ile yük eğrisinin kesiştiği yere karşılık gelmektedir.  $R_{\text{ç}}$ 'dan küçük yük direnci bölgesinde eğri elde edilemese bile, MPP'ler bu bölge içinde oluşmamaktadır. Bununla beraber, PV dizi içindeki seri bağlı modül sayısı ve dizinin bu seri bağlı kısımlarına düşen ışımaya çeşitliliğine bağlı olarak MPP sayısı oluşacağından, Buck konvertör için yük direnci en fazla 0.8-0.9.Voc(modül) olarak seçilmelidir. Bilindiği gibi, eğri üzerinde oluşan MPP'ler, ışımaya çeşitliliğine göre bu nokta ile 0.8-0.9.Voc(modül) gerilim değeri arasında oluşmaktadır. Bu seçim, eğri üzerindeki bütün MPP'lerin gösterilebileceği elektriksel karakteristiği elde edebilmek için önemli bir kriterdir.

Boost konvertör ile ilgili şekillerden görüldüğü gibi I-V ve P-V eğrileri, PV dizinin yük direnci [ $0 - R_{\text{ç}}$ ] aralığında elde edilmiştir. Örneğin; Şekil 14'de, yük direnci  $140\Omega$  ( $78.41/0.5605$ )'dan küçük değerler için bu eğriler çıkarılmıştır. Yine bu konvertör tipinde de bütün ışımaya değerlerinde oluşan MPP'ler, eğriler üzerinde tanımlanabilmiştir. Bu konvertör uygulamasında yük direncinin, en az 0.8-0.9.Voc(dizi)'ye olacak şekilde seçilmesi gerekir. Bu seçim, her türlü ışımaya altında eğri üzerindeki bütün MPP'leri göstermeyi garanti edecektir.

Şekil 6, 9, 12 ve 15'de gösterildiği gibi cuk konvertör ile ilgili sonuçlarda, elektriksel karakteristik eğrilerinin tamamının elde edilebildiği görülmektedir. Dolayısıyla konvertörün yük direncine bağlı olmaksızın her türlü ışımada, hiçbir MPP'yi kaçırmaması söz konusu değildir. Ayrıca bu konvertör tipinde elde edilen eğriler, referans eğrilerine daha yakınsadığı görülmektedir. Bununla beraber cuk konvertörler, diğerlerine göre daha maliyetli olduğu göz önünde tutulmalıdır.

Tablo 2'den ve simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi elektriksel karakteristikler, kullanılan konvertör tipine göre biraz değişkenlik göstermektedir. Buck ve boost konvertör kullanımında yük direncine bağlı olarak karakteristik eğrilerin bir kısmı çıkarılmamaktadır. Eğer konvertör yük direnci eğrilerin büyük bir bölümünü elde

edecek değerde değilse ve önemli noktalar olan bütün MPP'leri bulabilmek amacıyla, bu eğrilerin çıkarımı sırasında uygun değerli bir direnç ile anahtarlama yapılarak, bu problemin önüne geçilebilir.

#### 4 MPPT Uygulamalarında Karakteristik Eğrilerin Kullanımı

PV dizinin elektriksel karakteristiklerinin çıkarılmasının en önemli katkısı, burada elde edilen verilerin kullanılmasıyla MPPT'nin gerçekleştirilebilmesi olacaktır. Çünkü bu veriler içinde, gerek homojen ışımaya gerekse kısmi gölge şartlarında dizinin bütün MPP'ler arasında gerçek MPP'ye ait güç ve gerilim bilgileri yer almaktadır. Dolayısıyla PV dizi bu gerilim noktasında çalıştırılarak, diziden o anki ışımaya ve sıcaklık şartlarında azami güç çekilmesi sağlanabilecektir.

Bir akü veya elektrik motorunun PV dizi tarafından beslendiği uygulamalarda MPPT olarak genellikle Buck veya Boost konvertörler kullanılmaktadır. PV sistem yükün akü/motor olduğunda, yük direnci şarj/yüklü çalışma esnasında değişeceğinden, yük direncinin karakteristik eğrileri elde ederken oluşturabileceği olumsuz etkilerin önüne geçmek için, eğrilerin elde edilmesi esnasında yukarıda anlatıldığı gibi uygun değerli bir direnç ile anahtarlama yapılabilir. (Akü uygulamaların bazılarında MPPT yerine akü şarj algoritmaları kullanılmaktadır).

Şebeke bağlantılı (on-grid) sistemlerde ise son yıllarda genellikle Buck-Boost topoloji tabanlı konvertörler kullanılmaktadır. Cuk konvertör ile ilgili simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi bu konvertörler ile yük direncinden bağımsız olarak elektriksel karakteristik eğrileri bütünüyle elde edilebilmektedir.

Simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi dc-dc konvertör kullanarak elde edilen elektriksel karakteristiklerde, ışımaya bağlı olarak MPP'ler gerçek değerlerinden biraz farklı çıkabilmektedir. Dolayısıyla buradan elde edilen verileri kullanarak gerçekleştirilecek bir MPPT uygulamasında, belli bir oranda verim kaybı yaşanması olasıdır. Bunun önüne geçmek için bu veriler, en kolay MPPT yöntemlerinden olan Değiştir&Gözle (Perturb&Observe - P&O) veya Arttırımsal İletkenlik (Incremental Conductance - InC) algoritmaları ile birlikte kullanılabilir [25-28]. Bilindiği gibi bu iki algoritmanın en önemli dezavantajı, kısmi gölgeleme durumunda gerçek MPP yerine yerel (lokal) MPP'yi bularak başarısız kalabilmesidir. Bunun nedeni algoritmanın, başlangıç şartlarında yerel MPP bölgesinde çalışarak, bu bölgenin en yüksek noktasını bulmasıdır. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile gerçek MPP çok keskin bir şekilde elde edilemese bile, gerçek ve yerel MPP'lerin ayrımı görülmektedir. Dolayısıyla gerçek MPP'ye ait gerilim değerinin başlangıç şartı olarak alındığı P&O veya InC yöntemi ile karmaşık olmayan bir algoritmaya sahip, sade bir donanım içeren ve kısmi gölge şartlarında bile oldukça başarılı bir MPPT yöntemi gerçekleştirilebilir.

#### 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı tip dc-dc konvertörler kullanılarak bir PV dizinin elektriksel karakteristik eğrilerinin çıkarılması ver bu eğrilerin karşılaştırılması

yapılmıştır. Eğri çıkarma işlemi konvertör görev periyodunun [0-1] aralığında adım adım değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, konvertör yük direncine bağlı olarak, Buck konvertör için 0 gerilim değerine yakın, Boost konvertör için ise Voc'ye yakın bölgeler hariç, PV dizinin I-V ve P-V eğrileri çıkarılmıştır. Cuk konvertör de ise, eğrilerin tamamı elde edilmiştir.

Eğriler pürüzsüz olmayıp bazı dalgalanmalara sahip olsa da, dizinin o anki ışımaya şiddeti altındaki (gerek homojen gerekse farklı kısmi gölge şartlarında) elektriksel karakteristikleri ve bu eğriler üzerindeki Isc, Voc ve MPP'ler hakkında yeterli bilgileri göstermektedir. Bu bilgiler dizinin bağlantı yapısı, tasarımı ve PV sistemlerde önemli bir konu olan MPPT yönteminin uygulaması konusunda önemli olacaktır.

## Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] García, M., Maruri J. M., Marroyo L., Lorenzo E., & Pérez M. (2008). Partial Shadowing, MPPT Performance and Inverter Configurations: Observations at Tracking PV Plants. *Progressive Photovoltaics*, 16, 529–536.
- [2] Durán, E., Andújar, J. M., Galán, J., & Sidrach-de-Cardona M. (2009). Methodology and Experimental System for Measuring and Displaying I-V Characteristic Curves of PV Facilities. *Progressive Photovoltaics*, 17, 574–586.
- [3] Malik, A. Q., Bin, S. J., & Damit, H. (2003). Outdoor testing of single crystal silicon solar cells. *Renewable Energy*, 28, 1433–1445.
- [4] Van, E. E., Gxasheka, A. R., & Meyer, E. L. (2005). Monitoring current-voltage characteristics and energy output of silicon photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 30, 399–411.
- [5] Amiry, H. (2018). Design and implementation of a photovoltaic I-V curve tracer: Solar modules characterization under real operation conditions. *Energy Conversion & Management*, 169, 206–216.
- [6] Willoughby, A. A. & Osinowo, M. O. (2018). Development of an electronic load I-V curve tracer to investigate the impact of Harmattan aerosol loading on PV module performance in Southwest Nigeria. *Solar Energy*, 166, 171–180.
- [7] Henni, O., Belarbi, M., Haddouche, K., & Belarbi, E. H. (2017). Design and implementation of a low-cost characterization system for photovoltaic solar panels. *Int. J. Renewable Energy Resources*, 7(4), 1586–1594.
- [8] Sahbel, A., Hassan, N., Abdelhameed, M. M., & Zekry, A., (2013). Experimental performance characterization of photovoltaic modules using daq. *Energy Procedia*, (36), 323–332.
- [9] Batista, V. L. J., Chenlo, F., & Afonso, J. L. (2012). Low-cost instrument for tracing current-voltage characteristics of photovoltaic modules. In: *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12)*. 1-5.
- [10] De Bias, M. A., Torres, J. L., Prieto, E., & Garcia, A. (2002). Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices. *Renewable Energy*, 25, 371–380.
- [11] Piliouguine, M., Carretero, J., & Sidrach-de-Cardona, M. (2011). Experimental system for current-voltage curve measurement of photovoltaic modules under outdoor conditions. *Progressive Photovoltaics*, 19, 591–602.
- [12] Feng, X., Qing, X., Chung, C. Y., Qiao, H., & Wang, X. A. (2016). Simple Parameter Estimation Approach to Modeling of Photovoltaic Modules Based on Datasheet Values. *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, 138, 051010.
- [13] Elyes, G., & Walid, F. (2019). Photovoltaic module parameters extraction using best-so-far ABC algorithm. *International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE)*, 1-5.
- [14] Mohammad, K., Shamsodin, T., Ana-Maria, C., Seyedkazem H., & Edris P. (2020). PSO-based modeling and analysis of electrical characteristics of photovoltaic module under nonuniform snow patterns. *IEEE Access*, 8, 197484-197498.
- [15] Parlak, K. (2020). Obtaining electrical characteristics of a PV module by FPGA based experimental system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 33128-33135.
- [16] Chen Z. (2018). A capacitor based fast I-V characteristics tester for photovoltaic. *Energy Procedia*, 145, 381-387.
- [17] Durán, E., Andújar, J., Enrique, J., & Pérez-Oria, J. (2012). Determination of pv generator IV/PV characteristic curves using a dc-dc converter controlled by a virtual instrument. *Int. J. Photoenergy*, 1-14.
- [18] Spiliotis, K., Yordanov, G., Van den Broeck, G., Goverde, H., Baert, K., & Driesen, J. (2017). Towards accurate, high-frequency IV curve measurements of photovoltaic modules applying electronic loads. In: *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 1561–1565.
- [19] Zhu, Y., & Xiao, W. (2020). A comprehensive review of topologies for photovoltaic I-V curve tracer. *Solar Energy*, 196, 346-357.
- [20] Zhu, Y. (2018). An adaptive IV curve detecting method for photovoltaic modules. In: *2018 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)*, 1–6.
- [21] Dian, S., Wen, X., Deng, X., & Zhang, S. (2014). Digital control of isolated cuk power factor correction converter under wide range of load variation. *IET Power Electronics*, 8, 142–150.
- [22] Thiago A. P., Lenon S., Walbermark M. S., Denizar C. M., & Roberto F. C. (2021). Design of a portable photovoltaic I-V curve tracer based on the dc-dc converter method. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 11(2), 552-560.
- [23] Durán, E., Galán, M., & Sidrach, A.J. (2009). Measuring the IV curve of photovoltaic generators-analyzing different dc-dc converter topologies. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4–14.
- [24] Hiren P., & Vivek A. (2008). MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics. *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 15, 302-310.
- [25] Zhu, W., Shang, L., Li, P., & Guo, H. (2018). Modified hill climbing MPPT algorithm with reduced steady-state oscillation and improved tracking efficiency. *The J. Engineering*, 17, 1878–1883.
- [26] Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., & Enjeti, P. N. (2011). High-performance adaptive perturb and observe MPPT technique for photovoltaic based microgrids. *IEEE Trans. Power Electronics*, 26(4), 1010–1021.
- [27] Elgendy, M. A., Zahawi, B., & Atkinson, D. J. (2013). Assessment of the incremental conductance maximum power point tracking algorithm. *IEEE Trans. Sustainable Energy*, 4(1), 108–117.
- [28] Tey, K. S., & Mekhilef, S. (2014). Modified incremental conductance algorithm for photovoltaic system under partial shading conditions and load variation. *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 61(10), 5384–5392.





## RECOGNITION OF POWER QUALITY EVENTS USING WAVELET TRANSFORM, K-NEAREST NEIGHBOR ALGORITHM AND GAIN RATIO FEATURE SELECTION METHOD

Düzgün Akmaz<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 62000-Tunceli, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

In this study, a method was applied to classify Power Quality (PQ) disturbance signals. In this method, a high accuracy classification success was aimed with a simple approach. In the method, Discrete Wavelet Transform (DWT) was applied to PQ signals containing noise and the signals were decomposed. Then, 80 different classification features were obtained by using different entropy values of the signals. The use of all these 80 features for classification leads to a longer training/testing time of the method. Therefore, it is necessary to determine the effective features between all classification features. In this study, 10 effective classification features were determined by the Gain Ratio (GR) feature selection method and K-Nearest Neighbor Algorithm (K-NN). K-NN was trained and tested with 10 determined classification features. The simulation results showed that the applied method was effective for classification. At the same time, the simulation results showed that 10 classification features determined by GR for the selected parameters provided a higher classification success in a shorter time than 80 classification features.

**Keywords:** Discrete wavelet transform, gain ratio feature selection method, K-nearest neighbour algorithm, power quality.

## GÜÇ KALİTESİ OLAYLARININ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ, K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASI VE KAZANÇ ORANI ÖZELLİK SEÇME YÖNTEMİ KULLANILARAK TANINMASI

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada Güç Kalitesi (GK) bozulumu sinyallerinin sınıflandırılması için bir yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemde basit bir yaklaşımla yüksek doğrulukta bir sınıflandırma başarısı amaçlanmıştır. Yöntemde, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), gürültü içeren GK sinyallerine uygulanarak sinyaller ayrıştırılmıştır. Daha sonra sinyallerin farklı entropi değerleri kullanılarak 80 farklı sınıflandırma özelliği elde edilmiştir. Bu 80 özelliğin hepsinin sınıflandırma için kullanılması yöntemin eğitim/test sürelerinin uzamasına yol açmaktadır. Bu yüzden bütün sınıflandırma özellikleri arasında etkili özelliklerin belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada Kazanç Oranı (KO) özellik seçme yöntemi ve K-En Yakın Komşu Algoritması (K-EYK) ile etkili 10 sınıflandırma özelliği belirlenmiştir. Belirlenen 10 sınıflandırma özelliği ile K-EYK eğitilmiş ve test edilmiştir. Benzetim sonuçları gerçekleştirilen yöntemin sınıflandırma için etkili olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda benzetim sonuçları seçilen parametreler için KO ile belirlenen 10 sınıflandırma özelliğinin, 80 sınıflandırma özelliğine göre daha kısa sürede daha yüksek bir sınıflandırma başarısı sağladığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrık dalgacık dönüşümü, kazanç oranı özellik seçme yöntemi, K-en yakın komşu algoritması, güç kalitesi.

### 1 Giriş

Günümüzde artan enerji ihtiyacı doğrultusunda birçok farklı enerji kaynağı güç sistemlerine dahil edilmektedir. Bu durum güç sistemlerindeki sinyallerin giderek bozulmasına ve düşük Güç Kalitesine (GK) neden olmaktadır. Düşük GK istenmeyen bir durum olup sistemdeki cihazlara zarar verebilmektedir. Bu doğrultuda birçok sinyal işleme yöntemi, özellik seçme metodu ve sınıflandırma algoritması GK sinyallerinin analizi için uygulanmıştır [1-4].

[1]'de Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve sinir ağları kullanılarak GK sinyalleri sınıflandırılmıştır. [2]'de Hiperbolik- Stocwell dönüşümü sinyal işleme aracı ve karar ağacı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. [3]'te Stocwell - dönüşümü/Varyasyon kip ayrıştırması sinyal işleme yöntemi ve destek vektör makineleri, GK bozulmalarının sınıflandırılması için kullanılmıştır. [4]'te Hilbert Huang dönüşümü ve ağırlıklı çift yönlü aşırı öğrenme makinesi, GK sinyallerinin sınıflandırılması için uygulanmıştır.

\* Corresponding author.

E-mail address: dakmaz@munzur.edu.tr (D. Akmaz)

Received 04 November 2021; Received in revised form 15 December 2021; Accepted 21 January 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1019012>

Aynı zamanda GK sinyallerinin sınıflandırılması için geliştirilen bazı çalışmalarda farklı özellik seçme yöntemleri de kullanılmıştır [2,3]. Özellik seçme yöntemlerinde birçok farklı sınıflandırma özellikleri arasında sınıflandırma için etkili özellikler seçilmektedir. Böylece daha az sınıflandırma özelliği ile etkili bir sınıflandırma yapılabilmektedir. [2]'de genetik algoritma, [3]'te sıralı ileri seçim/sıralı geriye doğru seçim ve Gram-Schmidt ortogonalleşmesi, özellik seçme yöntemi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada GK sinyallerinin sınıflandırılması için bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde ilk olarak ADD, gürültü içeren GK sinyallerine uygulanarak sinyaller ayrıştırılmıştır. Daha sonra sınıflandırma özelliklerini elde etmek için sinyallerin enerji, shannon, log enerji, standart sapma, norm, ortalama, çarpıklık ve basıklık entropi değerleri alınmıştır. Bu entropi değerlerinin alınması ile 80 farklı sınıflandırma özelliği elde edilmiştir. 80 farklı sınıflandırma özelliği arasından etkili sınıflandırma özelliklerini belirlemek için Kazanç Oranı (KO) özellik seçme yöntemi ve k-En Yakın Komşu (K-EYK) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaların kullanılması ile belirlenen 10 sınıflandırma özelliği ile en yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Benzetim sonuçları, seçilen parametreler için ADD sinyal işleme yöntemi, KO özellik seçme yöntemi ve K-EYK sınıflandırma algoritmasının başarılı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda benzetim sonuçları, 80 sınıflandırma özelliği yerine belirlenen 10 sınıflandırma özelliği kullanılarak daha yüksek bir sınıflandırma başarısı elde edildiğini göstermiştir.

Daha önce benzer parametrelerde ADD ve K-EYK yöntemi [5]'te GK bozulmuş sinyallerinin sınıflandırılması için uygulanmıştır. Fakat [5]'teki çalışmada yalnızca Shannon, Log enerji ve Norm entropi özelliklerinin uygulanan yöntemdeki başarısı incelenmiştir. Tamamlanan çalışmada herhangi bir özellik seçme yöntemi kullanılmamıştır. [5]'te 10 Shannon entropi değeri kullanılarak en yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Bu çalışmada ise 80 farklı sınıflandırma özelliği arasından KO yöntemi ile etkili olan 10 sınıflandırma özelliği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmadaki yöntemin sınıflandırma açısından [5]'teki yöntemden daha başarılı olduğu göstermiştir. Ayrıntılı karşılaştırma bölüm 5'te verilmiştir.

## 2 Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)

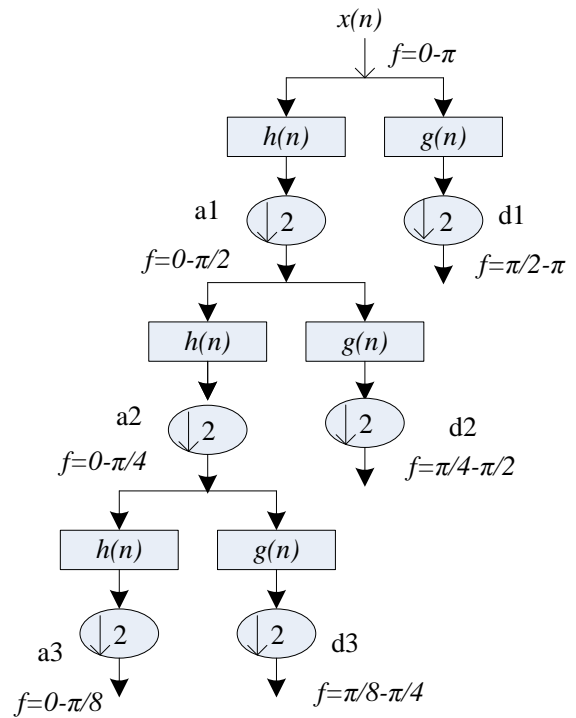
ADD, giriş sinyali  $f(k)$ 'nin frekans bandını ilgili düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayırmak için alçak geçiren  $h(k)$  ve yüksek geçiren  $g(k)$  filtreleri kullanır [6]. Alçak geçiren filtre  $h(k)$ , ölçekleme fonksiyonundan belirlenir. Yüksek geçiren filtre  $g(k)$ , hem dalgacık hem de ölçekleme fonksiyonlarından belirlenir. Dalgacık ve ölçekleme fonksiyonları sırasıyla şu şekilde verilmiştir [6]:

$$\psi(k) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \phi(2k - n) \quad (1)$$

$$\phi(k) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2k - n) \quad (2)$$

burada  $n$  bir tam sayıdır. Alçak geçiren filtreleme  $A_j$  yaklaşık katsayılarını üretirken, yüksek geçiren filtreleme ayrıştırmanın  $D_j$  detay katsayılarını üretir [6].

ADD çoklu çözünürlük analizi, orijinal sinyalin çeşitli çözünürlük seviyelerinde farklı sinyallere ayrıştırılması esasına dayanır. İlk olarak orijinal sinyal, alçak geçiren ve yüksek geçiren filtreden geçirilir. Böylelikle sinyalin yaklaşık ve detay katsayıları elde edilir. Daha sonra elde edilen yaklaşık sinyale tekrardan alçak ve yüksek geçiren filtreler uygulanarak sinyaller ayrıştırılır. Bu işlem, belirlenen ayrıştırma seviyesine göre tekrarlanır. Böylece sinyaller istenilen frekans aralıklarında incelenebilmektedir. Üç seviyeli ADD uygulaması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üç seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü

Burada

$$x(n) = a_1 + d_1 \quad (3)$$

veya

$$x(n) = a_2 + d_1 + d_2 \quad (4)$$

veya

$$x(n) = a_3 + d_1 + d_2 + d_3 \quad (5)$$

Her ne kadar Şekil 1'de üç seviyeli ADD yöntemi gösterilse de uygulamalara bağlı olarak farklı seviyelerde ADD uygulanabilmektedir.

## 3 K-En Yakın Komşu Algoritması

Veri madenciliğinde kullanılan sınıflandırma algoritmalarından biri de K-EYK algoritmasıdır. Bu algoritmanın amacı, test veri setinde yer alan ve sınıfı

bilinmeyen bir örneğin eğitim veri setindeki örneklere olan uzaklığını ölçerek sınıflandırmaktır. Bu sınıflandırıcılar, eğitim örneklerini depolar ve sınıflandırma zamanı gelene kadar gerçek bir iş yapmaz. Yöntemin dezavantajı, tüm eğitim veri setinin depolanması için geniş bir alana ihtiyaç duymasındır. Eğitim aşamasında herhangi bir yöntem uygulanmadığı için çoğunlukla gürültülü eğitim verileri, veri tabanını gereksiz yere artırır [7-8]. K-EYK, aynı uzaklık ölçüsünü kullanan k-en yakın komşu sınıflandırıcısıdır. En yakın komşuların sayısı nesne düzenleyicide açıkça belirtilebilir. En yakın komşuları bulma görevini hızlandırmak için farklı arama algoritmaları kullanılabilir. Kullanılan mesafe fonksiyonu, aramanın bir parametresidir. Öklit, Chebyshev, Manhattan ve Minkowski uzaklık ölçüleri olarak kullanılabilir [7].

#### 4 Kazanç Oranı Özellik Seçme Yöntemi

S, m farklı sınıfa sahip s veri örneklerinden oluşan bir küme olsun. Belirli bir örneği sınıflandırmak için beklenen bilgi şu şekilde verilir [9]:

$$I(S) = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (6)$$

burada  $p_i$  rastgele bir örneğin  $C_i$  sınıfına ait olma olasılığıdır. Entropi veya A'nın alt kümelere bölünmesine dayanan bilgi, şu şekilde verilir:

$$E(A) = -\sum_{i=1}^m I(S) \frac{S_{1i}+S_{2i}+\dots+S_{mi}}{s} \quad (7)$$

A üzerinde dallanma ile elde edilecek kodlama bilgisi,

$$Gain(A) = I(S) - E(A) \quad (8)$$

C4.5, aşağıda tanımlanan değeri kullanarak, bilgi kazancına normalleştirme uygulayan kazanç oranını kullanır:

$$SplitInfo_A(S) = -\sum_{i=1}^v (|S_i|/|S|) \log_2(|S_i|/|S|) \quad (9)$$

Yukarıdaki değer, eğitim veri seti S'nin, A özneliği üzerindeki bir testin v sonuçlarına karşılık gelen v bölümlerine bölünmesiyle üretilen bilgileri temsil eder [9]. Kazanç oranı şu şekilde tanımlanır [9]:

$$GainRatio(A) = Gain(A)/SplitInfo_{(S)} \quad (10)$$

En yüksek kazanç oranına sahip öznelik, bölme özneliği olarak seçilir.

#### 5 Benzetim Sonuçları

Bu çalışmada sinüs, gerilim çukuru (sag), gerilim tepesi (swell), harmonik (harmonic), geçici rejim gerilim bileşenleri (transient), gerilim kesintisi (interruption), gerilim çukuru ile harmonik (sag with harmonic), gerilim tepesi ile harmonik (swell with harmonic) ve gerilim kırışması (flicker) sinyalleri incelenmiştir. Yukarıda belirtilen 9 farklı GK sinyallerinin matematiksel denklemleri [10]'da tamamlanan çalışmadan alınmıştır.

Sentetik olarak üretilmiş olan sinyallerin parametreleri [10]'da belirtilen aralıklar içinde olup rastgele seçilmiştir. Tablo 1' de bu sentetik sinyallerin matematiksel denklemleri bulunmaktadır. Her bir GK olayı için 200 farklı benzetim gerçekleştirilmiştir. Toplamda 9 farklı GK sinyali için 1800 farklı arıza meydana gelmiştir. Bu 1800 GK olayının yarısı eğitim için, diğer yarısı ise test için kullanılmıştır. GK sinyalleri gerçekte gürültü barındıran bir yapıya sahiptir. Bu yüzden tüm GK sinyallerine 50dB değerinde gürültü eklenmiştir.

Çalışmada GK sinyallerinin örnekleme frekansı 12.8 kHz olarak seçilmiştir. Her bir GK sinyali, çoklu çözünürlük analizi ile 9 seviyeye ayrıştırılmıştır. Dokuz seviyeli çoklu çözünürlüklü bir ayrıştırma işlemi gerçekleştirilerek frekans bantları; 1. seviye için 12,8–6,4 kHz, 2. seviye için 6,4–3,2 kHz, 3. seviye için 3,2–1,6 kHz, 4. seviye için 1,6–0,8 kHz, 5. seviye için 800–400 Hz, 6. seviye için 400–200 Hz, 7. seviye için 200–100 Hz, 8. seviye için 100–50 Hz ve 9. seviye için 50–25 Hz aralığında seçilerek detay katsayısı sinyalleri incelenebilmektedir.

Çoklu çözünürlük analizi için Daubechies 4 (db4), ana dalgacık olarak kullanılmıştır. Bu 9 seviyeli ayrıştırmanın her bir GK sinyaline uygulanması sonucunda, 9 detay ve 1 yaklaşık sinyal olmak üzere toplamda 10 farklı sinyal elde edilmiştir. Sınıflandırma özelliklerini elde etmek için bu sinyallerin 8 farklı entropi (enerji, shannon, log enerji, standart sapma, norm, ortalama, çarpıklık ve basıklık) değerleri alınmıştır. Bu entropi değerlerinin matematiksel denklemleri Tablo 2' de gösterilmiştir

Böylece her bir GK sinyalinde sınıflandırma için 80 (10 farklı sinyal\*8 farklı entropi=80) farklı özellik elde edilmiştir. Sınıflandırma özellikleri elde edildikten sonra K-EYK algoritması ile GK olayları sınıflandırılmıştır. WEKA programı veri madenciliğinde ve farklı güç kalite çalışmalarında güncel olarak kullanılan bir programdır [11,12]. Bu yüzden, bu çalışmada K-EYK algoritması için WEKA programı kullanılmıştır. K-EYK algoritmasındaki en yakın komşu sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Uzaklık ölçüsü olarak ise öklid formülü kullanılmıştır. Tablo 3, 80 farklı sınıflandırma özelliği ve K-EYK algoritması ile elde edilen benzetim sonuçlarını göstermektedir.

Bu tablodan görüldüğü gibi 80 farklı sınıflandırma özelliği kullanıldığında test verisindeki başarı %89 olmuştur. WEKA programı sonuçları, modeli eğitim verileri üzerinde test etmek için geçen sürenin 0.19 sn olduğunu gösterirken, verilen test setinde modeli test etmek için geçen sürenin ise 0.28 sn olduğunu göstermiştir. Tablo 3, test başarısının eğitim başarısına göre daha düşük olduğunu göstermiştir.

Çalışmada kullanılan 80 sınıflandırma özelliklerinden bazıları sınıflandırma için gereksizdir. Bu gereksiz verileri elemek ve sınıflandırmada etkili özellikleri belirlemek için KO yöntemi eğitim verilerine uygulanmıştır. K-EYK algoritmasına benzer şekilde KO yöntemi için de WEKA programı kullanılmıştır. KO yöntemin belirlediği özellikler etki değerlerine göre sıralanmıştır. Belirlenen bu özellikler ve K-EYK algoritması kullanılarak sınıflandırma başarısı incelenmiştir. Eğitim ve test verisi için en az veri ile en yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmeye çalışılmıştır

**Tablo 1.** Güç kalitesi olaylarının matematiksel denklemleri.

Sınıf	Güç kalitesi	Güç kalitesi sinyallerinin matematiksel denklemleri	Parametreler
C <sub>1</sub>	Sinüs	$v(t)=\sin(\omega t)$	Frekans=50Hz
C <sub>2</sub>	Gerilim çukuru (Sag)	$v(t)=(1-\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2)))\sin(\omega t)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
C <sub>3</sub>	Gerilim tepesi (Swell)	$v(t)=(1+\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2)))\sin(\omega t)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
C <sub>4</sub>	Gerilim kesintisi (Interruption)	$v(t)=(1-\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2)))\sin(\omega t)$	$0.9 \leq \alpha \leq 1$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
C <sub>5</sub>	Harmonik (Harmonic)	$v(t)=(\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t))$	$0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_7 \leq 0.15$ $\sum \alpha_i^2 = 1$
C <sub>6</sub>	Geçici rejim (Transient)	$v(t)=(\sin(\omega t) + \alpha_{osc} \exp(-(t-t_1)/\tau_{osc}))\sin(\omega_{nosc}(t-t_1))$	$\tau_{osc}=0.008-0.04$ sn $\omega_{nosc}=100-400$ Hz
C <sub>7</sub>	Gerilim çukuru ile harmonik (Sag with harmonic)	$v(t)=(1-\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2))) (\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t))$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$ $0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_7 \leq 0.15$ $\sum \alpha_i^2 = 1$
C <sub>8</sub>	Gerilim yükselmesi ile harmonik (Swell with harmonic)	$v(t)=(1+\alpha(u(t-t_1)-u(t-t_2))) (\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t))$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$ $0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15$ $0.05 \leq \alpha_7 \leq 0.15$ $\sum \alpha_i^2 = 1$
C <sub>9</sub>	Gerilim kırışması (Flicker)	$v(t)=(1+\alpha_f \sin(\beta_f \omega t))\sin(\omega t)$	$\alpha_f=0.1-0.2$ $\beta_f=5-10$ Hz

**Tablo 2.** Entropi formülleri.

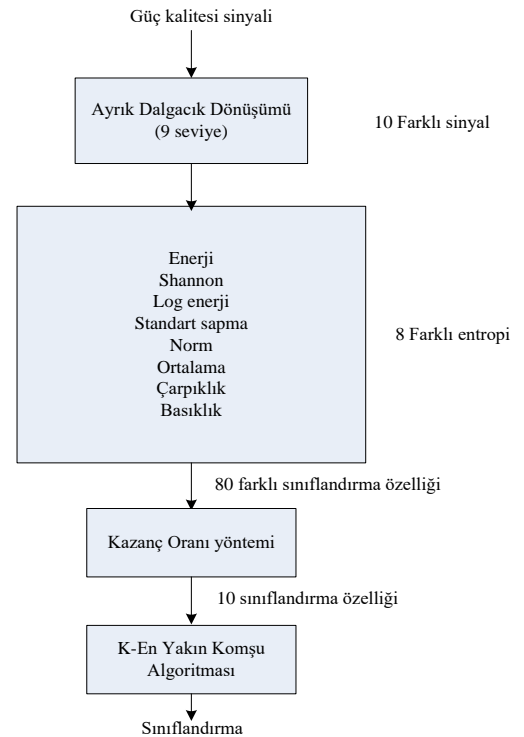
Enerji	$E_{ki} = \sum_{j=1}^N  C_{ij} ^2$
Shannon entropi	$SE_{ki} = - \sum_{j=1}^N C_{ij}^2 \log(C_{ij}^2 \log(C_{ij}^2))$
Log	$LOE_{ki} = \sum_{j=1}^N \log(C_{ij}^2)$
Standart sapma	$\sigma_{ki} = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (C_{ij} - \mu_i)^2 \right)^{1/2}$
Norm	$NE_{ki} = \sum_{j=1}^N (C_{ij})^p$ $1 \leq p$
Ortalama	$\mu_{ki} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_{ij}$
Çarpıklık	$SK_{ki} = \sqrt{\frac{1}{6N} \sum_{j=1}^N \left( \frac{C_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \right)^3}$
Basıklık	$KRT_{ki} = \sqrt{\frac{N}{24} \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left( \frac{C_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \right)^4 - 3 \right)}$

**Tablo 3.** 80 farklı sınıflandırma özelliği ve K-EYK yöntemi ile elde edilen benzetim sonuçları.

	Eğitim	Test
Başarı %	100	89
Süre (sn)	0.19	0.28

Tablo 4, KO yönteminin belirlediği farklı özellikler ve K-EYK algoritmasının sınıflandırma başarısını göstermektedir. Benzetimler en az 10 özellik kullanılması

ile test verisinde en yüksek sınıflandırma başarısı sağlandığını göstermiştir. Tablo 5' te ise belirlenen özelliklerin ayrıştırma seviyesi ve entropi tanımları gösterilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi farklı seviyelerdeki sinyallerin farklı entropi değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmadaki sınıflandırma için uygulanan yöntemin genel algoritması Şekil 2' de gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Uygulanan sınıflandırma yöntemi adımları.

**Tablo 4.** KO yönteminin belirlediği özellikler ve K-EYK algoritmasının sınıflandırma başarısı.

Farklı veri sayısı	Eğitim sınıflandırma başarısı %	Test Sınıflandırma başarısı %	Belirlenen özellikler (KO)
1	100	53.44	18
2	100	68.88	18,38
3	100	69.11	18,38,8
4	100	72	18,38,8,19
5	100	72.55	18,38,8,19,9
6	100	75	18,38,8,19,9,49
7	100	75.33	18,38,8,19,9,49,39
8	100	76.55	18,38,8,19,9,49,39,48
9	100	90.88	18,38,8,19,9,49,39,48,44
<b>10</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>18,38,8,19,9,49,39,48,44,26</b>
11	100	97.77	18,38,8,19,9,49,39,48,44,26,29
12	100	97.11	18,38,8,19,9,49,39,48,44,26,29,59

**Tablo 5.** Seçilen sınıflandırma özellikleri.

	Özellik	Seviye ve katsayılar	Entropi
1	18	7. seviye detay	Shannon
2	38	7. seviye detay	Standart sapma
3	8	7. seviye detay	Enerji
4	19	8. seviye detay	Shannon
5	9	8. seviye detay	Enerji
6	49	8. seviye detay	Norm
7	39	8. seviye detay	Standart sapma
8	48	7. seviye detay	Norm
9	44	3. seviye detay	Norm
10	26	5. seviye detay	Log enerji

Tablo 6' da ise belirlenen 10 farklı sınıflandırma özelliği ile elde edilen benzetim sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 6.** KO ile belirlenen 10 farklı sınıflandırma özelliği ve K-EYK yönteminin benzetim sonuçları.

	Eğitim	Test
Başarı %	100	98
Süre (sn)	0.05	0.06

Tablo 3 ve Tablo 6 incelendiğinde belirlenen 10 özellik ile daha yüksek bir sınıflandırma başarısı sağlandığı belirlenmiştir. 80 özellik ile test verisi üzerinde %89' luk bir başarı sağlanırken, belirlenen 10 özellik ile test verisi üzerinde %98' lik bir sınıflandırma başarısı sağlanmıştır. Aynı zamanda eğitim ve test sürelerinin daha kısa sürede tamamlandığı gösterilmiştir. WEKA programı sonuçları belirlenen 10 sınıflandırma özelliği ile modeli eğitim verileri üzerinde test etmek için geçen sürenin 0.05 sn olduğunu gösterirken, verilen test setinde modeli test etmek için geçen sürenin ise 0.06 sn olduğunu göstermiştir.

Tablo 4' ten görüldüğü gibi KO seçme yöntemi ile en az 10 özellik ile en yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Fakat bu çalışmada yöntemin başarısını göstermek için aynı zamanda farklı özellik seçme yöntemlerinin de test edilmesi gereklidir. Bu yüzden bu çalışmada ayrıca Relieff, Bilgi kazancı (Information gain) ve ONE-R özellik seçme yöntemleri de kullanılmıştır. Bu özellik seçme yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgi [13,14 ]' de bulunabilir. Tablo 7' de farklı özellik seçme yöntemleri ile belirlenen 10 sınıflandırma özelliğinin kullanılması ile elde edilen sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi en yüksek test sınıflandırma başarısı KO özellik seçme yöntemi ile elde edilmiştir. Bu yüzden çalışmada KO özellik seçme yöntemi kullanılmıştır.

**Tablo 7.** Farklı özellik seçme yöntemleri ile belirlenen 10 farklı sınıflandırma özelliği ve K-EYK yönteminin benzetim sonuçları.

Özellik seçme yöntemleri	Test başarısı %
KO	98
Relieff	84.66
ONE-R	77.88
Bilgi Kazancı	77.11

Tablo 8' de ise elde edilen sonuçlar [5]' teki çalışma ile karşılaştırılmıştır. Her iki çalışmada GK olayları için benzer veri tabanı kullanılmıştır. ADD ve K-EYK yönteminde aynı parametreler seçilmiştir. Bunun ile birlikte [5]' teki çalışmada yalnızca Shannon, Log energy ve Norm entropi değerlerinin yöntem başarıları incelenmiştir. [5]' te 9 seviyeli ADD uygulanarak 9 detay ve 1 yaklaşık olmak üzere 10 sinyal elde edilmiştir. Bu 10 sinyalin Shannon entropi değeri kullanılarak toplamda 10 sınıflandırma özelliği ile seçilen parametreler için en yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

Bu çalışmada farklı olarak sınıflandırma için özellik sayısı artırılmıştır. Dokuz seviyeli ADD' nin uygulanması sonrası elde edilen 10 sinyalin, 8 farklı entropi değeri alınarak 80 farklı sınıflandırma özelliği elde edilmiştir. Daha sonra 80 farklı sınıflandırma özelliği içinde KO özellik seçme yöntemi ile en etkili 10 sınıflandırma özelliği belirlenmiştir.

Tablo 8 incelendiğinde bu çalışmadaki test verisi üzerinde %98'lik bir başarı sağlanırken, [5]' teki yöntemde ise test başarısı %94.11 olmuştur. Bu değerler, seçilen parametreler için bu çalışmadaki yöntemin daha yüksek bir sınıflandırma başarısı sağladığını göstermiştir.

Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile [1]' de tamamlanan çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 8' den görüldüğü gibi kullanılan yöntemde daha az sınıflandırma özelliği kullanılarak daha yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Tablo 8' deki sonuçlar yöntemin GK bozulmalarının sınıflandırılması için kabul edilebilir bir başarı sağladığını göstermektedir.

Tablo 8. Önerilen yöntem karşılaştırılması.

Yöntem	Sinyal işleme yöntemi	Sınıflandırma algoritması	Özellik seçimi	Entropi	Özellik sayısı	Güç kalitesi sinyal sayısı	Test başarısı (50dB) %
[5]	ADD	K-EYK	-----	Shannon	10	9	94.11
[1]	ADD	Sinir Ağı	-----	Norm	13	7	95.11
Tamamlanan	ADD	K-EYK	KO	Tablo 4	10	9	98

## 6 Sonuçlar

Günümüzde farklı güç kalitesi bozulmaları şebekelerdeki cihazları olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden farklı güç kalitesi bozulmalarının belirlenmesi ve sınıflandırılması gereklidir. Bu çalışmada ayrık dalgacık dönüşümü, kazanç oranı özellik seçme yöntemi ve K-En yakın komşu algoritması kullanılarak farklı güç kalitesi bozulmaları sınıflandırılmıştır. Benzetim sonuçları seçilen parametreler için uygulanan yöntemin başarılı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda benzetim sonuçları kazanç oranı özellik seçme yönteminin kullanılması ile daha yüksek bir sınıflandırma başarısının elde edildiğini göstermiştir.

### Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

### Kaynaklar

- [1] Uyar, M., Yildirim, S., & Gencoglu, M. T. (2008). An effective wavelet-based feature extraction method for classification of power quality disturbance signals. *Electric power systems Research*, 78(10), 1747-1755.
- [2] Ray, P. K., Mohanty, S. R., Kishor, N., & Catalão, J. P. (2013). Optimal feature and decision tree-based classification of power quality disturbances in distributed generation systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(1), 200-208.
- [3] Abdoos, A. A., Mianaei, P. K., & Ghadikolaei, M. R. (2016). Combined VMD-SVM based feature selection method for classification of power quality events. *Applied Soft Computing*, 38, 637-646.
- [4] Sahani, M., & Dash, P. K. (2018). Automatic power quality events recognition based on Hilbert Huang transform and weighted bidirectional extreme learning machine. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(9), 3849-3858.
- [5] Akmaz, D. (2021, June). The Effect of Different Entropy Values on the Success of the K Nearest Neighbors Algorithm for Classification of Power Quality Disturbances. *4th International Conference on Data Science and Applications*.

- [6] Erişti, H., Yıldırım, Ö., Erişti, B., & Demir, Y. (2013). Optimal feature selection for classification of the power quality events using wavelet transform and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 49, 95-103.
- [7] Vijayarani, S., & Muthulakshmi, M. (2013). Comparative analysis of bayes and lazy classification algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2(8), 3118-3124.
- [8] Choudhury, S., & Bhowal, A. (2015, May). Comparative analysis of machine learning algorithms along with classifiers for network intrusion detection. In *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)* (pp. 89-95). IEEE.
- [9] Karegowda, A. G., Manjunath, A. S., & Jayaram, M. A. (2010). Comparative study of attribute selection using gain ratio and correlation based feature selection. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2(2), 271-277.
- [10] Moravej, Z., Abdoos, A. A., & Pazoki, M. J. E. P. C. (2009). Detection and classification of power quality disturbances using wavelet transform and support vector machines. *Electric Power Components and Systems*, 38(2), 182-196.
- [11] Vinayagam, A., Veerasamy, V., Radhakrishnan, P., Sepperumal, M., & Ramaiyan, K. (2021). An ensemble approach of classification model for detection and classification of power quality disturbances in PV integrated microgrid network. *Applied Soft Computing*, 106, 107294.
- [12] Kiranmai, S. A., & Laxmi, A. J. (2018). Data mining for classification of power quality problems using WEKA and the effect of attributes on classification accuracy. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 3(1), 1-12.
- [13] Budak, H. (2018). Özellik seçim yöntemleri ve yeni bir yaklaşım. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 21-31.
- [14] Yildirim, P. (2015). Filter based feature selection methods for prediction of risks in hepatitis disease. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 5(4), 258.



## SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NiO REINFORCED Mn BASED HYDROXYAPATITE COMPOSITES

Tankut Ateş<sup>\*1</sup>, Serhat Keser<sup>2</sup>, Aydan Aksoğan Korkmaz<sup>3</sup>, Niyazi Bulut<sup>4</sup>, Ömer Kaygılı<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, EOSB Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

<sup>3</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan Meslek Yüksekokulu, Maden Teknolojisi Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

<sup>4</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

In this study, the composite samples formed by using manganese (Mn) based hydroxyapatite (HAp) synthesized by hydrothermal method and nickel oxide (NiO) produced by the wet chemical method were characterized. NiO reinforcement was found to be effective on crystallization, lattice parameters, and average crystal size of Mn-doped HAp. The crystallite sizes of the samples were calculated in the range of 24.64 nm to 33.72 nm. The crystallization values of the samples were found between 77.36% and 86.4%. It was observed that it can possible to change and control some properties of Mn-doped HAp with the addition of NiO. Thus, it is thought that the as-synthesized materials will add an innovation to the literature and will be aimed to investigate their usability for different applications.

**Keywords:** Hydroxyapatite, Nickel oxide, composite, X-ray diffraction.

## NiO TAKVİYELİ Mn KATKILI HİDROKSİAPATİT KOMPOZİTLERİNİN SENTEZ VE KARAKTERİZASYONU

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada hidrotermal yöntemle sentezlenen mangan (Mn) katkılı hidroksiapatit (HAp) ile yaş kimyasal metot ile üretilen nikel oksit (NiO) kullanılarak oluşturulan kompozit numuneler karakterize edildi. NiO takviyesinin, Mn katkılı HAp'in kristalleşmesi, örgü parametreleri ve ortalama kristal büyüklüğü üzerine etkili olduğu görüldü. Numunelerin kristal büyüklükleri 24,64 nm ile 33,72 nm aralığında hesaplandı. Numunelerin kristalleşme değerleri ise % 77,36 ile % 86,4 aralığında bulundu. NiO ilavesi ile Mn katkılı HAp'inin bazı özelliklerinin değiştirilebilmesinin ve kontrol edilebilmesinin mümkün olabileceği gözlemlendi. Böylece, sentezlenen numunelerin literatüre yenilik katacağı düşünülmekte ve farklı uygulamalar için kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidroksiapatit, Nikel oksit, Kompozit, X-ışını kırınımı.

### 1 Giriş

Hidroksiapatit (HAp), büyük ölçüde insan kemiği, mine ve dentinin ana inorganik mineral bileşeni olan kalsiyum fosfat tuzundan oluşan,  $M_{10}(ZO_4)_6X_2$  bileşimine sahip apatit ailesinin bir üyesidir [1-3]. M, Z ve X öğeleri sırasıyla (Ca, Sr, Ba, Cd, Pb), (P, V, As, S, Si, Ge) ve (F, Cl, OH, O, Br)'dir [4]. Bir organizmanın vücudundaki kemik materyaline kimyasal bileşim ve faz açısından benzer bir kalsiyum apatit formudur [5]. Kimyasal formülü  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  olan hidroksiapatitin Ca/P molar oranının 1.67 olduğu bilinmektedir [3,6]. Teorik yoğunluğu  $3,156 \text{ g/cm}^3$ 'tür. HAp'in kristal yapısı,  $P6_3/m$  uzay grubu ile hegzagonal sisteme aittir ve birim hücre parametreleri  $a = b = 0.942 \text{ nm}$ ,  $c = 0.688 \text{ nm}$ ,  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 120^\circ$ 'dir [6].

Hidroksiapatit, kemik dokusu ile güçlü bir kimyasal bağ oluşturduğu için inorganik biyolojik bir malzeme olarak kabul edilir [5]. Kemikler yapısal olarak % 70 oranında HAp, %20 Fibriller kollajen (Tip I) ve geri kalanı sudan ibaret olan karmaşık oluşumlardır [7]. Kemik formülüne yakın bir kimyasal formüle sahip ve tedavi yerinde hızlı ve kolay bir şekilde birleşmesini sağlayan, canlı ortam ile hızlı reaksiyona giren (biyoaktif) maddelerden biri olarak kabul edilir [3,5,8]. Hidroksiapatit ayrıca, etrafını çevreleyen dokular üzerinde iltihaplanma, pıhtı oluşumu v.b. olumsuz etki yapmayan mükemmel biyoyoumluluğa sahip olması [1,3,5,6], biyoeşdeğer, toksik ve inflamatuvar olmayan [3,5], osteokondüktif [1,3,6], biyobozunur [1], biyopolimerlere benzerliği ve yüksek osteojenik potansiyellere sahip olması [8] gibi

\* Corresponding author.

E-mail address: tankut.ates@ozal.edu.tr (T. Ateş)

üstün özellikleri nedeniyle özellikle tıp alanında en yaygın kullanılan kalsiyum fosfatır [6]. Bununla birlikte, saf HAP için özellikle önemli bir dezavantaj, gerekli yük taşıma uygulamalarını karşılayamayabilecek kadar düşük mekanik mukavemete ve yüksek gevrekliğe sahip olmasıdır [2,5]. Örneğin, hidroksiapatit, diş minesinin demineralizasyonunu doğrudan indüklemek için zayıf mekanik özellikler, ilaç verilmesinde partikül büyüklüğü ve morfolojisi sorunları ve kemik transplantasyonunda kırılabilirlik gibi sınırlayıcı özelliklere sahiptir [9,10]. Hidroksiapatit (HAP) bu dezavantajlara karşılık, üstün özelliklerinin daha fazla olmasından dolayı; biyomedikal uygulamalarda, özellikle ortopedide hasarlı kemikleri değiştirmek veya onarmak için [2,3,5], kemik dokusu rejenerasyonu [1], allogreftler ve otogreftler, hızlı kemik osseointegrasyonunun teşviki vb. alanlarda geniş kullanım alanı bulmaktadır [2]. Ayrıca, odontolojide, diş implantları [3,8], metalik implantlar için biyoaktif kaplama malzemesi olarak, orta kulak implantları, ve doku mühendisliği sistemi gibi çeşitli biyomedikal uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır [8,11,12]. Bu kullanım alanları ile birlikte hidroksiapatit, ilaç taşıyıcı maddeler, su arıtma, iyon iletkenleri, kanser hücrelerinin geciktiricisi ve gaz sensörü gibi diğer uygulamalarda da kullanılır [3].

Hidroksiapatit yapının sentezlenmesinde kullanılan sayısız yöntem mevcuttur. Sentetik HAP, kuru(katı hal yöntemi, mekanokimyasal yöntem), ıslak (kimyasal çökeltme, hidrotermal, hidroliz) ve yüksek sıcaklık (yanma, piroliz) yöntemleri olarak sınıflandırılan çeşitli teknikler kullanılarak sentezlenebilir. Bu yöntemlerin her biri farklı boyutlar, morfolojiler ile sonuçlanır ve HAP'in özellikleri biyoaktivite, mekanik ve biyolojik özelliklerini sentez yöntemi önemli ölçüde etkiler [8,13].

Literatürde hidroksiapatit sentezleme yöntemi olarak; katı hal reaksiyonları [14], birlikte çökeltme [15,16], hidrotermal yöntem [17,18], mekanokimyasal yöntem [19,20], ıslak kimyasal [21,22], sol-jel sentezi [23,24], mikrodalga [25,26] ve ultrasonik ışınlama [27], hidroliz [28,29], mikroemülsiyon [3], yanma [30,31], piroliz [32] dahil olmak üzere hidroksiapatit tozunun sentezi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Hidrotermal teknik, nano ölçekte mikro ölçüğe toz parçacıklarının kontrol edilebilir yapısını sentezlemedeki kolay ve uygun maliyetli avantajları nedeniyle son zamanlarda artan bir ilgi kazanmıştır [33]. HAP sentezlemek için hidrotermal yöntem ile kimyasal çökeltme yöntemine kıyasla nispeten stokiyometrik ve daha yüksek kristallikte HAP üretebilir [8].

Katkılama, arzulanan özelliklere ve işlevlere sahip malzemeler elde etmenin etkili bir yoludur. Literatürde hidroksiapatit yapıya Fe [34], Gd [35], Sr [31], Zr [36], Al [37], Ag [38], Cr [39], Mn [40,41] gibi elementlerin katılmasının yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Muthuselvi ve ark. [42] Nikelin iyi bir mekanik dayanıma sahip ve korozyon önleyici olduğunu, Ni iyonlarının apatit bileşiklerinde kalsiyumun yerini almasını mekanik mukavemeti artıracığını ve biyomedikal uygulamalar için uygun bir biyomalzeme olacağını belirtmişlerdir. Kurinjinathan ve ark [43] hidroksiapatit nanoparçacıkların kristal boyutlarının, Ni katılmasına üzerine %53'e kadar azaldığını doğruladı. Ni iyonlarının katkı konsantrasyonunun arttırılmasıyla, nanopartiküllerdeki yığılmanın azaldığını, ortalama kristalit boyutunun da

azaldığını ortaya koydu. Ayrıca, Ni ile katılmanın, iletken bant ve değerlik bandı arasında yeni bir enerji seviyesi yarattığını ve dolayısıyla Ni<sup>+2</sup> konsantrasyonunun artmasıyla UV-vis spektrumundaki yoğunluğun arttığını bulmuşlardır. Liu ve ark. [44], Mn katılımının HAP'in partikül boyutlarını azalttığını, kristallikte azalmaya yol açtığını, Kanchana ve ark. [45], saf HAP'in diyamanyetik olduğunu fakat Mn katılı HAP numunelerin ferromanyetik davranış sergilediğini ve Mn katılı HAP nanoparçacıkları ile oldukça hassas bir hidrokinon sensörü ürettiklerini, yine Kanchana ve ark. [46] Mn-HAP nanoçubukların, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus*'a karşı daha yüksek antibakteriyel aktivite sergilediğini, HAP ve Mn-HAP, simüle edilmiş vücut sıvısında iyi apatit oluşturma yeteneği ve MG-63 hücreleri gibi insan osteoblastıyla mükemmel sito-uyumluluk sergilediğini ve böylece de Mn katılı HAP nanoçubukların biyomedikal uygulamalarda önemli bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir. Lala ve ark. [47], Mn katılı HAP numunenin sito-uyumluluğunu teyit eden yeterince yüksek yüzde hücre canlılığı gösterdiğini, Chlala ve ark. [48], HAP destekli MnO<sub>x</sub>'in katalitik davranışının, Mn içeriğine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu, Wang ve ark. [49], Mn-HAP'inn etkili antibakteriyel özellik ve yüksek biyoaktivite sergilediğini ve ayrıca sert doku onarım materyalleri olarak Mn katılı HAP'in umut verici malzeme olduğunu rapor etmişlerdir. Literatürde ayrı ayrı Ni ve Mn katılı hidroksiapatitlerin incelenmesi ile alakalı çalışmalar mevcut iken, NiO takviyeli Mn katılı hidroksiapatit ile ilgili herhangi bir kayda rastlanmamıştır. Bu bakımdan bu çalışma literatüre yenilik katmayı ve farklı uygulamalar için sentezlediğimiz malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılmasına ışık tutmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmada, NiO ilavesinin Mn katılı HAP'in bazı karakteristik özellikleri üzerine etkileri detaylı bir biçimde araştırılmış ve gerekli literatür karşılaştırmaları yapılarak rapor edilmiştir.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Sentez

#### 2.1.1 Mn Katılı Hidroksiapatitin Sentezi

İlk önce toplam hacmi 50 mL olan 0,5 mmol mangan (II) nitrat tetrahidrat (Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>•4H<sub>2</sub>O) ve 49,5 mmol kalsiyum nitrat tetrahidrat (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>•4H<sub>2</sub>O, Sigma-Aldrich) çözeltisi bir balon joje içerisinde hazırlandı. Başka bir balon joje içerisinde 50 mL'lik 30 mmol diamonyum hidrojen fosfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>•HPO<sub>4</sub>, Merck) çözeltisi hazırlandı. Her iki çözeltinin hazırlanmasında çözücü olarak saf su kullanıldı. Mangan (II) nitrat tetrahidrat ve kalsiyum nitrat tetrahidrat çözeltisi bir beher içerisine boşaltıldı ve üzerine diamonyum hidrojen fosfat çözeltisi damla damla ilave edildi. Yeni çözeltinin pH'ı amonyum hidroksit (NH<sub>4</sub>OH, Sigma-Aldrich) ilavesi ile 10 değerine getirildi. Mevcut çözelti hidrotermal reaktör içerisine kondu ve 24 saat boyunca 170 °C ısıtılma tabii tutuldu. Bu süre sonunda hazırlanan numune süzülüp, 3 kez saf su ile yıkandı ve 70 °C'de 20 saat kurutuldu.

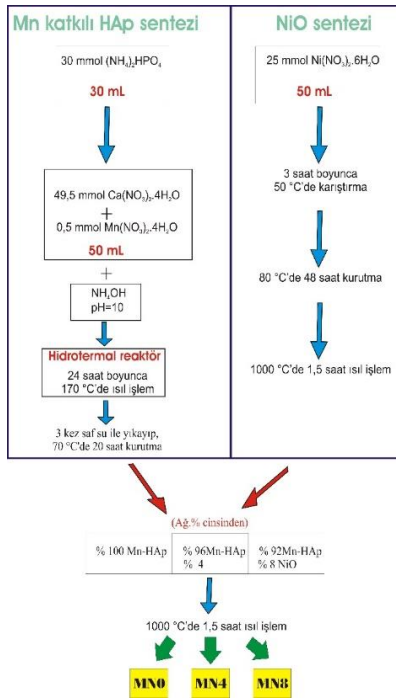


## 2.1.2 NiO'in Sentezi

Çözücü olarak saf etanol kullanılmak suretiyle toplam hacmi 50 mL olacak şekilde 25 mmol nikel (II) nitrat heksahidrat ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Merck) çözeltisi hazırlandı ve bir manyetik karıştırıcı yardımı ile 50 °C'de 3 saat karıştırıldı. 80 °C'de 48 saat kurutularak toz haline getirilen numune, kül fırını içerisine kondu ve 1000 °C sıcaklıkta 1,5 saat ısıtma tabi tutuldu.

## 2.1.3 Mn-HAp/NiO Kompozitlerinin Üretimi

Elde edilen Mn katkılı HAp numunesi üçe bölündü ve ilk kısma katkı yapılmadı. İkinci ve üçüncü kısımlara sırasıyla %4 ve %8 (ağırlıkça yüzde) NiO ilave edilerek, elde edilen toz halindeki numuneler 2 saat boyunca karıştırıldı ve her bir karışım kül fırını içerisinde 750 °C sıcaklıkta 2 saat ısıtma tabi tutularak, Mn-HAp/NiO kompozitleri üretildi ve bu numuneler sırasıyla MN0, MN4 ve MN8 olarak isimlendirildi. Üç aşamada tamamlanan sentez işlemi Şekil 1'deki akış diyagramında özetlenmiştir.



Şekil 1. MN0, MN4 ve MN8 numunelerinin üretim aşamalarının şematik gösterimi.

## 2.2 Karakterizasyon

Numunelerin kristal yapı incelemeleri Bruker D8 Advance model difraktometre vasıtasıyla elde edilen X-ışını kırınımı (XRD) analiz sonuçları kullanılarak gerçekleştirildi. Perkin Elmer Spectrum One model spektrofotometre ile numunelerin Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrumları kaydedildi. Numunelerin morfolojileri, LEO EVO 40xVP model taramalı elektron mikroskobu ile incelendi.

## 3 Bulgular ve Tartışma

Şekil 2, numunelerin XRD grafiklerini göstermektedir. Tüm numuneler için ana faz heksagonal kristal yapıya sahip, JCPDS 09-0432 kart numaralı hidroksiapatit

(HAp)'e aittir. İkincil faz olarak da kübik kristal yapıya ait JCPDS 78-0429 kart numaralı nikel oksit (NiO) fazı mevcuttur. NiO fazının (111) ve (200) düzlemlerine ait piklerin her ikisinin de şiddetinin arttığı açık bir biçimde görülmektedir. (111) düzlemine ait pik 37,34° 'de gözlenirken (200) düzlemine ait pik ise 43,62° 'de gözlenmiştir. Pik şiddetlerindeki değişim ve piklerdeki kaymalar, Ni atomlarının HAp yapı içerisine nüfuz etmesiyle ilişkilendirilebilir. Bu da NiO'in giderek artan miktarda HAp yapı içerisinde bulunduğunu desteklemektedir.

Numunelere ait ortalama kristal büyüklüğü ( $D$ ) değerleri Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [50]

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada  $\lambda$  kullanılan X-ışınlarının dalga boyu,  $\beta$  yarı maksimumdaki tam pik genişliği ve  $\theta$  Bragg açısıdır. Numunelerin hesaplanan ortalama kristal büyüklükleri MN0, MN4 ve MN8 için sırasıyla 33,72 nm, 30,06 nm ve 24,64 nm'dir.

Numunelerin kristalleşme yüzdesi ( $X_c\%$ ) değerleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmış olup, burada  $V_{112/300}$  (112) ve (300) yansımaları arasındaki çukurun şiddeti ve  $I_{300}$  ise (300) düzlemine ait yansımanın şiddetine karşılık gelmektedir [51].

$$X_c \approx \left(1 - \frac{V_{112/300}}{I_{300}}\right) \times 100 \quad (2)$$

Yukarıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanan  $X_c\%$  değerleri MN0, MN4 ve MN8 için sırasıyla % 82,9, % 77,36 ve % 86,4 olarak bulunmuştur. Heksagonal yapıdaki hidroksiapatite ait örgü sabitleri olan  $a$  ve  $c$  ise,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (3)$$

denklemi yardımıyla bulunabilir ki bu bağıntı (300) ve (002) düzlemleri için yeniden düzenlenirse  $a$  ve  $c$  örgü sabitlerini sırasıyla,

$$a = 2\sqrt{3}d_{300} \quad (4)$$

$$c = 2d_{002} \quad (5)$$

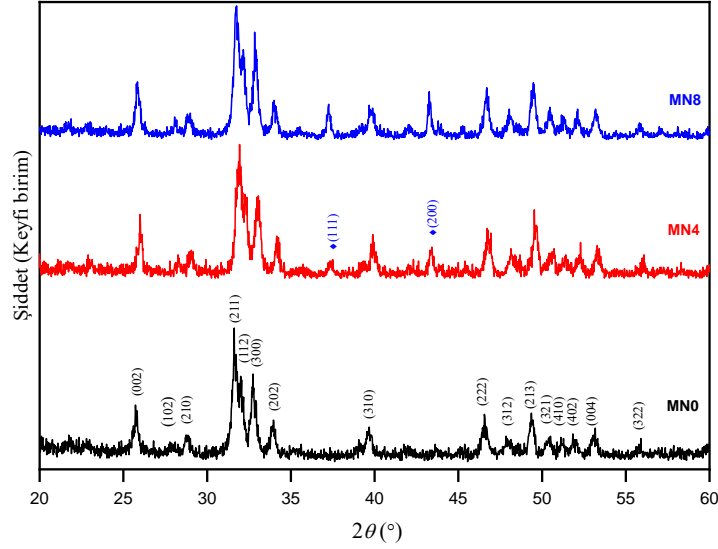
şeklinde elde edilen bağıntılar yardımıyla hesaplamak mümkündür. Bu sayede heksagonal kristal yapıya ait olan birim hücre hacmi ( $V$ ),

$$V = \frac{\sqrt{3}a^2c}{2} \quad (6)$$

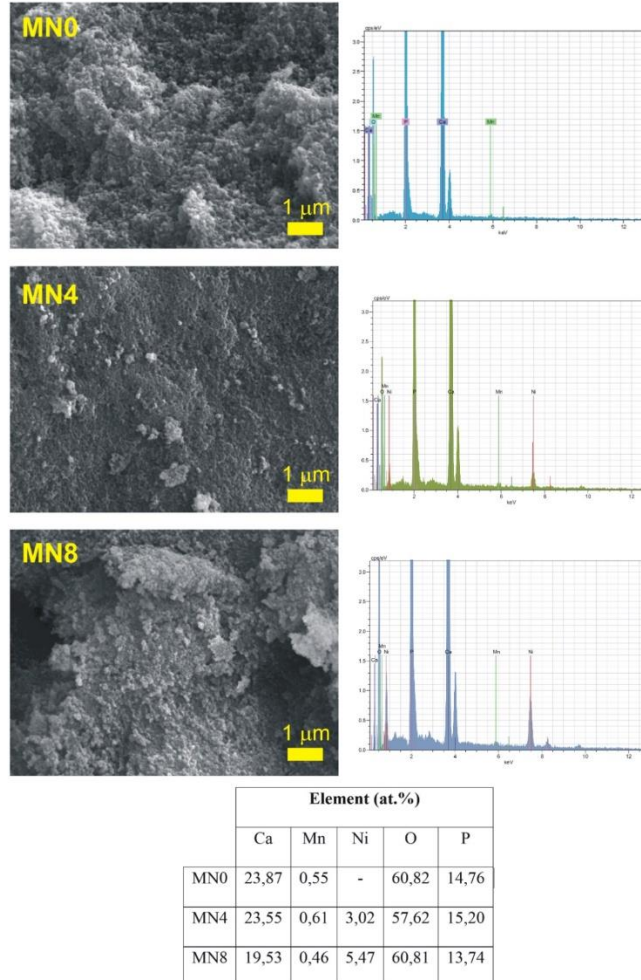
bağıntısı kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir [52]. Denklem (4) kullanılarak hesaplanan  $a$  değerleri 0,9468 nm, 0,9379 nm ve 0,9440 nm; Denklem (5) kullanılarak hesaplanan  $c$  değerleri 0,6922 nm, 0,6849 nm ve 0,6890 nm; Denklem (6) kullanılarak hesaplanan  $V$  değerleri ise

0,5374 nm<sup>3</sup>, 0,5217 nm<sup>3</sup> ve 0,5317 nm<sup>3</sup> şeklindedir (hesaplanan değerler MN0, MN4 ve MN8 numuneleri için sırayla verilmiştir). Görüldüğü üzere NiO ilavesi, Mn katkılı HAp numunesinin örgü parametreleri üzerine etki etmektedir. Hesaplanan tüm değerlere bakarsak; NiO katkılı her iki numuneye ait değerler, katkısız olan numuneye nazaran daha küçüktür. Ni'nin iyonik

yarıçapının (0.069 nm) Ca'ninkinden (0.099 nm) daha küçük olmasından dolayı, Ca atomlarının yerine, daha küçük iyon yarıçapına sahip Ni atomları geçince, kristal örgüde ve kristal büyüklüklerinde bir küçülme meydana gelmesi beklenen bir durumdur. Bu da, Ni katkısının HAp yapı içerisine nüfuz ettiğini teyit etmektedir. Benzer durum Ni katkılı SnO<sub>2</sub> için de gözlemlenmektedir [53].



Şekil 2. Üretilen numunelerin XRD sonuçları.

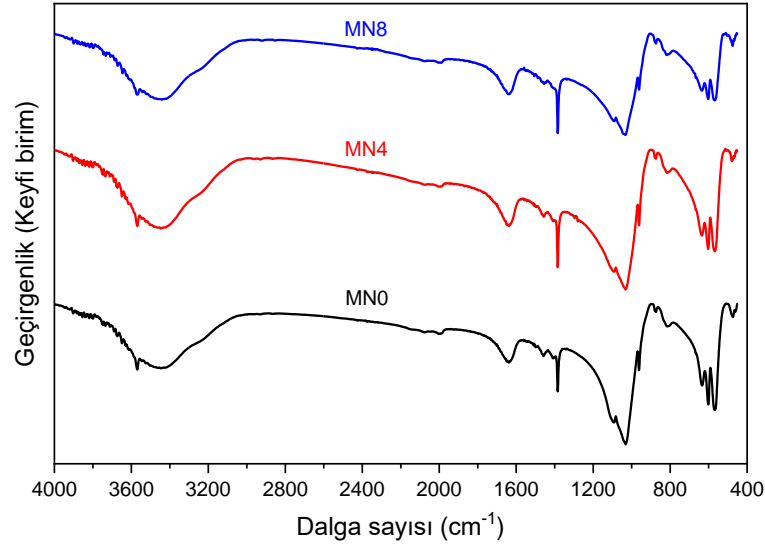


Şekil 3. Numunelere ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları.

Şekil 3'teki SEM görüntülerinden de açıkça görülebileceği üzere üretilen NiO içermeyen ve farklı miktarda NiO ihtiva eden Mn katkılı HAp numunelerinin tamamı nano boyutta parçacıklardan oluşmaktadır. Yine aynı şekilde verilen EDX analiz sonuçları da tüm numunelerde Ca, Mn, Ni (MN0 numunesi hariç), O ve P elementleri mevcuttur. Beklendiği üzere Ni miktarında artış söz konusudur. Numunelerin (Ca+Mn)/P molar oranları ise MN0 için 1,64 (ideal HAp için Ca/P oranı 1,67'dir), MN4 için 1,59 ve MN8 1,46 şeklindedir.

Bu çalışma kapsamında üretilen numunelere ait FTIR sonuçları Şekil 4'de gösterilmektedir. Mevcut FTIR

analizleri sonucunda tespit edilen bantlar ve bunların ilişkilendirildiği fonksiyonel gruplar aşağıdaki gibidir: 635  $\text{cm}^{-1}$  ve 3571  $\text{cm}^{-1}$ 'de tespit edilen bantlar hidroksil gruplarına ait titreşim modlarıyla ilgilidir [54,55]. 1638  $\text{cm}^{-1}$  ve 3447  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen bantlar numune içerisindeki adsorbe olmuş su ile ilişkilendirilebilir [30]. 1458  $\text{cm}^{-1}$ 'de tespit edilen bant karbonat grubuna ait titreşim modlarıyla alakalıdır [56]. 477  $\text{cm}^{-1}$ , 564  $\text{cm}^{-1}$ , 602  $\text{cm}^{-1}$ , 874  $\text{cm}^{-1}$ , 962  $\text{cm}^{-1}$ , 1034  $\text{cm}^{-1}$  ve 1097  $\text{cm}^{-1}$ 'de detekte edilen bantlar ise fosfat grubuna ait titreşim modlarından kaynaklanmaktadır [30,57,58].



Şekil 4. Üretilen kompozit malzemelerin FTIR analiz sonuçları.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada öncelikle Mn katkılı HAp numunesi hidrotermal yöntem ile sentezlendi. Sonrasında yaş kimyasal yöntemle üretilen NiO kullanılarak mevcut iki sistemin çeşitli bileşimlerde kompozitleri meydana getirildi. Yapılan XRD, FTIR, SEM ve EDX analizleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı. Mn katkılı HAp içerisindeki NiO miktarının belirgin bir biçimde örgü sabitleri, kristalleşme ve ortalama kristal boyutu üzerine etki ettiği gözlemlendi. Numunelerin kristal büyüklüklerinin 24,64 nm ile 33,72 nm aralığında, kristalleşme değerlerinin ise % 77,36 ile % 86,4 aralığında değerlere sahip olduğu bulundu. Numuneler içerisindeki fonksiyonel gruplar tayin edildi. Tüm numunelerin nano boyuttaki partiküllerden meydana geldiği gözlemlendi. Sonuç olarak; Mn-HAp/NiO kompozitlerinin özellikle kristal yapı ile ilgili parametrelerinin NiO içeriğini değiştirmek suretiyle değiştirilebileceği ve bu sayede kontrol edilebileceği söylenebilir. Bu çalışma ile literatürde eksikliği tespit edilen, Mn ve NiO'in hidroksiapatit yapıya eklenmesinin meydana getirdiği etkiler tespit edilerek, literatüre kazandırılmıştır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi FF.21.19 No'lu Proje kapsamında desteklenmiştir.

#### Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

#### Referanslar

- [1] Makarova, S., Bulina, N., Chaikina, M., Prosanov, L. Y., & Khusnutdinov, V. R. (2020). Mechanochemical Synthesis of Carbonate- and Fluoride-Substituted Hydroxyapatite. *Chemistry for Sustainable Development*, 28(1), 49-54.
- [2] Akpan, E., Dauda, M., Kuburi, L., & Obada, D. (2021). Box-Behnken experimental design for the process optimization of catfish bones derived hydroxyapatite: A pedagogical approach. *Materials Chemistry And Physics*, 272, 124916.
- [3] Prakash, V. C. A., Venda, I., & Thamizharasi, V. (2022). Synthesis and characterization of surfactant assisted hydroxyapatite powder using microemulsion method. *Materials Today: Proceedings*, 51, 1788-1792.
- [4] Lara-Ochoa, S., Ortega-Lara, W., & Guerrero-Beltrán, C. E. (2021). Hydroxyapatite nanoparticles in drug delivery: Physicochemistry and applications. *Pharmaceutics*, 13(10), 1642.
- [5] Jouda, N. S., & Essa, A. F. (2021). Preparation and study of the structural, physical and mechanical properties of hydroxyapatite nanocomposite. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5999-6005.
- [6] Kribaa, O., Latif, s., Saifi, F., & Chahbaoui, N. (2021). Elaboration and chemical characterization of a composite material based on hydroxyapatite / polyethylene. *Materials Today: Proceedings*.

- [7] Varadavenkatesan, T., Vinayagam, R., Pai, S., Kathirvel, B., Pugazhendhi, A., & Selvaraj, R. (2021). Synthesis, biological and environmental applications of hydroxyapatite and its composites with organic and inorganic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 151, 106056.
- [8] Mohd Pu'ad, N., Abdul Haq, R., Mohd Noh, H., Abdullah, H., Idris, M., & Lee, T. (2020). Synthesis method of hydroxyapatite: A review. *Materials Today: Proceedings*, 29, 233-239.
- [9] Du, M., Chen, J., Liu, K., Xing, H., & Song, C. (2021). Recent advances in biomedical engineering of nano-hydroxyapatite including dentistry, cancer treatment and bone repair. *Composites Part B: Engineering*, 215, 108790.
- [10] Shi, H., Zhou, Z., Li, W., Fan, Y., Li, Z., & Wei, J. (2021). Hydroxyapatite based materials for bone tissue engineering: A brief and comprehensive introduction. *Crystals*, 11(2), 149.
- [11] Erçetin, A., Özgün, Ö., Aslantas, K., & Aykutoğlu, G. (2020). The microstructure, degradation behavior and cytotoxicity effect of Mg-Sn-Zn alloys in vitro tests. *SN Applied Sciences*, 2(2), 173.
- [12] Erçetin, A. (2021). A novel Mg-Sn-Zn-Al-Mn magnesium alloy with superior corrosion properties. *Metallurgical Research & Technology*, 118(5), 504.
- [13] DileepKumar, V. G., Sridhar, M. S., Aramwit, P., Krut'ko, V. K., Musskaya, O. N., Glazov, I. E., & Reddy, N. (2022). A review on the synthesis and properties of hydroxyapatite for biomedical applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 33(2), 229-261.
- [14] Ezerskyte-Miseviciene, A., & Kareiva, A. (2019). Everything old is new again: a reinspection of solid-state method for the fabrication of high quality calcium hydroxyapatite bioceramics. *Mendeleev Communications*, 29(3), 273-275.
- [15] Guesmi, Y., Agougui, H., Lafi, R., Jabli, M., & Hafiane, A. (2018). Synthesis of hydroxyapatite-sodium alginate via a co-precipitation technique for efficient adsorption of Methylene Blue dye. *Journal Of Molecular Liquids*, 249, 912-920.
- [16] Pham, V., Van, H., Tam, P., & Ha, H. (2016). A novel 1540nm light emission from erbium doped hydroxyapatite/ $\beta$ -tricalcium phosphate through co-precipitation method. *Materials Letters*, 167, 145-147.
- [17] Nosrati, H., Sarraf-Mamoory, R., Canillas Perez, M., Le, D., Zolfaghari Emameh, R., & Büniger, C. (2021). Characteristics of hydroxyapatite-reduced graphene oxide composite powders synthesized via hydrothermal method in the absence and presence of diethylene glycol. *Open Ceramics*, 5, 100067.
- [18] Sadetskaya, A., Bobrysheva, N., Osmolowsky, M., Osmolovskaya, O., & Voznesenskiy, M. (2021). Correlative experimental and theoretical characterization of transition metal doped hydroxyapatite nanoparticles fabricated by hydrothermal method. *Materials Characterization*, 173, 110911.
- [19] Khvostov, M., Borisova, M., Bulina, N., Makarova, S., Dumchenko, N., Tolstikova, T., & Lyakhov, N. (2021). The influence of zinc and silicate ions on biological properties of hydroxyapatite synthesized by a mechanochemical method. *Ceramics International*, 47(7), 9495-9503.
- [20] Bulina, N., Chaikina, M., Makarova, S., & Dudina, D. (2019). Characterization of Sr-substituted hydroxyapatite synthesized by the mechanochemical method. *Materials Today: Proceedings*, 12, 57-60.
- [21] Jakab, M., Enisz-Bódogh, M., Makó, É., Kovács, K., Orbán, S., & Horváth, B. (2020). Influence of wet chemical processing conditions on structure and properties of magnetic hydroxyapatite nanocomposites. *Processing And Application Of Ceramics*, 14(4), 321-328.
- [22] Goh, K., Wong, Y., Ramesh, S., Chandran, H., Krishnasamy, S., & Ramesh, S. et al. (2021). Effect of pH on the properties of eggshell-derived hydroxyapatite bioceramic synthesized by wet chemical method assisted by microwave irradiation. *Ceramics International*, 47(7), 8879-8887.
- [23] Saranya, S., & Prema Rani, M. (2021). Sol gel synthesis of Niobium influence on Hydroxyapatite: A view of invitro, structural, morphological and studies for Biomedical Applications. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1441-1450.
- [24] Jang, J., Oh, B., & Lee, E. (2021). Crystalline hydroxyapatite/graphene oxide complex by low-temperature sol-gel synthesis and its characterization. *Ceramics International*, 47(19), 27677-27684.
- [25] Jiang, J., Long, Y., Hu, X., Hu, J., Zhu, M., & Zhou, S. (2020). A facile microwave-assisted synthesis of mesoporous hydroxyapatite as an efficient adsorbent for Pb<sup>2+</sup> adsorption. *Journal of Solid State Chemistry*, 289, 121491.
- [26] Sözügeçer, S., & Bayramgil, N. (2021). Preparation and characterization of polyacrylic acid-hydroxyapatite nanocomposite by microwave-assisted synthesis method. *Heliyon*, 7(6), e07226.
- [27] Indira, J., & Malathi, K. (2021). Comparison of template mediated ultrasonic and microwave irradiation method on the synthesis of hydroxyapatite nanoparticles for biomedical applications. *Materials Today: Proceedings*.
- [28] Shih, W., Chen, Y., Wang, M., & Hon, M. (2004). Crystal growth and morphology of the nano-sized hydroxyapatite powders synthesized from CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O and CaCO<sub>3</sub> by hydrolysis method. *Journal Of Crystal Growth*, 270(1-2), 211-218.
- [29] Shih, W., Wang, J., Wang, M., & Hon, M. (2006). A study on the phase transformation of the nanosized hydroxyapatite synthesized by hydrolysis using in situ high temperature X-ray diffraction. *Materials Science and Engineering: C*, 26(8), 1434-1438.
- [30] Kaygili, O., Keser, S., Bulut, N., & Ates, T. (2018). Characterization of Mg-containing hydroxyapatites synthesized by combustion method. *Physica B: Condensed Matter*, 537, 63-67.
- [31] Obada, D., Salami, K., Oyediji, A., Fasanya, O., Suleiman, M., & Ibisola, B. et al. (2021). Solution combustion synthesis of strontium-doped hydroxyapatite: Effect of sintering and low compaction pressure on the mechanical properties and physiological stability. *Materials Letters*, 304, 130613.
- [32] Cho, J., & Rhee, S. (2013). Formation mechanism of nano-sized hydroxyapatite powders through spray pyrolysis of a calcium phosphate solution containing polyethylene glycol. *Journal of the European Ceramic Society*, 33(2), 233-241.
- [33] Lo, Y., Chang, C., Lin, P., Lin, S., & Wang, C. (2021). Direct growth of structurally controllable hydroxyapatite coating on Ti-6Al-4V through a rapid hydrothermal synthesis. *Applied Surface Science*, 556, 149672.
- [34] Jose, S., Senthilkumar, M., Elayaraja, K., Haris, M., George, A., & Raj, A. et al. (2021). Preparation and characterization of Fe doped n-hydroxyapatite for biomedical application. *Surfaces and Interfaces*, 25, 101185.
- [35] Yuan, S., Qi, X., Zhang, H., Yuan, L., & Huang, J. (2021). Doping gadolinium versus lanthanum into hydroxyapatite particles for better biocompatibility in bone marrow stem cells. *Chemico-Biological Interactions*, 346, 109579.

- [36] Febrian, M., Mahendra, I., Kurniawan, A., Setiadi, Y., Ambar Wibawa, T., Lesmana, R., & Syarif, D. (2021). Zirconium doped hydroxyapatite nanoparticle as a potential design for lung cancer therapy. *Ceramics International*, 47(19), 27890-27897.
- [37] Fan, Q., Fan, F., Xu, W., Zhang, H., & Liu, N. (2021). The structural and surface properties of Al-doped hydroxyapatite (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH) nanorods and their applications for pH-induced drug delivery. *Journal of Alloys and Compounds*, 879, 160414.
- [38] Citradewi, P., Hidayat, H., Purwiandono, G., Fatimah, I., & Sagadevan, S. (2021). Clitorea ternatea-mediated silver nanoparticle-doped hydroxyapatite derived from cockle shell as antibacterial material. *Chemical Physics Letters*, 769, 138412.
- [39] Iqbal, S., Younas, M., ul Hassan, M., Ryu, H., Anjum, M., & Farhan, M. et al. (2021). Electronic, electrical and dielectric analysis of Cr-doped hydroxyapatite. *Chemical Physics Letters*, 771, 138507.
- [40] Kandori, K., Murata, R., Yamaguchi, Y., & Yoshioka, A. (2018). Protein adsorption behaviors onto Mn(II)-doped calcium hydroxyapatite particles with different morphologies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 167, 36-43.
- [41] Karunakaran, G., Cho, E., Thirumurugan, K., Kumar, G., Kolesnikov, E., & Boobalan, S. et al. (2021). Mesoporous Mn-doped hydroxyapatite nanorods obtained via pyridinium chloride enabled microwave-assisted synthesis by utilizing Donax variabilis seashells for implant applications. *Materials Science and Engineering: C*, 126, 112170.
- [42] Muthuselvi, S., Saranya, S., & Prema Rani, M. (2017). Characterization Of Ni Doped Hydroxyapatite Nanopowders Synthesized By Sol Gel Method. *International Conference on Nanotechnology: the Fruition of Science* (pp. 107-114).
- [43] Kurinjinathan, P., Thanigai Arul, K., Ramana Ramya, J., Manikandan, E., Hegazy, H., & Umar, A. et al. (2020). Effect of Nickel Doping on the Properties of Hydroxyapatite Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 20(4), 2482-2487.
- [44] Liu, H., Cui, X., Lu, X., Liu, X., Zhang, L., & Chan, T. (2021). Mechanism of Mn incorporation into hydroxyapatite: Insights from SR-XRD, Raman, XAS, and DFT calculation. *Chemical Geology*, 579, 120354.
- [45] Kanchana, P., Sudhan, N., Sekar, C., & Neri, G. (2019). Manganese Doped Hydroxyapatite Nanoparticles Based Enzyme-Less Electrochemical Sensor for Detecting Hydroquinone. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(4), 2034-2043.
- [46] Kanchana, P., & Sekar, C. (2018). Influence of Manganese on the In Vitro Biocompatible and Antibacterial Properties of Nanostructured Hydroxyapatite. *Materials Focus*, 7(4), 464-472.
- [47] Lala, S., Ghosh, M., Das, P., Kar, T., & Pradhan, S. (2015). Mechanical preparation of nanocrystalline biocompatible single-phase Mn-doped A-type carbonated hydroxyapatite (A-cHAp): effect of Mn doping on microstructure. *Dalton Transactions*, 44(46), 20087-20097.
- [48] Chlala, D., Giraudon, J., Labaki, M., & Lamonier, J. (2020). Formaldehyde Total Oxidation on Manganese-Doped Hydroxyapatite: the Effect of Mn Content. *Catalysts*, 10(12), 1422.
- [49] Wang, M., Li, M., Wang, Y., Shao, Y., Zhu, Y., & Yang, S. (2021). Efficient antibacterial activity of hydroxyapatite through ROS generation motivated by trace Mn(III) coupled H vacancies. *Journal of Materials Chemistry B*, 9(15), 3401-3411.
- [50] Cullity, B. D. (1978). Elements of X-ray diffraction, Addison. *Wesley Mass*, 127-31.
- [51] Landi, E., Tampieri, A., Celotti, G., & Sprio, S. (2000). Densification behaviour and mechanisms of synthetic hydroxyapatites, *Journal of the European Ceramic Society*, 20, 2377-2387.
- [52] Kaygılı, Ö. (2011). *Sol Jel Metodu ile Üretilen Hidroksiapatit Esaslı Biyoseramik Malzemelerin Mikroyapı ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doctoral dissertation, Firat University).
- [53] Emayavaramban, P., Ganesh Babu, S., Karvembu, R., & Dharmaraj, N. (2014). Nickel Oxide Doped Hydroxyapatite for Catalytic Oxidation of Alcohols to Carbonyl Compounds at Room Temperature. *Advanced Science Engineering and Medicine*, 6, 1-8.
- [54] Ibrahimzade, L., Kaygılı, O., Dundar, S., Ates, T., Dorozhkin, S., & Bulut, N. et al. (2021). Theoretical and experimental characterization of Pr/Ce co-doped hydroxyapatites. *Journal Of Molecular Structure*, 1240, 130557.
- [55] Kaygılı, O., Vural, G., Keser, S., Yahia, I., Bulut, N., & Ates, T. et al. (2020). Ce/Sm co-doped hydroxyapatites: synthesis, characterization, and band structure calculation. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57(1), 305-317.
- [56] Mahmood, B., Kaygılı, O., Bulut, N., Dorozhkin, S., Ates, T., & Koytepe, S. et al. (2020). Effects of strontium - erbium co-doping on the structural properties of hydroxyapatite: An Experimental and theoretical study. *Ceramics International*, 46(10), 16354-16363.
- [57] İnce, T., Kaygılı, O., Tatar, C., Bulut, N., Koytepe, S., & Ates, T. (2018). The effects of Ni-addition on the crystal structure, thermal properties and morphology of Mg-based hydroxyapatites synthesized by a wet chemical method. *Ceramics International*, 44(12), 14036-14043.
- [58] Kaygılı, O., Keser, S., Selçuk, A., Bulut, N., Koytepe, S., Yahia, I., & Ates, T. (2019). The effects of gamma irradiation on dielectric properties of Ag/Gd co-doped hydroxyapatites. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(11), 10443-10453.



## LIGHT-EMITTING PROPERTIES OF PYRIMIDINE-5-CARBONITRILE DERIVATIVES: A THEORETICAL CALCULATION

Necdet Karakoyun<sup>\*1</sup> , Sultan Erkan<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Muradiye Vocational School, Chemical and Chemical Business Technologies Department, Van Yuzuncu Yil University, Van, Turkey

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

### Abstract

Conference paper

In this study, 4,6-Di (9H-carbazol-9-yl) pyrimidine-5-carbonitrile (C1), 4,6-bis (3,6-di-tert-butyl-9H-carbazol-9-yl) pyrimidine-5-carbonitrile (C2), 4,6-bis (3,6-dimethoxy-9H-carbazol-9-yl) pyrimidine-5-carbonitrile (C3) compounds were optimized at the B3LYP/6-31G(d) level. Energy densities of frontier molecular orbitals were investigated with molecular properties. Vertical ionization potentials (IP<sub>v</sub>), adiabatic ionization potential (IP<sub>a</sub>) (in eV), vertical electron affinity (EA<sub>v</sub>), adiabatic electron affinity (EA<sub>a</sub>), the hole reorganization energy ( $\lambda_h$ ) and electron reorganization energy ( $\lambda_e$ ) were calculated (in eV) for C1, C2 and C3 compounds.  $\lambda_e$  values of the C1 and C3 compounds are 0.29 and 0.30 eV and the  $\lambda_h$  value is 0.18 and 0.20 eV, respectively. It can be said that the C1 and C3 compounds are not suitable as an electron bearing layers (ETL) material since its  $\lambda_e$  values are greater than 0.276 eV and that its  $\lambda_h$  value is less than 0.290 eV, so they are a suitable material for the Hole bearing layers (HTL). The C2 compound is suitable for both ETL and HTL materials.

**Keywords:** Electron bearing layers, Electron injection layer, DFT, Hole bearing layers, Hole injection layer, OLED materials.

### 1 Introduction

With the use of organic devices in many areas of use, the investigation of compounds with different functions that can be obtained as a result of organic synthesis has turned the attention of scientists in this direction. Especially in recent years, the value of organic molecules with different properties has been understood, and conductive polymers and their derivatives have come to the fore. The most prominent discovery with these features is OLEDs (Organic Light Emitting Diode). OLEDs as an alternative to LCD (Liquid Crystal Display) technology are a technology developed by Kodak company in 1987. Since the most prominent features of OLEDs are thin, light and provide low energy consumption, their use in television, telephone and computer technology has expanded. Although OLED screen technology can be a good competitor to existing technologies due to its performance point, it is disadvantageous in terms of strength, costs and therefore sales prices. Problems regarding strength are largely related to the nature of organic semiconductors and QD: organic hybrids may answer this problem. The main reason for the high cost is that coating techniques that are used in the screen production phase and require high vacuum are used. Nowadays, hundreds of scientific studies are carried out to bring OLED technology to much better levels and studies are ongoing to eliminate the disadvantages of OLED technology. OLED is an emerging and promising technology [1-3].

Pyrimidine-5-carbonitrile has electron withdrawal due to carbazole, tert-butylcarbazole and methoxy carbazole substituents. This feature led to high photoluminescence yields and synthesized by Uliana et al. [4]. The donor-acceptor-donor properties of these synthesis components are intended for achieving both blue OLED and optical sensors. [4].

Nowadays, Organic light-emitting diodes (OLEDs) technology is very popular both in the scientific world and in the industry. The production phase is extremely easy, the drive voltage and power consumption are very low. In addition, its high brightness has attracted great attention. [5-9]. Although OLED devices consist of organic materials called anode and cathode, it is basically the layers above the anode and below the cathode that determine the property of the OLED material.

The electron injection layer (EIL) is located just below the cathode. Beneath the EIL layer is the electron transport (ETL) layer responsible for carrying electrons. The top layer of the anode has a hole injection layer (HIL). Above this layer there is a hole carrying layer (HTL), which has good conductivity for positive charges (holes) (Fig. 1.) [10]. Thanks to the applications of computational chemistry methods, the suitability of the studied compounds for the said layers can be discussed with numerical results.

\* Corresponding author.

E-mail address: necdetkarakoyun@yyu.edu.tr (N. Karakoyun)

Received 10 May 2021; Received in revised form 18 January 2022; Accepted 02 February 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.935455>

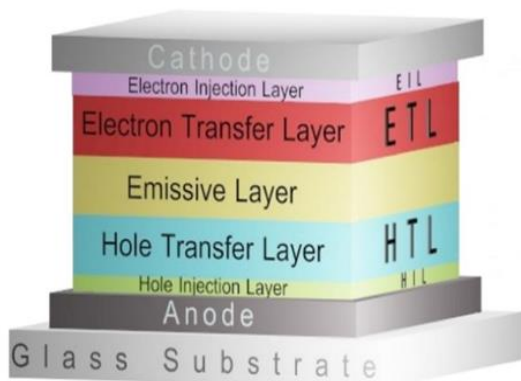


Figure 1. OLEDs layers [10].

In this study, C1, C2 and C3 for compounds, the vertical ionization potentials, the adiabatic ionization potential, the vertical electron affinity, the adiabatic electron affinity, the hole reorganization energy and the electron reorganization energy were examined.

## 2 Calculation Methods

The structures and input files of organic compounds were prepared using Gauss-View 5.0.8 program [11]. Numerical calculations were carried out by using Gaussian 09 AML64L-Revision C.01 [12]. DFT calculations were performed using Becke's three-parameter hybrid functional with the Lee-Yang-Parr correlation functional a combination that gives rise to the well-known B3LYP method [13]. The C1, C2 and C3 compounds were optimized in the gas phase at the B3LYP/6-31G(d) level. The 6-31G(d) are the basis sets used in calculations. This basis set is a basis set with polarized functions and this basic set was used to model the orbits of atoms [14]. Lowest empty molecular orbital ( $E_{LUMO}$ ), the highest occupied molecular orbital ( $E_{HOMO}$ ) values are taken directly from the calculation files of the optimized structures. The energy gap ( $\Delta E$ ) for the charge carrying capacity of the investigated organic compounds was calculated from the following Eq. 1.

$$\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (1)$$

OLED features are explained using Marcus theory. The parameters required to study the OLED properties of the respective compounds were calculated at B3LYP/6-31G(d). The compounds used in the OLED structure are classified as: the electron carrying layers (ETL), the hole carrying layers (HTL), the electron injection layer (EIL) and the hole injection layer (HIL) [15-16]. New designs can be made based on the afore mentioned references, where N, N'-diphenyl-N, N'-bis (3-methylphenyl) -1,1'-diphenyl-4,4'-diamine (TPD) and tris (8-hydroxyquinolino) aluminum (III) (Alq3), respectively, are accepted as reference materials for a typical an ETL and a HTL material. In addition, since the reorganization energy, the adiabatic and vertical ionization potentials ( $IP_a/IP_v$ ), and the electron affinities ( $EA_a/EA_v$ ) (in eV) parameters determine the ease of load transfer in EIL and HIL materials, these parameters were examined.

## 3 Result and Discussion

### 3.1 Optimized Structure

In the gas phase, the molecular structure of C1, C2 and C3 was optimized using the B3LYP method with 6-31G (d) basis sets. The obtained optimized structures of C1, C2 and C3 are given Fig. 2.

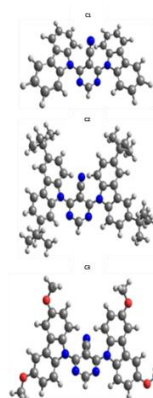


Figure 2. Optimized structures of C1, C2 and C3.

### 3.2 Frontier Molecular Orbital Analysis

The difference ( $\Delta E$ ) between the HOMO-LUMO and the LUMO-HOMO is an indicator of the type of electronic transition and energy in the molecule. The HOMO, LUMO and the LUMO-HOMO difference ( $\Delta E$ ) orbital energies values and figures of the investigated compounds are given in Fig. 3.

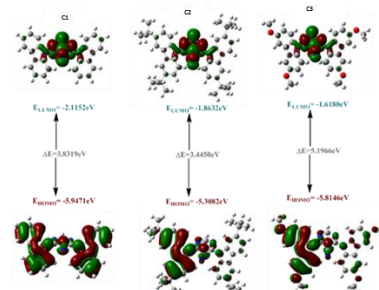


Figure 3. Contour diagrams of C1, C2 and C3.

As shown in Fig. 3, in the C1 molecule, the HOMO is mostly on the molecule. In the C2 and C3 compound, the LUMO molecular orbitals are in a similar location. The LUMO molecular orbital is localized on nitrogen and carbon atoms in the middle part of the molecule in all organic compounds. Normally, the lowest energy excitation goes through the HOMO→LUMO transition. The contour diagram indicates that the HOMO→LUMO transition is the  $\pi \rightarrow \pi^*$  transition. Lower values of the LUMO-HOMO difference indicate a higher load-bearing mobility. The energy gap of the C1 is 3.8319 eV. In the C2 compound to which the molecular alkyl groups are attached, the LUMO-HOMO difference has decreased even more. In the C3 compound to which the  $-OCH_3$  groups are attached, the LUMO-HOMO difference has increased even more. Therefore, among the compounds studied, the ground energy range (3.4450 eV) of C2 makes it the most promising carrier mobility material.

### 3.3 OLED Properties

The hole bearing layers (HTL), the Electron bearing layers (ETL), the hole injection layer (HIL) and the electron injection layer (EIL) form the basis of the OLED structure [15-16]. New designs can be made based on the afore mentioned references, where N, N'-diphenyl-N, N'-bis (3-methylphenyl) -1,1'-diphenyl-4,4'-diamine (TPD) and tris (8-hydroxyquinolinato) aluminum (III) (Alq3), respectively, are accepted as reference materials for a typical an ETL and a HTL material.

A parameter, which is an application of the Marcus theory, is given in Equ. 2. This equation is used to estimate an ETL and a HTL materials.

$$K = t^2 \frac{2\pi}{h} \frac{1}{\sqrt{4\pi\lambda k_B T}} \exp \left[ -\frac{(\lambda + \Delta G^0)^2}{4\lambda k_B T} \right] \quad (2)$$

where  $k_B$  is the Boltzmann constant and T is the temperature value.  $\Delta G^0$  is expressed as the free energy of the hole transfer reaction.  $\lambda$  is reorganization energies and t is transfer integral parameter. The sum of hole ( $\lambda_h$ ) and electron ( $\lambda_e$ ) reorganization energy expresses the total reorganization energy of the molecule.

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_h \quad (3)$$

values of reorganization energies,  $\lambda_h$  and  $\lambda_e$  can be found in the equations given below [17].

$$\lambda_e = (E_0^- - E_-^-) + (E_-^0 - E_0^0) \quad (4)$$

$$\lambda_h = (E_0^+ - E_+^+) + (E_+^0 - E_0^0) \quad (5)$$

In equ. 4,  $E_0^-$  is the term expressing the anion energy calculated from the optimized neutral molecular structure.  $E_-^-$  is the energy of the anion. ( $E_-^0$ ) is the energy value of the neutral molecule calculated in the anionic structure.

In the equ. 5,  $E_0^+$  is the term expressing the energy of the cation calculated with the optimized neutral molecule structure.  $E_+^+$  is the energy of the cation.  $E_+^0$  is the energy value of the neutral molecule calculated in the cationic structure.  $E_0^0$  is the ground state energy value in neutral state [18].

In the literature, typical ETL and HTL materials reorganization data are evaluated with reference to Alq3 and TPD compounds. In this case, it is stated that  $\lambda_e$  of Alq3 is at 0.276 eV and  $\lambda_h$  of TPD is at 0.290 eV. [19].

In addition, since IP<sub>a</sub>, IP<sub>v</sub>, EA<sub>a</sub>, EA<sub>v</sub> parameters determine the ease of load transfer in EIL and HIL materials, these parameters were examined. Lower ionization potentials and higher electron affinities values mean better hole and electron transport as they show

easier hole injection of holes (electrons) from the transport layer to the emitter layers [20]. In equ. 6, the IP<sub>a</sub> value is calculated as the ionization potential. In equ. 7, the IP<sub>v</sub> value is calculated as the vertical ionization potential. In equ. 8, EA<sub>a</sub> is calculated as adiabatic electron affinity. In equ. 9, EA<sub>v</sub> is calculated as vertical electron affinity.

$$IP_a = E_+ - E_0^0 \quad (6)$$

$$IP_v = E_0^+ - E_0^0 \quad (7)$$

$$EA_a = E_0^0 - E_- \quad (8)$$

$$EA_v = E_0^0 - E_0^- \quad (9)$$

Here,  $E_0^+$  ( $E_0^-$ ) is the term expressing the energy of the cation (anion) calculated with the optimized neutral molecule structure.  $E_+$  ( $E_-$ ) is expressed as the cation (anion) energy calculated with the optimized cation (anion) structure. [21]. The adiabatic ionization potential (IP<sub>a</sub>), the vertical ionization potentials (IP<sub>v</sub>) (in eV) the adiabatic electron affinity (EA<sub>a</sub>) and the vertical electron affinity (EA<sub>v</sub>) (in eV) of C1, C2 and C3 compounds calculated are listed in Table 1.

In an organic compound,  $\lambda_e$  values less than 0.276 eV means that it is suitable as an ETL material and that the organic compound's  $\lambda_h$  values are less than 0.290 eV means that it is a suitable material for the HTL layer. Finally, the charge transfer property of EIL and HIL materials can be evaluated with IP<sub>a</sub>, IP<sub>v</sub> and EA<sub>a</sub>, EA<sub>v</sub> results, respectively. In general, lower ionization potentials and higher electron affinity mean better electrons and holes charge transfer, respectively [22].

When the  $\lambda_e$  and  $\lambda_h$  values of the organic compounds in Table 1 are examined, it is seen that the  $\lambda_e$  values of the C1 and C3 compounds are 0.29 and 0.30 eV and the  $\lambda_h$  values are 0.18 and 0.20 eV, respectively. It can be said that the C1 and C2 compounds are not suitable as an ETL material since its  $\lambda_e$  values are greater than 0.276 eV and that its  $\lambda_h$  value is less than 0.290 eV, so it is a suitable material for the HTL layer.

It is seen that  $\lambda_e$  values of C2 compound is less than 0.276 eV and  $\lambda_h$  values are lower than 0.290 eV. Therefore, since  $\pi$ -electron delocalization is very important in OLED materials, C2 compound may be suitable for this situation.

C1 and C3 compounds are only suitable for use as a HTL material. The C2 compound is suitable for both ETL and HTL materials. C1 and C3 compounds are only suitable for use as a HTL material. The C2 compound is suitable for both ETL and HTL materials. This means that the same compounds can be used as OLED material in two layers.

**Table 1.** Vertical ionization potentials (IP<sub>v</sub>) (in eV), Adiabatic ionization potential (IP<sub>a</sub>) Vertical electron affinity and Adiabatic electron affinity (EA<sub>a</sub>) (EA<sub>v</sub>) (in eV) of C1, C2 and C3 compounds calculated.

Complex	IP <sub>a</sub>	IP <sub>v</sub>	EA <sub>a</sub>	EA <sub>v</sub>	$\lambda_e$	$\lambda_h$
C1	0.3600	0.2600	0.0244	0.0344	0.29	0.18
C2	0.2562	0.2462	0.0314	0.0325	0.27	0.24
C3	0.2017	0.2317	0.0390	0.0290	0.30	0.20



## 4 Conclusion

They were examined for OLED properties by computational chemistry methods for C1, C2 and C3 compounds. The organic compounds investigated were optimized at the B3LYP / 6-31G (d) level.

It was found that frontier molecular orbitals correspond to the transition  $\pi \rightarrow \pi^*$  with the HOMO  $\rightarrow$  LUMO transitions with contour diagrams. In the C2 compound to which the alkyl groups were attached, the LUMO-HOMO difference was further reduced. In the C3 compound to which the -OCH<sub>3</sub> groups are attached, the LUMO-HOMO difference increased even more. As a result, C2 was found to have the best load-bearing mobility among the compounds studied, thanks to the lowest energy range (3.4450 eV). The vertical ionization potentials (IP<sub>v</sub>), the adiabatic ionization potential (IP<sub>a</sub>) (in eV), the vertical electron affinity (EA<sub>v</sub>), the adiabatic electron affinity (EA<sub>a</sub>), the hole reorganization energy ( $\lambda_h$ ) and electron reorganization energy ( $\lambda_e$ ) were calculated (in eV) for C1, C2 and C3 compounds.

It was concluded that the C1 and C3 compounds are only suitable for use as HTL material. The C2 compound was found suitable for both ETL and HTL materials.

## Acknowledgements

This study was presented at the 4th International Conference on Physical Chemistry & Functional Materials in 2021. In the article we submitted for publication, we undertake that no study requiring ethics committee approval has been conducted.

## References

- [1] Kasapşekin, M. A., & Altuncu, D. (2013). Innovative Materials in Interior Design: Organic Light Emitting Textiles (Oleds). In *Advanced Materials Research* (Vol. 689, pp. 254-259). Trans Tech Publications Ltd.
- [2] Özkan, N., Erkan, S., Sayın, K., & Karakaş, D. (2020). Research on structural, spectral (IR, UV-Vis, 1H-and 13C-NMR) and light emitting properties of trisocyno-based trinuclear Au (I) complexes. *Chemical Papers*, 74(8), 2415-2425.
- [3] Erkan, S., & Karakaş, D. (2020). A theoretical study on cyclometalated iridium (III) complexes by using a density functional theory. *Journal of Theoretical and Computational Chemistry*, 19(02), 2050006.
- [4] Tsiko, U., Bezvikonny, O., Sych, G., Keruckiene, R., Volyniuk, D., Simokaitiene, J., ... & Grazulevicius, J. V. (2021). Multifunctional derivatives of pyrimidine-5-carbonitrile and differently substituted carbazoles for doping-free sky-blue OLEDs and luminescent sensors of oxygen. *Journal of advanced research*, 33, 41-51.
- [5] Ko, C. W., & Tao, Y. T. (2001). Bright white organic light-emitting diode. *Applied Physics Letters*, 79(25), 4234-4236.
- [6] Li, J., Hu, L., Wang, L., Zhou, Y., Grüner, G., & Marks, T. J. (2006). Organic light-emitting diodes having carbon nanotube anodes. *Nano letters*, 6(11), 2472-2477.
- [7] Wen, W., Bo, W., Lu, L., Jun-Sheng, Y., & Ya-Dong, J. (2009). High performance white organic light-emitting devices based on a novel red fluorescent dye 3-(dicyanomethylene)-5, 5-dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene. *Acta Physica Sinica*, 58(11), 8014-8020.
- [8] Krames, M. R., Amano, H., Brown, J. J., & Heremans, P. L. (2002). Introduction to the issue on high-efficiency light-emitting diodes. *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 8(2), 185-188.
- [9] Liu, N. L., Ai, N., Hu, D. G., Yu, S. F., Peng, J. B., Cao, Y., & Wang, J. (2011). Effect of spin-coating process on the performance of passive-matrix organic light-emitting display. *Acta Physica Sinica*, 60(8), 679-684.
- [10] Üngördü, A. (2019). Charge transfer properties of Gaq3 and its derivatives: An OLED study. *Chemical Physics Letters*, 733, 136696.
- [11] Dennington, R. D., Keith, T. A., & Millam, C. M. (2009). GaussView 5.0 Wallingford. In *CT*.
- [12] Frisch, A., & Frisch, M. J. (1998). GAUSSIAN 98 User's reference, Gaussian, Inc., Pittsburgh, PA, 15106.
- [13] Kaya, S., Erkan, S., & Karakaş, D. (2021). Computational investigation of molecular structures, spectroscopic properties and antitumor-antibacterial activities of some Schiff bases. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 244, 118829.
- [14] Karakaş, D., & Kariper, S. E. (2014). Theoretical investigation on the vibrational and electronic spectra of three isomeric forms of dicobalt octacarbonyl. *Journal of Molecular Structure*, 1062, 77-81.
- [15] Kim, J. H., Triambulo, R. E., & Park, J. W. (2017). Effects of the interfacial charge injection properties of silver nanowire transparent conductive electrodes on the performance of organic light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 121(10), 105304.
- [16] Zhao, J., Chen, X., Yang, Z., Liu, T., Yang, Z., Zhang, Y., ... & Chi, Z. (2018). Highly-efficient doped and nondoped organic light-emitting diodes with external quantum efficiencies over 20% from a multifunctional green thermally activated delayed fluorescence emitter. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123(2), 1015-1020.
- [17] Stark, M. S. (1997). Epoxidation of alkenes by peroxy radicals in the gas phase: structure- activity relationships. *The Journal of Physical Chemistry A*, 101(44), 8296-8301.
- [18] Erkan, S. (2019). Activity of the rucronium molecule and its derivatives: A theoretical calculation. *Journal of Molecular Structure*, 1189, 257-264.
- [19] Gruhn, N. E., da Silva Filho, D. A., Bill, T. G., Malagoli, M., Coropceanu, V., Kahn, A., & Brédas, J. L. (2002). The vibrational reorganization energy in pentacene: molecular influences on charge transport. *Journal of the American Chemical Society*, 124(27), 7918-7919.
- [20] Gao, J., Li, J., Li, X., Han, D., Guo, P., Zhu, X., & Shang, X. (2019). Theoretical investigation on the effect of the modification of 2-phenylpyridine ligand on the photophysical properties for a series of iridium (III) complexes with carbazate ancillary ligands. *Journal of Luminescence*, 209, 365-371.
- [21] Üngördü, A. (2020). Electronic, optical, and charge transfer properties of porphyrin and metallated porphyrins in different media. *International Journal of Quantum Chemistry*, 120(6), e26128.
- [22] Chan, R. K., & Liao, S. C. (1970). Dipole moments, charge-transfer parameters, and ionization potentials of the methyl-substituted benzene-tetracyanoethylene complexes. *Canadian Journal of Chemistry*, 48(2), 299-305.



## CELL CULTURE TEST AND BACTERIAL GROWTH EVALUATION OF NiTiNbX (X=Ta and V) BIOCOMPATIBLE SHAPE MEMORY ALLOYS IN SIMULATED BODY FLUID

Esra Balci<sup>\*1</sup>, Cennet Canan Karaderi<sup>2</sup>, Hüseyin Kahraman<sup>2</sup>, Fethi Dagdelen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, - Elazığ/Türkiye

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Malatya, /Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

In this study, a quaternary biocompatible shape memory alloy (BSMA) was produced by adding different ratios of Ta and V elements to the equiatomic NiTi and Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>23</sub> ternary alloy. Prepared alloys; They were coded as Ni<sub>50</sub>Ti<sub>50</sub> (EB1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>23</sub> (EB2), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>22</sub>Ta<sub>1</sub> (E1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>20</sub>Ta<sub>3</sub> (E3), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>18</sub>Ta<sub>5</sub> (E5), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>22</sub>V<sub>1</sub> (B1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>21</sub>V<sub>2</sub> (B2) ve Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>18</sub>V<sub>5</sub> (B5). The BSMA samples prepared to be used for this experiment were cut in regular and equal sizes and subjected to sterilization processes. Simulated body fluid (SBF), in which the prepared alloys were in contact, was prepared in the laboratory and used in in-vitro studies. In this study, a closed incubator system was preferred and a pathogenic bacterium, *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), was used. For the production of bacteria, Nutrient agar solid was prepared. Bacterial cell density grown in the artificial body fluid with the control (simulated body fluid); determined for each alloy using a spectrophotometer (OD<sub>600</sub>). In the other stage; bacteria were cultivated from liquid culture (SBF containing *Pseudomonas aeruginosa*) to petri dishes containing solid media by smear method for each alloy. At the end of this period, bacterial colonies were observed with an ultraviolet (UV) lamp. The degree of biocompatibility was evaluated according to the results of the cell culture test performed for examination. It was observed that the cell density values of NiTiNbTa BSMA's added with Ta element were lower than the control (SBF). In addition, much lower values were determined in the alloys prepared with the increase of vanadium element contribution in NiTiNbV BSMA. According to the bacterial growth tests obtained, it can be said that the Ta element increases the biocompatibility in NiTi alloys, since fewer bacterial colonies are seen in the Ta element added environments than the others.

**Keywords:** Biocompatible shape memory alloy, *pseudomonas aeruginosa*, In-Vitro, NiTiNbTa, NiTiNbV.

## NiTiNbX (X=Ta ve V) BİYUYUMLU ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARIN YAPAY VÜCUT SIVISI İÇERİSİNDE HÜCRE KÜLTÜR TESTİ VE BAKTERİ ÜREME DEĞERLENDİRİLMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada eş atomlu NiTi ve Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>23</sub> üçlü alaşıma farklı oranlarda Ta ve V elementi katılarak dörtlü biyoyumlu şekil hatırlamalı alaşım (BŞHA) üretildi. Hazırlanan alaşımlar; Ni<sub>50</sub>Ti<sub>50</sub> (EB1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>23</sub> (EB2), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>22</sub>Ta<sub>1</sub> (E1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>20</sub>Ta<sub>3</sub> (E3), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>18</sub>Ta<sub>5</sub> (E5), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>22</sub>V<sub>1</sub> (B1), Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>21</sub>V<sub>2</sub> (B2) ve Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>18</sub>V<sub>5</sub> (B5) şeklinde kodlandı. Daha sonra BŞHA'lar düzenli ve eş boyutta olmak üzere kesildi ve sterilizasyon işlemlerinden geçirildi. Hazırlanan alaşımların temas halinde bulunmuş olduğu yapay vücut sıvısı (SBF) laboratuvar ortamında hazırlandı ve in-vitro çalışmalarda kullanıldı. Bu çalışmada kapalı inkübatör sistemi tercih edilmiştir ve patojen bir bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) suşu kullanılmıştır. Bakteri üretimi için, Nutrient agar besiyeri hazırlandı. Kontrol (yapay vücut sıvısı) ile numunelerin temas ettiği yapay vücut sıvısı içerisinde üreyen bakteri hücre yoğunluğu; her bir alaşım için spektrofotometre (OD<sub>600</sub>) kullanılarak belirlendi. Diğer aşamada ise; katı besi yeri içeren petri kaplarına, sıvı kültüründen (*Pseudomonas aeruginosa* içeren SBF) her bir alaşım için yayma yöntemi ile bakteri ekimi gerçekleştirildi. Bu süre sonunda, ultraviyole (UV) lambası ile üreyen bakteri kolonileri gözlemlendi. Biyoyumluluk derecesi incelenmesi için yapılan hücre kültür testi sonuçlarına göre değerlendirildi. Ta elementi ile katılanmış NiTiNbTa BŞHA'ların hücre yoğunluk değerleri kontrol (SBF)' ye göre daha düşük değerlerde olduğu gözlemlendi. Ayrıca, NiTiNbV BŞHA'da vanadyum elementi katkısının artması ile hazırlanan alaşımlarda çok daha düşük değerler tespit edilmiştir. Elde edilen bakteriler üreme testlerine göre, Ta elementi katkılı ortamlarda diğerlerine göre daha az bakteri kolonisi görüldüğü için NiTi alaşımlarda, Ta elementinin biyoyumluluğu arttırdığı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoyumlu şekil hatırlamalı alaşım, *pseudomonas aeruginosa*, In-Vitro, NiTiNbTa, NiTiNbV.

\* Corresponding author

E-mail address: eesra0122@gmail.com (E. Balci)

Received 14 January 2022; Received in revised form 10 February 2022; Accepted 22 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1057497>

## 1 Giriş

Akıllı malzemeler dışarıdan uygulanan fiziksel parametreler örneğin; sıcaklık, nem, basınç, elektriksel ve manyetik alan gibi çevresel etkiler karşısında istenilen tepkilerin alınabildiği malzemelerdir. Bu malzemeler, dışarıdan uygulanan etkiler karşısında istenilen tepkileri anlık ve aralıksız bir şekilde yerine getirebilen özelliktedir. En yaygın olarak kullanılan akıllı malzeme türleri şekil hatırlamalı alaşımlardır (SHA)[1]. SHA sistemlerinde diğer alaşım grupları içerisinde NiTi bazlı şekil hatırlamalı alaşımların; dönüşüm fonksiyonları, korozyona olan dayanımları, sertlikleri, yüksek biyouyumluluk ve süper elastiklik gibi üstün özelliklerinden dolayı günümüzde en yaygın kullanım alanlarına sahiptir [2-9].

NiTi alaşımları ikili veya çoklu alaşım sistemi olarak kullanılabilir. Alaşıma katılan elementler sayesinde alaşımın fiziksel özelliklerinde (termodinamik parametreleri, faz dönüşüm sıcaklıkları, yapısal ve mekanik özellikleri) ve biyouyumluluklarında iyileştirmeler hedeflenir. Fe, Cu, Nb elementlerine ek olarak Ta ve V elementleri ilave edilmiş olan alaşımların dönüşüm histeresizlikleri, mekanik ve biyouyumlulukları değiştirilebilir [10-13]. Bu elementler arasında Nb, Ta ve V elementlerinin biyolojik olarak yan etkileri olmadığı bilinmektedir [14]. Biyomalzeme olarak kullanılabilen alaşımlarda, ana metallere katılan üçüncü veya dördüncü minör elementler ise çeşitlilik açısından daha zengin olabilir. Buradaki parametreler sağlığa risk oluşturan elementler göz önüne alınarak hazırlanmalıdır. Yıllardır biyoygulama alanlarında kullanımı mevcut olan V elementi ise; NiTi bazlı şekil hatırlamalı alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan elementler içerisinde var olmaktadır [15-19].

Biyouyumluluğun değerlendirilmesinde, materyallerin kullanılan canlı doku üzerine zarar vermesi ya da toksik etkilerinin dereceleri son derece önemli bir unsurdur. Kullanılan biyomalzemeler ve uygulandığı alan birbirleri ile uyum içerisinde olmalıdır. Biyomalzeme ile vücut sıvısı, ağız içi salya, kan sıvısı, yiyecek ve içeceklerden canlıya geçen protein ve diğer saldırganlar ile etkileşimin kimyasal ve fizyolojik sonuçları hala tartışma konusudur. Biyouyumluluk, yüzey ve yapısal uyumluluk olarak iki sınıfa ayrılabilir [20]. Yüzey uyumluluk durumunda; kullanılan materyallerin vücut dokularında fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak uyumlu olması durumu söz konusu iken, yapısal uyumlulukta kullanılan materyallerin vücut dokularının mekanik davranışlara karşı sağlamış olduğu en mükemmel uyumdur. Yeni üretilen biyomalzemeler uygulama alanlarına çıkmadan önce, canlıda istenmeyen etkilere sebep olmamaları amacıyla çeşitli biyolojik testlere tabi tutulurlar. Öncelikli olarak vücut dışında (in-vitro) sonra ise vücut içerisinde (in-vivo) testleri uygulanır. Bir materyalin biyouyumlu olup olmadığını kontrol etmek için korozyon testinden mutlaka geçirelmedir [21]. Biyouyumlulukta durağan bir akış gözlenmez; konakçı, materyal ve materyallerin oluşum fonksiyonları sürekli olarak birbirleri ile etkileşim halindedir. Bu faktörlerden herhangi birinde değişiklik meydana gelirse biyouyum bozulur [22, 23]. Kullanılan materyallerin, biyouyumluluk testleri bu süreci belirlemede önemli olarak yer alır. Bu testlerden in-vitro çalışmalar içerisinde yer alan hücre kültür testleri etkin yöntemler

arasında yer alır. Test edilecek olan malzemelerin karakteristikleri ve temas ettiği canlı dokulara temas yöntemi önemlidir.

Hücre kültür testlerinde temel olan, canlı dokulara ait olarak alınan parçaların in-vitro çalışma koşullarında yaşamaları ve üremelerini sağlamaktır. Bu kültürler; çeşitli laboratuvar cihazlarında (otoklav, inkübatör, etüv) uygun besi ortamları (Nutrient Broth, Nutrient agar, SBF) içerisinde yaşamı devam ettirilerek kullanılan canlı doku ya da doku gruplarını kapsamaktadır. Hazırlanmış olan besi ortamlarında hücrelerin yaşaması, beslenmesi ve çoğalması için bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu deney aşamasında hazırlanmış olan besi ortamları ve bakteri örnekleri günlük ya da haftalık kontrol edilmesi gereklidir. Hazır olan besi ortamlarında mikroorganizmaların gelişip çoğalabilmesi için ideal bir ortam (uygun sıcaklık, sterilizasyon, pH, ışık faktörü vb.) oluşturulmalıdır. Bu nedenlerden dolayı kültür ortamında kontaminasyona (yani; canlıya ait doku kültürlerinin mikro plazmalar, bakteriler, mantarlar ya da virüs türleri gibi çeşitli mikroorganizmalar tarafından enfekte edilmesi olayı) sebep olabilecek sterilizasyonlar yapılmalıdır. Kontaminasyon olayı makroskopik veya mikroskopik olarak kültür ortamında gözlemlenebilir. Hazırlanan besi yerlerinde kullanılan tüm gereçler mutlaka her kullanımdan önce sterilizasyon amaçlı alevden geçirilmelidir. Öncelikle, testi yapılacak materyalin fiziksel özellikleri ve bakterilerle temas yöntemi önemlidir. Kültürde bulunan bakteriler, temas edilen yüzeye bağımlı olarak farklılık gösterir. Son çalışmalarda ağırlıklı olarak patojen bir bakteri türü olan *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) suşu kullanılmaya başlanmıştır [24]. *Pseudomonadaceae* familyası içerisinde yer alan bu bakteri türü farklı özelliklere sahiptir. Ortamda çoğalabilmeleri için gerekli olan gelişme faktörlerini kendileri sentezleyebilmektedir [25]. Fırsatçı bir bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa*, hücre dışı polimerik maddelerle biyofilm oluşturma kabiliyeti nedeniyle bazen içme suyu boru hattı sistemlerinde tespit edilir [26]. Bu bakteri türü bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda ciddi enfeksiyonlara sebep olan Gram(-) yani patojen bir bakteri türüdür. Uzunlukları çok değişik (1.5-3µm) olmasının yanı sıra ikili bazen de kısa zincirler halinde görülmektedir [27]. Bu bakterilerin kültürel özellikleri uygun besi ortamlarında optimum 30-37°C’ de ve düşük alkali ortamlardır. Bu özelliklerinden dolayı daha yaygın çalışma alanlarında tercih edilirler. Ayrıca bu bakteri türünün kolay tespit edilebilmeleri UV lambaları altındaki analizleri ile kolay hale gelmektedir [26]. *Pseudomonas aeruginosa* türünün kendine has ayırt edici özelliklerinden birisi Pyocyanin üretmesidir [28]. *P. aeruginosa* suşları ise temelde iki çeşit pigment üretirler: Piyosyanin (mavi) ve piyoverdin (veya fluorescein-sarı-yeşil). Bu pigment alkali pH’ da mavi veya yeşilimsi renk oluşturduğu için “*aeruginosa*” adı verilmiştir [29]. Ayrıca epitelin fonksiyonlarını bozar ve toksik serbest radikallerin salgılanmasına neden olarak, daha önceden meydana gelmiş olan doku hasarını artırır [30].

Bu çalışmada; akıllı malzemeler arasında günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan eş atomlu NiTi şekil hatırlamalı alaşımlara Nb elementi katılarak hazırlanan üçlü Ni<sub>27</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>23</sub> şekil hatırlamalı alaşımı ve farklı oranlarda Ta ile V elementlerinin ilave edilerek yeni formu

oluşturulmuş dördü NiTiNbTa ile NiTiNbV BŞHA'ların biyoyoumluluk değerlendirilmesinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Alaşımların Hazırlanması

Bu çalışmada araştırılan her bir alaşım % 99,9 saflıkta Merk marka - 325 mesh metal tozlarından karıştırılarak ark-ergitme yöntemiyle üretildi. Toz halde istenilen oranlarda hazırlanan alaşımların metal tozları hidrolik baskı yardımıyla beş ton basınç uygulanarak her biri 13 mm çapında peletler haline getirildi. Pelet haline getirilen metal tozları, ark ergitme fırınında da birkaç kez eritilerek şekil hatırlamalı alaşımlar oluşturuldu[8, 31, 32]. Böylece 10 gramlık ŞMA'lar elde edildi. Elde edilmiş alaşımlar Tablo 1'de ki adlandırma ve atomik yüzdelere sahip olmak üzere oluşturulan kodlar ile verildi.

**Tablo 1:** Hazırlanan alaşımların kodları ve kompozisyonları.

Alaşımlar	Alaşımların kompozisyonu (% at.)				
	Ti	Ni	Nb	Ta	V
EB1	50	50	-	-	-
EB2	50	27	23	-	-
E1	50	27	22	1	-
E3	50	27	20	3	-
E5	50	27	18	5	-
B1	50	27	22	-	1
B2	50	27	21	-	2
B5	50	27	18	-	5

Bu deney için kullanılmak üzere hazırlanmış olan BŞHA numuneleri her biri düzenli ve eş boyutta olmak üzere 2x1x1 mm<sup>3</sup> oranlarında kesilerek sterilizasyon işlemlerinden geçirildi ve deneyde kullanılabilir hale getirildi. Uygun boyutlarda kesilerek hazırlanmış alaşım numuneleri ve hazırlanan SBF (20 ml) erlen içerisine koyuldu.

### 2.2 SBF Hazırlanması

Bu deneyde hazırlanan alaşımların temas halinde bulunmuş olduğu yapay vücut sıvısı hazırlamak için; 1000 ml'lik bir behere 700 ml distile (mineral katkı içermeyen saf su) su döküldü. Daha sonra bu su manyetik bir karıştırıcı ile karıştırıldı ve 309,5±1,5 K'ye (36,5±1,5 °C) kadar ısıtıldı. 1000 ml SBF hazırlamak için kullanılan reaktiflerin sırası, miktarı ve formülleri Tablo 2'de verildi.

**Tablo 2:** 1000 mL SBF hazırlamak için kullanılan reaktiflerin sırası, miktarı ve formül ağırlığı.

Sıralama	Reaktif	Miktar	Formül ağırlığı
1	NaCl	8.035 gr	58.44
2	NaHCO <sub>3</sub>	0.355 gr	84.01
3	KCl	0.225 gr	74.55
4	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.176 gr	174.18
5	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.311 gr	203.30
6	HCl	39 mL	-
7	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.382 gr	147.01
8	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.072 gr	142.04
9	Tris	6.118 gr	121.14
10	1,0 M HCl	0.5 mL	-

1'den 8'e kadar olan reaktifler belirlenen sıcaklıkta (36,5±1,5 °C) damıtılmış suya eklendi. Kullanılan her malzemenin birbiri içinde çözünmesi gerçekleştirildi.

Çözeltinin pH değeri 2,0±1,0 olarak tespit edildi. Sonuç olarak, sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 309,5±0,5 K ve 7.30±0.05'te sabit kaldığında hazırlanan çözeltiliye Tris ilave edildi. Çözeltiliye hidroklorik asit (HCl) damlaları eklenerek pH değeri vücut dengelerine uyumlu olarak 7.30±0.05'te sabitlendi. Yapay olarak laboratuvar ortamında hazırlanmış olan bu solüsyon saklama koşulları gereği buzdolabında tutularak, *in-vitro* çalışmalarda kullanıldı.

### 2.3 Katı Besi Ortamının Hazırlanması

Toplam hacim 200 ml olacak şekilde Nutrient agar besiyeri hazırlandı ve otoklava (121°C ve 1.5 saat bekleme süresi) koyuldu. Petrilere steril olmaları amacıyla pastör fırınına (180 °C ve 60 dk bekleme süresi) koyuldu. Sterilizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra, hazırlanan her bir besi yeri alevin yanında sıcak bir şekilde petrilere aktarıldı. Tekrar üzerleri alevden (sterilizasyona amacı) geçirilerek katılaşımları tamamlandıktan sonra 4 °C buzdolabında saklandı.

*In-vitro* kültür testlerinde, bu mikroorganizmaların yaşatılması için açık ya da kapalı sistem inkübatörleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kapalı inkübatör sistemi tercih edilmiştir ve patojen bir bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) suşu kullanılmıştır. Öncelikle; katıdan sıvı yöntemi kullanılarak *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853)'nın ekimi yapıldı. Üreyen bakteri ekimlerinden 100µl alınarak yapay vücut sıvısı içerisine koyularak 24 saat, 37 °C'de gece boyu (O/N) üretilmiştir. Kontrol (sadece yapay vücut sıvısı) ile yapay vücut sıvısı içerisinde üreyen bakteri hücre yoğunluğu; her bir alaşım için SHIMADZU markalı spektrofotometre (OD<sub>600</sub>) kullanılarak belirlendi. Diğer aşamada ise; katı besi yeri içeren (Nutrient Broth agar) petri kaplarına, sıvı kültüründen (*Pseudomonas aeruginosa* içeren SBF) her bir alaşım için yayma yöntemi ile bakteri ekimi gerçekleştirildi ve etüvde (37 °C ve statik ortam) 24 saat bekletildi. Bu süre sonunda, CAMAG marka ultraviyole (UV) lambası ile üreyen bakteri kolonileri gözlemlendi.

## 3 Bulgular ve Tartışma

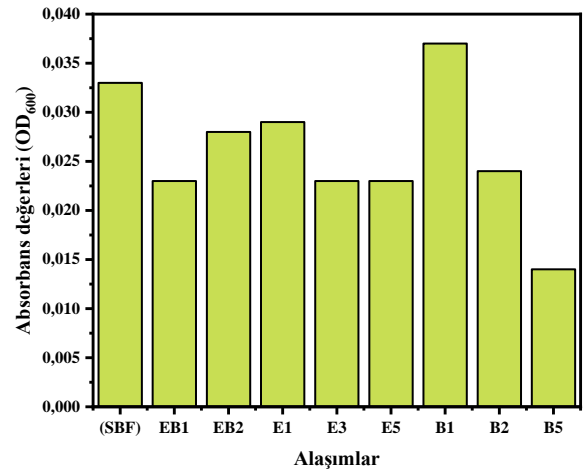
Biyometalik malzemeler temel olarak tıbbi alanda kullanılmalarına karşın biyoteknoloji alanında da kullanılmaktadırlar. Bu implantlar, medikal uygulamalarda önemli alana sahiptir. Bu yüzden bir takım testlerden geçirilmiş; dayanıklılıkları ve biyoyoumluluk özelliklerinin insan vücuduna ne kadar oranda yakın olduğu araştırma konusu olmuştur. Hücre kültür testi içerisinde yer alan yöntemlerden hücre yoğunluk ve bakteri üreme testleri değerlendirilecektir.

Yapılan hücre kültür testinin ilk aşamasında Şekil 1'de verilen SBF'de üreyen *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853)'nın OD<sub>600</sub>'de hücre yoğunlukları incelenirse, en yüksek değer B1 alaşımına ait olduğu tespit edildi. Vanadyum elementi ile katılan alaşımın teması olduğu SBF'de daha fazla bakteri ürediği sonucuna varılabilir. E.Balci ve diğerlerinin yapmış oldukları bir çalışmada, NiTiNbX(X=V,Ta) ŞHA'ların biyoyoumluluk derecesi incelenmesi için korozyon testi sonuçlarında Ta elementi ile katılan alaşımların biyoyoumluluklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir [8]. Öte yandan içerisinde Ta

elementi ile katkılanmış diğer numunelerin hücre yoğunluk değerleri kontrol (SBF) 'ye göre daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenirken, vanadyum elementinin artması ile hazırlanan alaşımlarda çok daha düşük değerler tespit edilmiştir. OD<sub>600</sub>'de okunan hücre yoğunlukları Tablo 3'de verildi.

Bakteri hücre sayımı analizi; üzerinde çok sayıda bakteri üremiş olduğu için bakteri sayımı yapılamadı. Her bir kapalı inkübatör sisteminde UV lambası altında üreyen bakteriler gözlemlendi. Gözlemi yapılan besi ortamlarının UV lambası altındaki meydana gelen bakteri kolonileri Şekil 2'de verildi. Eş atomlu NiTi ve Nb elementi katkılı Ni<sub>23</sub>Ti<sub>50</sub>Nb<sub>27</sub> alaşımının diğer alaşımlara göre daha yoğun bakteri kolonisine sahip olduğu gözlemlenirken, NiTiNbTa alaşımlarda hazırlanan kapalı inkübatörlerde gözlemlenen bakteri kolonilerinin daha az olduğu fark edildi. S. M. Vater ve ark. *P. aeruginosa*'nın yüzme hareketi ile ilgili yapmış olduğu yarı katı agarlı besiyerleri içerisinde hazırlanmış olan bir çalışmada *P. aeruginosa* türlerinin yüzme hareketi yapabildiğini ve bu bakterinin çoğaldığını göstermişlerdir [33]. Gözlemlenen bakteri kolonileri, OD<sub>600</sub>'de okunan hücre yoğunluk değerleri grafiği ile uyum içerisindedir. Sonuç olarak Ta elementi katkılı alaşımlarda diğerlerine göre daha az bakteri kolonisi görüldüğünden dolayı biyoyumlu implant uygulamalarında NiTiNbTa BŞHA'ların kullanılabilirliğini artırmıştır. Çalışmada kullanılan bakteri ortamında savunma mekanizması olarak bir metabolit olan *Pyocyanin* üretimini gerçekleştirmiştir. Bu pigment mavimsiyişil renkte kendini göstermektedir. Bakteriler stres ortamına girdiği için *Pyocyanin* pigmenti üretmiştir. Bu renkler Şekil 2'de açıkça görülmektedir. Alaşımli ortamlarda bu pigmentin varlığı dikkat çekmektedir. H. Kahraman ve C.C. Karaderi'nin farklı organik atıkların (peynir altı suyu, atık kızartma yağı, melas, türk kahvesi telvesi ve çay suyu atığı) besi ortamı olarak kullanıldığı çalışmada *P. aeruginosa*'nın maliyeti düşük, toksik olmayan ortamlarda *Pyocyanin* pigment üretimini gerçekleştirdiği gösterilmiştir [34]. V elementi toksik bir element iken, Ta elementinin toksik olmadığı bilinmektedir. H. Kahraman ve C.C. Karaderi'nin yaptığı çalışmaya kıyasla; NiTiNbTa alaşımlarla temas halinde kapalı inkübatör sisteminde tutulmuş olan *P. aeruginosa*'nın savunma mekanizması için üretmiş olduğu

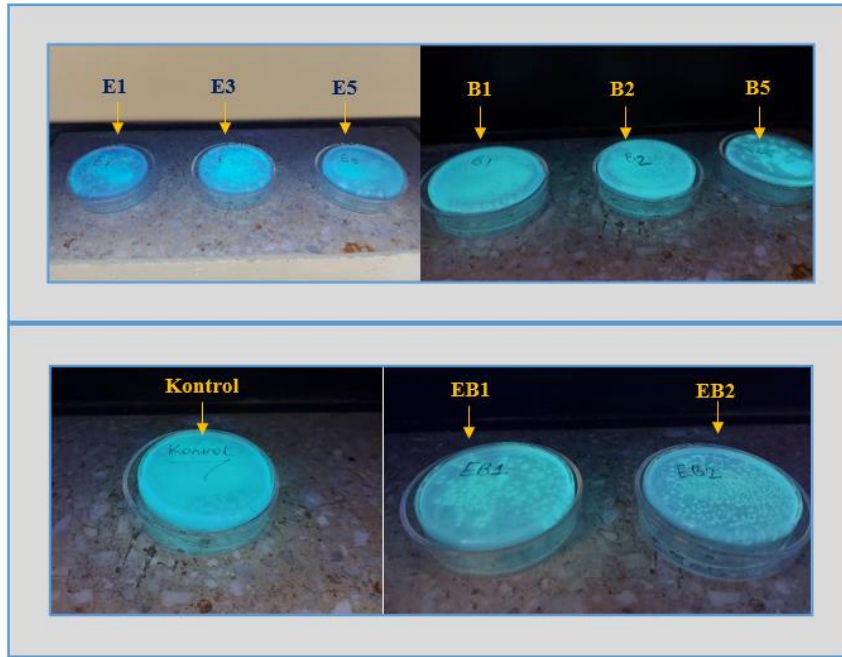
*Pyocyanin* pigmenti daha fazla olduğu ve biyoyumluluk derecesinin daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Kültür ortamında oluşan bu pigment oksijensiz ortamda üretilmez. Bunlara ek olarak; literatürde mevcut olan birkaç çalışma Ta, Sn gibi elementlerin oluşturduğu TiO<sub>2</sub> tabakasının [35] antibakteriyel etkisini bildirmiştir, çünkü bu oksitler güçlü antibakteriyel özelliklerinden bahseder [36-44]. Marrez ve ark, *P. aeruginosa*'nın ürettiği *pyocyanin* pigmentinin biyolojik aktivitesi ve uygulamaları ile ilgili yaptığı derlemede *pyocyanin* antibakteriyel, antifungal ve kanser hücrelerine karşı antikanser aktivite gösterdiğini belirtmişlerdir [45]. Başka bir çalışmada ise El Feghali ve ark, *P. aeruginosa*'nın ürettiği *pyocyanin* bir inhibitör olarak kullanıldığında biyofilm (hücrelerin birbirine ve/ya da buldukları yüzeye yapıştıkları bir mikroorganizma topluluğudur) oluşumunun engellenebileceğini ve bu sayede patojen bakterilerin (örneğin; *P. aeruginosa*) üremelerinin engellenebileceğini göstermişlerdir [46]. Bu çalışmalara bakıldığında *pyocyanin* hem stres metaboliti hem de inhibitör olarak kullanılabilirliği görülmektedir. NiTi, NiTiNb ve NiTiNbTa alaşımlarının implant uygulamalarında antibakteriyel, antikanser davranış sergileyen *pyocyanin* pigmentinin ürettiği söylenebilir.



Şekil 1. SBF'de üreyen *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853)'nin OD<sub>600</sub>'de hücre yoğunlukları.

Tablo 3. Alaşımlarda OD<sub>600</sub>'de okunan hücre yoğunlukları.

Alaşım	OD <sub>600</sub> 'de okunan hücre yoğunluk değeri
Kontrol (SBF)	0.033
Ni <sub>50</sub> Ti <sub>50</sub>	0.023
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>23</sub>	0.028
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>22</sub> Ta <sub>1</sub>	0.029
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>20</sub> Ta <sub>3</sub>	0.023
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>18</sub> Ta <sub>5</sub>	0.023
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>22</sub> V <sub>1</sub>	0.037
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>21</sub> V <sub>2</sub>	0.024
Ni <sub>27</sub> Ti <sub>50</sub> Nb <sub>18</sub> V <sub>5</sub>	0.014



Şekil 2. Besi ortamlarının UV lambası altında görüntülenen bakteri kolonileri.

#### 4 Sonuç

Biyouyumluluk derecesi incelenmesi için yapılan hücre kültür testi sonuçlarına göre; Ta elementi ile katkılanmış diğer numunelerin hücre yoğunluk değerleri kontrol (SBF) 'ye göre daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenirken, vanadyum elementi katkısının artması ile hazırlanan alaşımlarda çok daha düşük değerler tespit edilmiştir. *Pseudomonas aeruginosa* türünün kendine has ayırt edici özelliklerinden birisi *Pyocyanin* üretimi gözlenmiştir. Alaşımli ortamlarda bu pigmentin varlığı dikkat çekmektedir. NiTiNbTa alaşımlarla temas halinde kapalı inkübatör sisteminde tutulmuş olan *P. aeruginosa*'nın savunma mekanizması için üretmiş olduğu *Pyocyanin* pigmenti daha fazla olduğu ve biyouyumluluk derecesinin daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Sonuç olarak Ta elementi katkılı ortamlarda diğerlerine göre daha az bakteri kolonisi görüldüğü için bu da biyouyumluluk çalışmalarında ŞHA' ların kullanılabilirliğini artırmıştır. Bu derlemeden de anlaşılacağı üzere patojen bir bakteri olan *P. aeruginosa*'nın bu karakteristik özelliği sayesinde mikrobiyoloji, biyoteknoloji ve kanser gibi pek çok bilim dalında gelişme gösterdiğini söylemek mümkündür. Alaşımli ortamlarda *P. aeruginosa*'nın bu pigmenti oluşturduğu görülmesi ile ileride yapılacak bu gibi pek çok çalışmalara önemli katkılar sağlanabileceği düşünülmektedir.

#### Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

#### Kaynaklar

[1] Mohammed, S., Mediha, K. Ö. K., Qader, I. N., & Coşkun, M. A Review Study on Biocompatible Improvements of NiTi-based Shape Memory Alloys. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 125-130.

- [2] Karaca, H. E., Acar, E. M. R. E., Basaran, B., Noebe, R. D., Bigelow, G., Garg, A., ... & Chumlyakov, Y. I. (2012). Effects of aging on [1 1 1] oriented NiTiHfPd single crystals under compression. *Scripta Materialia*, 67(7-8), 728-731.
- [3] Acar, E., Karaca, H. E., Basaran, B., Yang, F., Mills, M. J., Noebe, R. D., & Chumlyakov, Y. I. (2013). Role of aging time on the microstructure and shape memory properties of NiTiHfPd single crystals. *Materials Science and Engineering: A*, 573, 161-165.
- [4] Acar, E. (2015). Dynamic mechanical response of a Ni45. 7Ti29. 3Hf20Pd5 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 633, 169-175.
- [5] Acar, E., et al., Compressive response of NiTiHfPd and NiTiHfPd shape-memory alloys. *Journal of Materials Science*, 2015. 50(4).
- [6] Karaca, H. E., Acar, E., Tobe, H., & Saghaian, S. M. (2014). NiTiHf-based shape memory alloys. *Materials Science and Technology*, 30(13), 1530-1544.
- [7] Balci, E. and F. Dağdelen, Investigate of Microhardness and Microstructure of Ti-Ni-Nb-X (Ta and V) Shape Memory Alloys. *International Journal of Innovative Engineering Applications*. 5(2): p. 131-135.
- [8] Balci, E., Dağdelen, F., Qader, I. N., & Kok, M. (2021). Effects of substituting Nb with V on thermal analysis and biocompatibility assessment of quaternary NiTiNbV SMA. *The European Physical Journal Plus*, 136(2), 145.
- [9] Balci, E., & Akpınar, S. (2021). Quaternary Element Incorporation Effects on Thermal Properties and Crystal-Micro Structure of Cu-Al-Fe High Temperature Shape Memory Alloys. *International Journal of Thermodynamics*, 24(2), 119-126.
- [10] Zhang, Y. Q., Jiang, S. Y., Zhao, Y. N., & Ming, T. (2012). Influence of cooling rate on phase transformation and microstructure of Ti-50.9% Ni shape memory alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(11), 2685-2690.
- [11] Mousavi, T., Karimzadeh, F., & Abbasi, M. H. (2008). Synthesis and characterization of nanocrystalline NiTi intermetallic by mechanical alloying. *Materials Science and Engineering: A*, 487(1-2), 46-51.
- [12] Ying, C., Hai-Chang, J., Li-Jian, R., Li, X., & Xin-Qing, Z. (2011). Mechanical behavior in NiTiNb shape memory alloys with low Nb content. *Intermetallics*, 19(2), 217-220.

- [13] Hamilton, R. F., Lanba, A., Ozbulut, O. E., & Tittmann, B. R. (2015). Shape memory effect in cast versus deformation-processed NiTiNb alloys. *Shape Memory and Superelasticity*, 1(2), 117-123.
- [14] Dagdelen, F., Balci, E., Qader, I. N., Ozen, E., Kok, M., Kanca, M. S., ... & Mohammed, S. S. (2020). Influence of the Nb content on the microstructure and phase transformation properties of NiTiNb shape memory alloys. *JOM*, 72(4), 1664-1672.
- [15] Campbell, F. C. (Ed.). (2012). *Phase diagrams: understanding the basics*. ASM international.
- [16] Lin, H. C., Yang, C. H., Lin, M. C., Lin, C. S., Lin, K. M., & Chang, L. S. (2008). Aging effect on a Ti47. 25Ni48. 75V4 shape memory alloy. *Journal of alloys and compounds*, 449(1-2), 119-124.
- [17] Lin, H. C., Lin, K. M., Chang, S. K., & Lin, C. S. (1999). A study of TiNiV ternary shape memory alloys. *Journal of alloys and compounds*, 284(1-2), 213-217.
- [18] Mao, H., Yang, H., Shi, X., Li, Y., Zhang, J., & Jiang, J. (2018). Transformation and superelastic characteristics of large hysteresis TiNi matrix shape memory alloys reinforced by V nanowires. *Materials Letters*, 228, 391-394.
- [19] Oymak, M.A., E. Bahçe, and İ. Gezer, Investigation of Cryogenic Cooling Effect With Finite Element Method In Micro Milling Of Ti6Al4V Material. *International Journal of Innovative Engineering Applications*. 5(2): p. 93-100.
- [20] International Orienteering Federation Standards (1997). *Dentistry-Preclinical Evaluation of Biocompatibility of Medical Devices Used in Dentistry Test Methods for Dental Materials/IOS (ISO-7405)*.
- [21] Oshida, Y. (2010). *Bioscience and bioengineering of titanium materials*. Elsevier.
- [22] Schmalz, G. (1998). Concepts in biocompatibility testing of dental restorative materials. *Clinical oral investigations*, 1(4), 154-162.
- [23] Wataha, J. C. (2001). Principles of biocompatibility for dental practitioners. *The Journal of prosthetic dentistry*, 86(2), 203-209.
- [24] Tremblay, J., Richardson, A. P., Lépine, F., & Déziel, E. (2007). Self-produced extracellular stimuli modulate the *Pseudomonas aeruginosa* swarming motility behaviour. *Environmental microbiology*, 9(10), 2622-2630.
- [25] Şen, A., & Halkman, A. K. (2006). Çiğ sütte *Pseudomonas aeruginosa* sayılması için yöntem modifikasyonları üzerine çalışmalar. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 4(2), 2-13.
- [26] Rattanukul, S., & Oguma, K. (2018). Inactivation kinetics and efficiencies of UV-LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, and surrogate microorganisms. *Water research*, 130, 31-37.
- [27] Karaderi, C.C. (2016). *Pseudomonas aeruginosa, escherichia coli ve enterococcus faecalis' de farklı ortam koşullarında protaz, prolin ve biofilm üretimi ile kayma hareketlerinin incelenmesi* (Master's dissertation, İnönü University).
- [28] Calfee, M. W., Coleman, J. P., & Pesci, E. C. (2001). Interference with *Pseudomonas* quinolone signal synthesis inhibits virulence factor expression by *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(20), 11633-11637.
- [29] Sırıken, B., & Veli, Ö. Z. (2017). *Pseudomonas aeruginosa*: Özellikleri ve Quorum Sensing Mekanizması. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (18), 42-52.
- [30] Britigan, B. E., Railsback, M. A., & Cox, C. D. (1999). The *Pseudomonas aeruginosa* secretory product pyocyanin inactivates a1 protease inhibitor: implications for the pathogenesis of cystic fibrosis lung disease. *Infection and immunity*, 67(3), 1207-1212.
- [31] Dağdelen, F., Balci, E., & Ercan, E. (2021). Ti-27Ni-20Nb-3V Alaşımın Faz Dönüşüm Sıcaklıkları, Korozyon Direnci ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 796-802.
- [32] Dagdelen, F., Balci, E., Qader, I. N., Aydogdu, Y., & Saydam, S. (2021). Effects of Substituting Nb with Ta on Microstructure and Thermal Properties of Novel Biocompatible TiNiNbTa Shape Memory Alloys. *Physics of Metals and Metallography*, 122(14), 1572-1580.
- [33] Vinoth, J., Murugan, S., & Stalin, C. (2014). Optimization of alkaline protease production and its fibrinolytic activity from the bacterium *Pseudomonas fluorescens* isolated from fish waste discharged soil. *African Journal of Biotechnology*, 13(30), 3052-3060.
- [34] Kahraman, H., & Karaderi, C. C. (2021). Pyocyanine Production, Twitching Motility and Hydrophobicity of Different Wastes on *Pseudomonas aeruginosa*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(2).
- [35] Kaygili, O., Bulut, N., Tatar, C., Tankut, A., & Turan, İ. N. C. E. (2017). Sol-gel synthesis and characterization of TiO2 powder. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 1(2), 38-40.
- [36] Kamaraj, P., Vennila, R., Arthanareeswari, M., & Devikala, S. (2014). Biological activities of tin oxide nanoparticles synthesized using plant extract. *World J Pharm Pharm Sci*, 3(9), 382-388.
- [37] Amininezhad, S. M., Rezvani, A., Amouheidari, M., & Mohamad, S. (2015). The Antibacterial Activity of SnO2 Nanoparticles against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 2015. 17(9).
- [38] Chang, Y. Y., Huang, H. L., Chen, H. J., Lai, C. H., & Wen, C. Y. (2014). Antibacterial properties and cytocompatibility of tantalum oxide coatings. *Surface and Coatings Technology*, 259, 193-198.
- [39] Ghoranneviss, M., & Shahidi, S. (2013). Effect of various metallic salts on antibacterial activity and physical properties of cotton fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 42(3), 193-203.
- [40] Kubacka, A., Diez, M. S., Rojo, D., Bargiela, R., Ciordia, S., Zapico, I., ... & Ferrer, M. (2014). Understanding the antimicrobial mechanism of TiO2-based nanocomposite films in a pathogenic bacterium. *Scientific reports*, 4(1), 1-9.
- [41] Lu, Y., Hao, L., Hirakawa, Y., & Sato, H. (2012). Antibacterial activity of TiO2/Ti composite photocatalyst films treated by ultrasonic cleaning. *Adv. Mater. Phys. Chem*, 2(04), 9-12.
- [42] Xing, Y., Li, X., Zhang, L., Xu, Q., Che, Z., Li, W., ... & Li, K. (2012). Effect of TiO2 nanoparticles on the antibacterial and physical properties of polyethylene-based film. *Progress in Organic Coatings*, 73(2-3), 219-224.
- [43] Kim, Y. S., Park, E. S., Chin, S., Bae, G. N., & Jung, J. (2012). Antibacterial performance of TiO2 ultrafine nanopowder synthesized by a chemical vapor condensation method: Effect of synthesis temperature and precursor vapor concentration. *Powder technology*, 215, 195-199.
- [44] Harun, A. M., Noor, N. F. M., Shaari, R., Ying, L. X., Yusoff, M. E., & Alam, M. K. (2021). The toxicology properties of modified hydrothermal nanotitania extraction. *Archives of Medical Science*, 1-4.
- [45] Marrez, D. A., & Mohamad, H. S. (2020). Biological activity and applications of pyocyanin produced by *Pseudomonas aeruginosa*. *J Bio Sci*, 1(4): p. 140-144.
- [46] Raji El Feghali, P. A., & Nawas, T. (2018). Pyocyanin: a powerful inhibitor of bacterial growth and biofilm formation. *Madridge J Case Rep Stud*, 2(2), 101-107.



## INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF METAHEURISTIC OPTIMIZATION ALGORITHMS USED IN SOLVING REAL-WORLD ENGINEERING DESIGN PROBLEMS

Elif Varol Altay<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Department of Software Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey, 45400

### Abstract

Original scientific paper

Real-world engineering design problems are relatively difficult problems to solve because they have complex objective functions with many constraints. It is widely used both in industry and in different interdisciplinary studies. Many optimization algorithms have been used to deal with such problems. But the performance of the algorithm decreases significantly with the increasing scale and difficulty of the problem. Different optimization methods and their different versions have been proposed to effectively deal with the engineering design problems in the literature. In this study, new artificial intelligence-based optimization algorithms that have emerged recently and are popular for solving engineering design problems are examined. The analyzed algorithms; constraints, objective functions, and decision variables were adapted to five different real-world engineering design problems, and performance analyses were performed.

**Keywords:** Engineering design problems, metaheuristic algorithms, optimization.

## GERÇEK DÜNYA MÜHENDİSLİK TASARIM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARININ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Gerçek dünya mühendislik tasarım problemleri çok sayıda kısıtlamaları olan karmaşık amaç fonksiyonlarına sahip olmasından dolayı çözülmesi nispeten zor problemlerdir. Hem endüstride hem de disiplinler arası çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür problemlerle başa çıkmak için birçok optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Fakat algoritmanın performansı, ölçeğin artması ve problemin zorluğu ile önemli ölçüde azalmaktadır. Literatürde yer alan mühendislik tasarım problemlerini etkin bir şekilde ele almak için farklı optimizasyon yöntemleri ve onların farklı versiyonları önerilmiştir. Bu çalışmada, mühendislik tasarım problemlerini çözmek için son dönemlerde ortaya çıkmış ve popüler olan metasezgisel optimizasyon algoritmaları incelenmiştir. İncelenen algoritmalar; kısıtları, amaç fonksiyonları ve karar değişkenleri farklı beş gerçek dünya mühendislik tasarım problemine uyarlanmıştır ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Metasezgisel algoritmalar, mühendislik tasarım problemleri, optimizasyon.

### 1 Giriş

Son yıllarda, çeşitli kısıtlı mühendislik problemlerini çözmek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu tür algoritmaların çoğu önemli gradyan bilgisi gerektirebilecek ve genellikle çözümü bir başlangıç noktasının yakınında iyileştirmeye çalışan sayısal, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yöntemlerine dayanmaktadır. Bu sayısal optimizasyon algoritmaları, basit ve ideal modeller için global optimum çözümü elde etmek için faydalı bir strateji sağlamaktadır. Fakat birçok gerçek dünya mühendislik problemi doğası gereği çok

karmaşıktır ve çözülmesi oldukça zor problemlerdir. Probleme birden fazla yerel optimum varsa sonuçlar elde edilen optimal çözümün mutlaka global optimum olmayabileceği başlangıç noktasının seçimine bağlı olabilir. Ayrıca amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar çoklu veya keskin tepelere sahip olduğundan gradyan araması kararsız hale gelebilir. Klasik yöntemlerin bu dezavantajları araştırmacıları mühendislik tasarım problemlerini çözmek için simülasyonlara dayalı doğadan ilham alan metasezgisel yöntemlere güvenmeye teşvik etmiştir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları; birçok farklı optimizasyon probleminin çözümünü bulmak için

\* Corresponding author.

E-mail address: [elif.altay@cbu.edu.tr](mailto:elif.altay@cbu.edu.tr) (E. Varol Altay)

Received 15 March 2022; Received in revised form 26 April 2022; Accepted 27 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1088408>



yaygın olarak kullanılan, büyük ölçekli arama ve optimizasyon problemleri için iyi bilinen bir global optimizasyon yaklaşımıdır. Metasezgisel yöntemler genellikle doğadaki olayları, hayvanların davranışlarını taklit etmek için kuralları ve rastgeleliği birleştirerek çalışmaktadır [1].

Metasezgisel algoritmalar keşif ve sömürü aşamasından oluşmaktadır. Keşif aşaması, algoritmanın belirli bir arama uzayında farklı umut vaat eden bölgeleri araştırmasını sağlarken, sömürü aşaması umut verici bölgeler etrafında optimal çözümlerin aranmasını sağlamaktadır. Ancak metasezgisel algoritmaların stokastik doğası nedeniyle bu aşamalar arasında denge kurmak zordur. Bu nedenle optimuma yakın çözümlere ulaşmak için bu iki aşamanın iyi bir şekilde ayarlanması ve dengenin sağlanması gerekmektedir [2, 3].

Son yıllarda çok fazla sayıda metasezgisel optimizasyon algoritması önerilmiştir. Ancak her tür optimizasyon yöntemini çözebilecek tek bir algoritma mevcut değildir [4]. Bazı algoritmalar diğerlerine kıyasla daha iyi optimal sonuçlar sağlarlar. Bu nedenle yeni bir metasezgisel algoritma geliştirmek açık bir problemdir ve araştırmacıları yeni metasezgisel yöntemler geliştirmek için motive etmektedir [5, 6].

Metasezgisel optimizasyon algoritmaları birçok mühendislik problemine başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmada gri kurt optimizasyon algoritması (GKO), güve-alevi optimizasyon algoritması (GAO), şempanze optimizasyon algoritması (ŞOA), denge optimize edici algoritması (DOE), balina optimizasyon algoritması (BAO) olmak üzere beş metasezgisel optimizasyon algoritması, farklı zorluk seviyesindeki kısıtlama ve arama alanı ile basınçlı kap, kaynaklı kiris, hız düşürücü, çok diskli kavrama fren ve konsol kiris tasarım problemi olmak üzere beş gerçek dünya mühendislik tasarım problemindeki etkinlikleri analiz edilmiştir ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: 2. Bölümde çalışmada kullanılan metasezgisel algoritmalar yer almaktadır. 3. Bölümde gerçek dünya mühendislik problemlerinin tanımı, 4. Bölümde elde edilen deney sonuçlarının analizi bulunmaktadır. Son bölüm olan 5. Bölümde çalışmanın sonuçları ve ileride yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2 Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan algoritmalarından kısaca bahsedilmiştir. Daha fazla ayrıntı ve literatür için okuyucular alıntı yapılan makaleleri inceleyebilir.

### 2.1 Şempanze Optimizasyon Algoritması

ŞOA, Khishe ve Mosavi tarafından şempanzelerin grup avlarında bireysel zeka ve cinsel motivasyonlarından esinlenerek geliştirilmiş biyoloji tabanlı optimizasyon algoritmasıdır [7]. Toplumdaki diğer etoburlardan farklıdır. Bu metodoloji sırasında farklı zekayı modellemek için dört farklı aşama kullanılmıştır. Burada ilk çözümün hedefi kovalayan, sürücü, saldırgan ve bariyer tarafından daha iyi bilindiği varsayılmaktadır. Bir sonraki aşamada, elde edilen dört optimum çözüm saklanır ve diğer şempanzeler, şempanzelerin en iyi

yerlerine kendi konumlarını güncellemeye zorlanır. Önerilen algoritmanın matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$D_r = |c \times a_{prey}(n_i) - ma_{chmp}(n_i)| \quad (1)$$

$$a_{chimp}(n_i + 1) = a_{prey} - a \times d \quad (2)$$

Toplam iterasyon sayısı  $n_i$  ile, katsayı vektörleri  $c$ ,  $m$  ve  $a$  ile temsil edilmektedir.  $c$ ,  $m$  ve  $a$  katsayıları aşağıdaki denklemlerle çözülmektedir:

$$a = 2 \times l \times r_1 - l \quad (3)$$

$$c = 2 \times r_2 \quad (4)$$

$$m = kaotik_{değer} \quad (5)$$

$r_1$  ve  $r_2$  [0,1] arasında rastgele bir değerdir,  $m$  kaotik vektör ve iterasyon boyunca  $l$  2.5'ten 0'a doğru doğrusal bir şekilde düşürülmektedir.

$$d_{attacker} = |c_1 \times a_{attacker} - m_1 \times x| \quad (6)$$

$$d_{barrier} = |c_2 \times a_{barrier} - m_2 \times x| \quad (7)$$

$$d_{chaser} = |c_3 \times a_{chaser} - m_3 \times x| \quad (8)$$

$$d_{driver} = |c_4 \times a_{driver} - m_4 \times x| \quad (9)$$

Rastgele vektörler [-1, 1] aralığında olduğunda, şempanzenin bir sonraki konumu, şimdi olduğu yer ile hedef veya avın olduğu yer arasında bir yerde olabilir.

$$x_1 = a_{attacker} - a_1 \times d_{attacker} \quad (10)$$

$$x_2 = a_{barrier} - a_2 \times d_{barrier} \quad (11)$$

$$x_3 = a_{chaser} - a_3 \times d_{chaser} \quad (12)$$

$$x_4 = a_{driver} - a_4 \times d_{driver} \quad (13)$$

Arama sırasında şempanzelerin yerini değiştirmek için aşağıdaki matematiksel denklem kullanılmaktadır:

$$x_{ni+1} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \quad (14)$$

Arama alanındaki arama işlemi sırasında şempanzelerin konumunu güncellemek için Denklem (15) uygulanmaktadır.

$$a_{chimp}(n_i + 1) = \begin{cases} a_{prey}(n_i) - x \times d, & \emptyset < 0.5 \\ kaotik_{değer}, & \emptyset > 0.5 \end{cases} \quad (15)$$

### 2.2 Denge Optimize Edici Algoritması

DOE, Faramarzi ve arkadaşları tarafından 2020 yılında geliştirilmiş bir kontrol hacmindeki basit iyi karıştırılmış dinamik kütle dengesini taklit eden metasezgisel bir algoritmadır [8]. Bu algoritmada, çeşitli kaynak ve yutak mekanizmalarının bir fonksiyonu olarak

bir kontrol hacmindeki reaktif olmayan bir bileşenin konsantrasyonunu karakterize etmek için bir kütle dengesi denklemi kullanılmaktadır. Başlatma sürecinden sonra, DOE'deki aday çözümler aşağıdaki arama denklemi kullanılarak güncellenmektedir:

$$C_i^{t+1} = C_{eq}^t + (C_i^t - C_{eq}^t) \times F_i^t + (1 - F_i^t) \times \frac{G_i^t}{\lambda_i^t v_i^t} \quad (16)$$

$C_i^t$  ve  $C_i^{t+1}$  sırasıyla  $t$  ve  $t + 1$ . iterasyondaki  $i$ 'nci aday çözümler için konsantrasyon vektörleridir.  $C_{eq}^t$  Denklem (17)'deki gibi oluşturulduğunda denge aracından rastgele seçilen bir vektördür.

$$C_{eq}^t = [C_{eq(1)}^t, C_{eq(2)}^t, C_{eq(3)}^t, C_{eq(4)}^t, C_{eq(mean)}^t] \quad (17)$$

$C_{eq(1)}^t, C_{eq(2)}^t, C_{eq(3)}^t, C_{eq(4)}^t$  ve  $C_{eq(mean)}^t$  vektörleri sırasıyla  $t$  iterasyonuna kadar en iyi dört aday çözüm ve bunların ortalama konumudur. Üstel terim olarak bilinen sömürü ile keşif arasında bir denge sağlamaya çalışan  $F_i^t$  vektörü Denklem (18)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$F_i^{t+1} = e^{\lambda_i^t(t-t_0)} \quad (18)$$

$$t = \left(1 - \frac{t}{t_{max}}\right)^{a_2 t_{max}} \quad (19)$$

$$t_0 = t + \frac{1}{\lambda} \ln(-a_1 \text{sign}(\text{rand} - 0.5) \times (1 - e^{\lambda t})) \quad (20)$$

$a_1$  keşif kabiliyetini kontrol eden bir değişken olduğunda,  $\text{sign}(\text{rand} - 0.5)$  keşif ve sömürünün yönünü göstermektedir,  $\text{rand}$  (0, 1) aralığında rastgele seçilmiş bir değişkendir ve  $a_2$  sömürü yeteneğini dengelemek için kullanılan bir sabittir. Tüm değerleri yerleştirdikten sonra  $F_i^t$  için ifade Denklem (21)'deki gibi verilebilir:

$$F_i^t = a_1 \text{sign}(\text{rand} - 0.5) \times (e^{-\lambda t} - 1) \quad (21)$$

İterasyon oranı  $G_i^t$  Denklem (22)'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$G_i^t = G_0^t e^{\lambda_i^t(t-t_0)} \quad (22)$$

$$G_0^t = \overline{GCP}^t \times (C_{eq}^t - \lambda^t C_i^t) \quad (23)$$

$$\overline{GCP}^t = \begin{cases} 0.5 \text{rand}_1, & \text{if } \text{rand}_2 \geq 0.5 \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (24)$$

$\overline{GCP}^t$  iterasyon hızı kontrol parametresidir.

### 2.3 Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

GKO, Mirjalili ve arkadaşlarının doğadaki gri kurtların sosyal liderlik ve avlanma davranışlarından ilham alarak geliştirdikleri metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [9]. Gri kurtlar sürüler halinde yaşamaktadır ve çok katı bir sosyal baskın hiyerarşiye sahiptirler. Alfa kurtları en üstte ve omega kurtları yukarıdan aşağıya doğru azalan baskınlık piramidinin en altında bulunmaktadır.

Üstten ikinci katman beta kurtları ve sondan bir önceki katman delta kurtları gri kurt sürüsünün sosyal hiyerarşi piramidini tamamlamaktadır. Bu yöntem kuşatma, avlanma ve avına saldırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Herhangi bir optimizasyon problemini çözmek için sosyal hiyerarşinin matematiksel modellemesi, sırasıyla en uygun ve en iyi çözüm alfa, ikinci ve üçüncü en iyi çözümler beta ve delta olarak sınıflandırılmaktadır. Diğer tüm çözümler omega olarak sınıflandırılmaktadır. Herhangi bir kurt ile av arasındaki mesafenin matematiksel denklemi aşağıdaki gibidir:

$$D = |C \times X_p(t) - X(t)| \quad (25)$$

$$X(t + 1) = X_p(t) - A \times D \quad (26)$$

Burada  $X$  gri kurdun konum vektörünü,  $X_p$  avın konumunu,  $t$  ise mevcut iterasyon sayısını temsil etmektedir.  $C$  ve  $A$  katsayı vektörleridir ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$A = 2 \times a \times r_1 - a(t) \quad (27)$$

$$C = 2 \times r_2 \quad (28)$$

Burada  $r_1$  ve  $r_2$  [0, 1] arasında rastgele sayılardır ve  $a$  2'den 0'a doğru lineer bir şekilde Denklem (29)'daki gibi azalmaktadır.

$$a(t) = 2 - (2 \times t) / \text{MaxIter} \quad (29)$$

Avın konumu veya çözüm ortamında aranan optimum çözüm bilinmediği için kurtların sosyal hiyerarşi metaforu kullanılmaktadır. Kurtların avlanma davranışları modellenirken alfa, beta ve deltanın konumu hakkında daha iyi bir bilgiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle her bir omega kurtu konumlarını alfa, beta ve deltanın dikkate alarak güncellemektedir. Avlanma davranışı Denklem (30)'daki gibidir:

$$\begin{aligned} D_\alpha &= |C_1 \times X_\alpha - X(t)| \\ D_\beta &= |C_2 \times X_\beta - X(t)| \\ D_\delta &= |C_3 \times X_\delta - X(t)| \end{aligned} \quad (30)$$

Burada  $C_1$ ,  $C_2$  ve  $C_3$  Denklem (28) ile hesaplanmaktadır. Denklem (31) alfa, beta ve deltanın konumunu hesaplanmaktadır. Yeni konumu hesaplamak için Denklem (32) kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} X_{i1}(t) &= X_\alpha(t) - A_{i1} \times D_\alpha(t) \\ X_{i2}(t) &= X_\beta(t) - A_{i2} \times D_\beta(t) \\ X_{i3}(t) &= X_\delta(t) - A_{i3} \times D_\delta(t) \end{aligned} \quad (31)$$

$$X(t + 1) = \frac{X_{i1}(t) + X_{i2}(t) + X_{i3}(t)}{3} \quad (32)$$

Kuşatma ve avlanma operatörleri tekrar tekrar uygulanarak av veya en iyi çözüm bulunmaktadır.

### 2.4 Güve-Alevi Optimizasyon Algoritması

GAO, Mirjalili tarafından güvenin doğal davranışlarından ve enine yönlendirme adı verilen gezinme yapısından esinlenerek geliştirilmiş metasezgisel

optimizasyon algoritmasıdır [10]. GAO'da güveler arama prosedürü için aday çözümler veya arama ajanları olarak kabul edilirken, alevler arama alanı içinde o zamana kadar elde edilen en iyi konumları temsil etmektedir. Bu nedenle arama prosedürü sırasında güveler tarafından düşen alevler bayrak olarak kabul edilmektedir. Her güve yeni gelecek vaat eden bölgeleri keşfetmeye çalışmaktadır ve daha iyi çözüm sağlamak için konumunu güncellemektedir. En iyi alevin konumu, algoritmanın bir sonraki iterasyonuna iletilmektedir ve bu nedenle, bu bilgi arama prosedürü sırasında asla ölmemektedir. GAO'da önce güve popülasyonu başlatılır. Herhangi bir iterasyonda, bu popülasyon aşağıdaki arama mekanizmasını kullanarak güncellenmektedir:

$$M_i^{t+1} = F_j + D_i \times e^{bl} \times \cos(2\pi i) \quad (33)$$

$M_i^{t+1}$   $t + 1$  iterasyonda  $i$ . güvenin konumudur.  $F_j$   $j$ . alevdir ve  $D_i$   $i$ . güve ile  $j$ . alev arasındaki mesafedir.  $b$  logaritmik spiralin şeklini tanımlayan bir sabittir ve  $l$   $[r, 1]$  aralığında rastgele bir sayıdır.  $r$  adaptif yakınsama sabiti olarak bilinmektedir ve iterasyon boyunca alevlerin etrafındaki yakınsama hızını arttırmak için -1 değerinden -2 değerine doğrusal olarak azalmaktadır. Arama prosedürü sırasında alev sayısı  $N_f$  Denklem (34) kullanılarak değiştirilmektedir:

$$N_f = \text{round} \left[ N - \frac{t}{t_{max}} \times (N - 1) \right] \quad (34)$$

$N$  maksimum alev sayısını temsil ederken  $t$  ve  $t_{max}$  sırasıyla mevcut ve maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir.

## 2.5 Balina Optimizasyon Algoritması

BOA, Mirjalili ve Lewis tarafından karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kumbur balinaların sosyal davranışlarını taklit eden ve doğadan ilham alan metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [11]. Kumbur balinalar avın yerini tanıyabilmektedir ve onları tamamen kaplayabilmektedir. BAO'da, mevcut en iyi arama aracısının hedef av olduğu varsayılmaktadır ve kumbur balinalar, iterasyonlar boyunca konumlarını en iyi arama aracısına doğru güncellemektedirler. Bu davranışı matematiksel olarak formüle etmek için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (35)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (36)$$

$\vec{X}^*$  o zamana kadar elde edilen en iyi çözümün konum vektörünü temsil etmektedir.  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  katsayı vektörleridir ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (37)$$

$$\vec{a} = 2 - 2 \frac{t}{t_{max}} \quad (38)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (39)$$

Burada  $\vec{a}$  iterasyonlar boyunca ve hem keşif hem de sömürü aşamalarında 2'den 0'a doğru lineer bir şekilde azalan bir sayıdır.  $\vec{r}$   $[0,1]$  arasında üretilen rastgele bir vektörü,  $t_{max}$  maksimum iterasyon sayısı,  $t$  mevcut iterasyon sayısıdır. Denklem (37) ve (39)'un amacı keşif ve sömürü arasındaki dengeyi sağlamaktır. Her iki denklemde de  $r$  rastgele bir sayı oluşturmaktadır. Bu da popülasyonun konum güncellemesi için stokastik bir davranış sağlamaktadır.  $A \geq 1$  olduğunda keşif,  $A < 1$  olduğunda sömürü aşaması gerçekleşmektedir. Bu olay, optimizasyonun herhangi bir aşamasında sömürünün araştırılmasına yol açmaktadır.

Küçülen çevreleyen ve spiral güncelleme konum mekanizmaları, kumbur balinaların kabarcık ağ saldırı yöntemini modellemek için aynı anda kullanılmaktadır. Daralan çevreleme mekanizması, iterasyonlar boyunca  $a$ 'nın değerini doğrusal olarak azaltırken, katsayı vektörü  $A$ 'yı  $[-1, 1]$ 'de ayarlayarak elde etmektedir. Bunu yaparken yeni konum, mevcut konumu ile en iyi arama ajanının konumu arasında yer almaktadır. Kumbur balinaların sarmal şeklindeki hareketlerini taklit etmek için avın konumu ile balina arasındaki spiral denklem aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{D}^l \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (40)$$

$$\vec{D}^l = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (41)$$

$\vec{D}^l$   $i$ . balinanın ava olan mesafesini gösterirken,  $l$   $[-1, 1]$  aralığında rastgele bir sayıdır,  $b$  logaritmik spiralin şeklini tanımlamak için bir sabittir. Kumbur balinalar, avın etrafında daralan bir daire içinde yüzdükleri ve aynı anda spiral şeklinde yol boyunca hareket ettikleri için, küçülen çevreleme yöntemi ve spiral yaklaşım aynı anda kullanılmaktadır. Bu davranışı modellemek için her bir mekanizmanın %50 olasılıkla gerçekleştiği varsayılmaktadır.

$A$  vektörünün varyasyonuna dayanan yaklaşım, av arama (keşif) içinde kullanılabilir. Kumbur balinalar birbirlerinin konumuna göre rastgele arama yapmaktadırlar. Bu nedenle arama ajanını referans balinadan uzaklaşmaya zorlamak için 1'den küçük veya 1'den büyük rastgele değerlerle  $A$  kullanılmaktadır. Sömürü aşamasının aksine keşif aşamasında bir arama ajanının konumunu o ana kadar bulunan en iyi arama ajanı yerine rastgele seçilen bir arama ajanına göre güncellemektedirler. Bu mekanizma  $A > 1$  keşif aşamasını vurgulamaktadır ve BOA'nın global bir arama yapmasına izin vermektedir. Av aramanın matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (42)$$

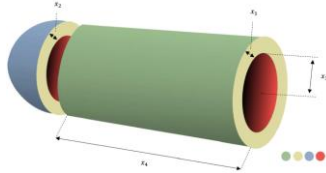
$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (43)$$

## 3 Mühendislik Tasarım Problemleri

Bu bölümde en yaygın gerçek dünya mühendislik tasarım problemlerinin tanımı ve matematiksel modelleri sunulmaktadır.

### 3.1 Basıncılı Kap Tasarım Problemi

Bu problemin temel amacı, bir geminin kaynak maliyetini, malzemesini ve oluşumunu optimize etmektir [12]. Bu problem, yerine getirilmesi gereken dört kısıtlamayı içerir ve amaç fonksiyonunu hesaplamak için dört değişken kullanılır: kabuk kalınlığı ( $x_1$ ), kafa kalınlığı ( $x_2$ ), iç yarıçap ( $x_3$ ) ve gemi yüksekliğini dahil etmeden uzunluğudur ( $x_4$ ). Bu parametrelerin alabileceği değer aralıkları  $1 \times 0.0625 \leq x_1, x_2 \leq 99 \times 0.0625$  ve  $10 \leq x_3, x_4 \leq 200$  olarak tanımlanmıştır. Basıncılı kap tasarım probleminin şematik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Basıncılı kap tasarım problemi.

Bu problemin amaç fonksiyonu Denklem (44)'te ve kısıtlar Denklem (45-48)'de belirtilmiştir.

Minimize:

$$f(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3 \quad (44)$$

Kısıtlar:

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0 \quad (45)$$

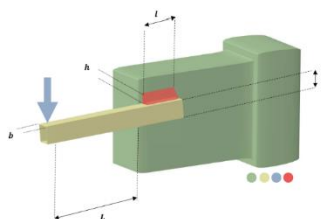
$$g_2(x) = -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0 \quad (46)$$

$$g_3(x) = -\pi x_3^2 x_4 - \frac{4}{3} \pi x_3^3 + 1296000 \leq 0 \quad (47)$$

$$g_4(x) = x_4 - 240 \leq 0 \quad (48)$$

### 3.2 Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi

Kaynaklı kiriş tasarım probleminin temel amacı, belirli kısıtlamalar altında minimum maliyetli bir kiriş üretmektir [12]. Şekil 2, kaynaklı kiriş tasarım probleminin şematik biçimini göstermektedir. Problem, dört tasarım parametresinden ve beş eşitsizlik kısıtlamasından oluşmaktadır. Bu tasarım parametreleri  $h(x_1)$ ,  $l(x_2)$ ,  $t(x_3)$  ve  $b(x_4)$  olup sırasıyla kaynak kalınlığını, kaynak bağlantı uzunluğunu, eleman genişliğini ve eleman kalınlığını temsil etmektedir. Bu parametrelerin alabileceği değer aralıkları sırasıyla  $0.125 \leq x_1 \leq 5$  ve  $0.1 \leq x_2, x_3, x_4 \leq 10$  olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Kaynaklı kiriş tasarım problemi.

Bu problemin amaç fonksiyonu Denklem (49)'da ve kısıtlar Denklem (50-56)'da belirtilmiştir.

Minimize:

$$f(x) = 1.10471x_1^2x_2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \quad (49)$$

Kısıtlar:

$$g_1(x) = \tau(x) - \tau_{max} \leq 0 \quad (50)$$

$$g_2(x) = \sigma(x) - \sigma_{max} \leq 0 \quad (51)$$

$$g_3(x) = x_1 - x_4 \leq 0 \quad (52)$$

$$g_4(x) = 1.10471x_1^2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) - 5.0 \leq 0 \quad (53)$$

$$g_5(x) = 0.125 - x_1 \leq 0 \quad (54)$$

$$g_6(x) = \delta(x) - \delta_{max} \leq 0 \quad (55)$$

$$g_7(x) = P - P_c(x) \leq 0 \quad (56)$$

Burada;

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + (2\tau'\tau'')\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2} \quad (57)$$

$$\tau' = \frac{6000}{\sqrt{2}x_1x_2} \quad (58)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J} \quad (59)$$

$$M = 6000(14.0 + \frac{x_2}{2}) \quad (60)$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1+x_3}{2}\right)^2} \quad (61)$$

$$J = \left\{ x_1x_2\sqrt{2} \left[ \frac{x_2^2}{12} + \left(\frac{x_1+x_3}{2}\right)^2 \right] \right\} \quad (62)$$

$$\sigma(x) = \frac{504000}{x_4x_3^2} \quad (63)$$

$$\delta(x) = \frac{2.1952}{x_4x_3^3} \quad (64)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013E\sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{196} \left( 1 - \frac{x_3\sqrt{E}}{28\sqrt{4G}} \right) \quad (65)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013E\sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{196} \left( 1 - \frac{x_3\sqrt{E}}{28\sqrt{4G}} \right) \quad (66)$$

$$\tau_{max} = 13600psi$$

$$\sigma_{max} = 30000psi$$

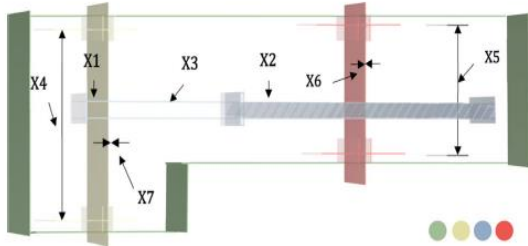
$$\delta_{max} = 0.25in$$

$$E = 30 \times 10^6psi$$

$$G = 12 \times 10^6psi$$

### 3.3 Hız Düşürücü Tasarım Problemi

Bu problem, hava taşıtı motorunun en verimli hızda dönmesini sağlayan basit bir vites kutusu problemidir [13]. Bu problemde yedi karar değişkeninin minimum değerleri yüz genişliği  $b(x_1)$ , diş modülü  $m(x_2)$ , pinyondaki diş sayısı  $z(x_3)$ , yataklar arasındaki ilk şaftın uzunluğu  $l_1(x_4)$ , yataklar arasındaki ikinci şaftın uzunluğu  $l_2(x_5)$ , birinci şaftın çapı  $d_1(x_6)$  ve ikinci şaftın çapı  $d_2(x_7)$  bulunarak optimize edilmesi gerekmektedir. Verilen tüm değişkenler, sabit aralıklara giren pozitif tam sayılardır. Bu parametrelerin alabileceği değer aralıkları  $0.7 \leq x_2 \leq 0.8, 17 \leq x_3 \leq 28, 2.6 \leq x_1 \leq 3.6, 5 \leq x_7 \leq 5.5, 7.3 \leq x_5, x_4 \leq 8.3, 2.9 \leq x_6 \leq 3.9$ 'dur. Hız düşürücü tasarımının şematik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir. Bu tasarım problemi, hız düşürücünün minimum maliyet ağırlığını bulmayı amaçlamaktadır. Bu problemin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 3. Hız düşürücü tasarım problemi.

Minimize:

$$F(x) = 0.7854x_2^2x_1(14.9334x_3 - 43.0934 + 3.3333x_3^2) + 0.7854(x_5x_7^2 + x_4x_6^2) - 1.508x_1(x_7^2 + x_6^2) + 7.477(x_7^3 + x_6^3) \quad (67)$$

Kısıtlar:

$$g_1(x) = -x_1x_2^2x_3 + 27 \leq 0 \quad (68)$$

$$g_2(x) = -x_1x_2^2x_3^2 + 397.5 \leq 0 \quad (69)$$

$$g_3(x) = -x_2x_6^4x_3x_4^{-3} + 1.93 \leq 0 \quad (70)$$

$$g_4(x) = -x_2x_7^4x_3x_5^{-3} + 1.93 \leq 0 \quad (71)$$

$$g_5(x) = 10x_6^{-3}\sqrt{16.91 \times 10^6 + (745x_4x_2^{-1}x_3^{-1})^2} - 1100 \leq 0 \quad (72)$$

$$g_6(x) = 10x_7^{-3}\sqrt{157.5 \times 10^6 + (745x_5x_2^{-1}x_3^{-1})^2} - 850 \leq 0 \quad (73)$$

$$g_7(x) = x_2x_3 - 40 \leq 0 \quad (74)$$

$$g_8(x) = -x_1x_2^{-1} + 5 \leq 0 \quad (75)$$

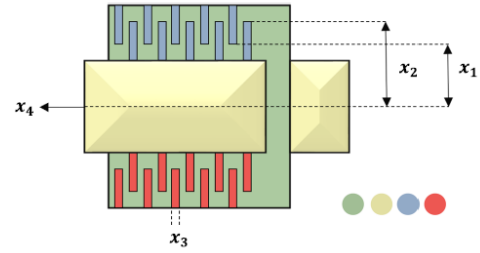
$$g_9(x) = x_1x_2^{-1} - 12 \leq 0 \quad (76)$$

$$g_{10}(x) = 1.5x_6 - x_4 + 1.9 \leq 0 \quad (77)$$

$$g_{11}(x) = 1.1x_7 - x_5 + 1.9 \leq 0 \quad (78)$$

### 3.4 Çok Diskli Kavrama Fren Tasarım Problemi

Bu problemin temel amacı, çok diskli kavrama frenin kütleini en aza indirmektir. Bu problemde iç yarıçap ( $x_1$ ), dış yarıçap ( $x_2$ ), disk kalınlığı ( $x_3$ ), aktüatör kuvveti ( $x_4$ ) ve sürtünme kuvveti ( $x_5$ ) olmak üzere beş adet karar değişkeni bulunmaktadır [14]. Bu problem dokuz doğrusal olmayan kısıtlama içermektedir. Problemin şematik gösterimi Şekil 4'te çizilmiştir. Bu problemin amaç fonksiyonu Denklem (79)'da ve kısıtlar Denklem (80-87)'de belirtilmiştir.



Şekil 4. Çok diskli kavrama fren tasarım problemi.

Minimize:

$$f(\bar{x}) = \pi * (x_2^2 - x_1^2) * x_3(x_5 + 1)\rho \quad (79)$$

Kısıtlar:

$$g1(\bar{x}) = -P_{max} - P_{rz} \leq 0 \quad (80)$$

$$g2(\bar{x}) = P_{rz}V_{sr} - V_{sr,max}P_{max} \leq 0 \quad (81)$$

$$g3(\bar{x}) = \Delta R + x_1 - x_2 \leq 0 \quad (82)$$

$$g4(\bar{x}) = -L_{max} + (x_5 + 1)(x_3 + \delta) \leq 0 \quad (83)$$

$$g5(\bar{x}) = sM_s - M_h \leq 0 \quad (84)$$

$$g6(\bar{x}) = T \geq 0 \quad (85)$$

$$g7(\bar{x}) = -V_{sr,max} + V_{sr} \leq 0 \quad (86)$$

$$g8(\bar{x}) = T - T_{max} \leq 0 \quad (87)$$

$$\text{Burada, } M_h = \frac{2}{3}\mu x_4 x_5 \frac{x_2^3 - x_1^3}{x_2^2 - x_1^2} \text{ N. mm, } \omega = \frac{\pi n}{30} \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

$$A = \pi(x_2^2 - x_1^2)mm^2,$$

$$P_{rz} = \frac{x_4 N}{mm^2}, V_{sr} = \frac{\pi R_{sr} n}{30} \frac{mm}{s}, R_{sr} = \frac{2}{3} \frac{x_2^3 - x_1^3}{x_2^2 - x_1^2} mm,$$

$$T = \frac{I_z \omega}{M_h + M_f} \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

$$\Delta R = 20 \text{ mm, } L_{max} = 30 \text{ mm, } \mu = 0.6,$$

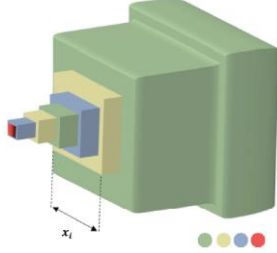
$$V_{sr,max} = 10 \text{ m/s, } \delta = 0.5 \text{ mm, } s = 1.5,$$

$$T_{max} = 15 \text{ s, } n = 250 \text{ rpm, } I_z = 55 \text{ kg.m}^2,$$

$$M_s = 40 \text{ Nm, } M_f = 3 \text{ Nm, and } P_{max} = 1 \text{ dir.}$$

### 3.5 Konsol Kiriş Tasarım Problemi

Konsol kiriş tasarım problemi yaygın bir gerçek dünya mühendislik optimizasyon problemidir. Bu problemde  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  olmak üzere beş karar değişkenine bağlı olarak  $f(x)$  fonksiyonun optimize edilmesi gerekmektedir [15]. Verilen tüm değişkenler, sabit aralıklara giren pozitif tam sayıdır. Konsol kiriş tasarım probleminin şematik gösterimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu tasarım problemi, konsol kirişin minimum maliyet ağırlığını bulmayı amaçlamaktadır. Parametrelerin alabileceği değer aralıkları  $0.01 \leq x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \leq 100$  olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5. Konsol kiriş tasarım problemi.

Bu problemin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

Minimize:

$$f(\bar{x}) = 0.6224(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) \quad (88)$$

Kısıtlar:

$$g(x) = \frac{60}{x_1^3} + \frac{27}{x_2^3} + \frac{19}{x_3^3} + \frac{7}{x_4^3} + \frac{1}{x_5^3} - 1 \leq 0 \quad (89)$$

## 4 Deneysel Sonuçları

Bu bölümde, uygulanan her bir algoritmanın arama performansını doğrulamak için beş tane gerçek dünya mühendislik tasarım problemi kullanılmıştır. Bu problemler basınçlı kap, kaynaklı kiriş, hız düşürücü tasarım problemi, çok diskli kavrama fren tasarım problemi ve konsol kiriş tasarım problemidir. Tüm bu problemler doğası gereği sınırlıdır ve bu nedenle tasarım kısıtlamalarını çözmek için bir dış ceza yaklaşım mekanizması kullanılmıştır.

Deneyler, 16 GB RAM ve Intel(R) Core (TM) i7-10750H CPU (2.60GHz) içeren bir Windows 11 işletim sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma algoritmalarını kodlamak için MATLAB R2021a kullanılmıştır. Tüm problemler için maksimum iterasyon sayısı 1000, popülasyon sayısı 30, ve değerlendirme sayısı 30000 olarak belirlenmiştir. Algoritma parametreleri literatürde orijinal makalede yer alan varsayılan değerler olarak seçilmiştir. İncelenen algoritmaların yakınsama davranışını görselleştirmek ve karşılaştırma yapmak için genellikle yakınsama eğrisi olarak adlandırılan her bir problem için elde edilen en iyi uygunluk değerleri çizilmiştir. Her bir algoritmaya karşılık gelen tüm deneyler bağımsız olarak 30 kez çalıştırılmıştır. En iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir ve okunabilirliğin kolay olması için algoritmalar arasından elde edilen en iyi çözüm koyu renkle vurgulanmıştır.

ŞOA, DOE, GKO, GAO, BOA yöntemlerinin basınçlı kap tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin bu problem üzerindeki 30 çalıştırma sonucundaki en iyi değere bağlı karar değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde en iyi ve ortalama değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında DOE'nin en iyi değer bazında diğer yöntemlerden daha üstün olduğu ortalama değer bazında inceleme yapıldığında GKO'nun daha başarılı olduğu görülmektedir.

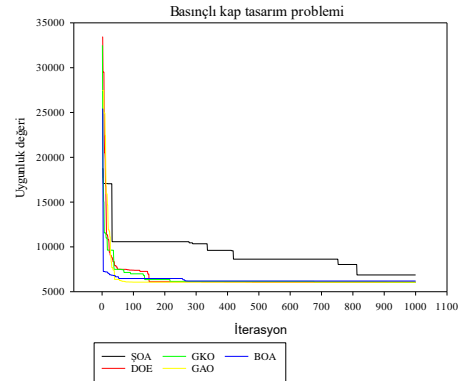
Tablo 1. Basınçlı kap tasarım probleminin farklı metasezgisel yöntemler üzerindeki performanslarının istatistiksel analizi.

Algoritma	En iyi değer	Ortalama	En kötü değer	Standart sapma
ŞOA	6870.394	7861.371	8779.217	437.9636
DOE	<b>6058.721</b>	6755.818	7544.493	566.1359
GKO	6058.779	<b>6280.352</b>	<b>7375.882</b>	442.5123
GAO	6058.73	6688.407	7544.493	494.9048
BOA	6186.282	8188.003	12737.62	1563.279

Tablo 2. Basınçlı kap tasarım probleminin aldığı en iyi değere göre karar değişkenleri.

Algoritma	Karar değişkenleri				$f_{min}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	
ŞOA	1.125	0.5625	57.89439	46.34211	6870.394
DOE	0.8125	0.4375	42.11523	176.4288	6058.721
GKO	0.8125	0.4375	42.11118	176.4793	6058.779
GAO	0.8125	0.4375	42.11317	176.4542	6058.730
BOA	0.8125	0.4375	41.09101	189.5334	6186.282

Kullanılan yöntemlerin basınçlı kap tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kullanılan yöntemlerin basınçlı kap tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği.

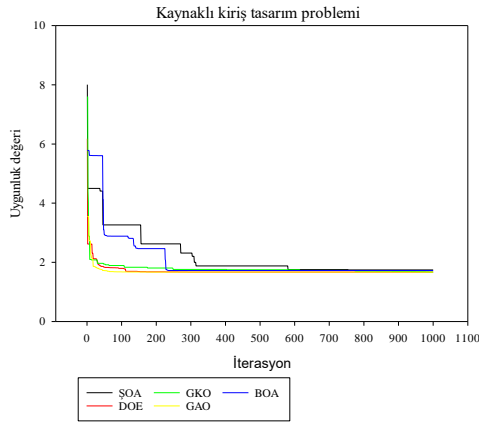
ŞOA, DOE, GKO, GAO, BOA yöntemlerinin kaynaklı kiriş tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin bu problem üzerindeki 30 çalıştırma sonucundaki en iyi değere bağlı karar değişkenleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde en iyi, ortalama, en kötü değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında DOE ve GAO'nun en iyi değer bazında diğer yöntemlerden daha üstün olduğu ortalama değer bazında inceleme yapıldığında DOE'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. Kullanılan yöntemlerin kaynaklı kiriş tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Kaynaklı kiriş tasarım probleminin farklı metasezgisel yöntemler üzerindeki performanslarının istatistiksel analizi.

Algoritma	En iyi değer	Ortalama	En kötü değer	Standart sapma
ŞOA	1.741815	1.800423	1.869049	0.030705
DOE	<b>1.670218</b>	<b>1.670394</b>	1.671995	0.000424
GKO	1.671147	1.672948	1.674953	0.001099
GAO	<b>1.670218</b>	1.766117	2.282913	0.12409
BOA	1.723824	2.279853	5.15366	0.720567

**Tablo 4.** Kaynaklı kiriş tasarım probleminin aldığı en iyi değere göre karar değişkenleri.

Algoritma	Karar değişkenleri				$f_{min}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	
ŞOA	0.202303	3.540479	9.26422	0.202325	1.741815
DOE	0.198832	3.337364	9.192024	0.198832	1.670218
GKO	0.198813	3.341102	9.189659	0.198944	1.671147
GAO	0.198832	3.337365	9.192024	0.198832	1.670218
BOA	0.18606	3.51438	9.481026	0.198955	1.723824

**Şekil 7.** Kullanılan yöntemlerin kaynaklı kiriş tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği.

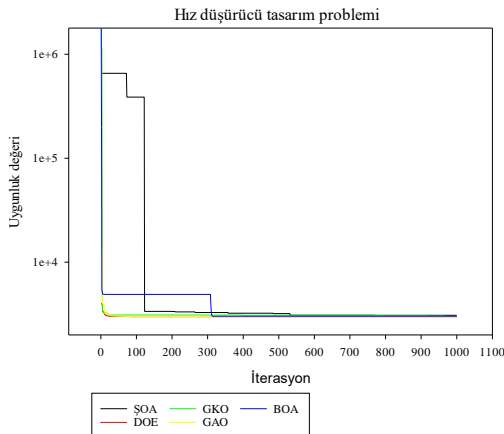
ŞOA, DOE, GKO, GAO, BOA yöntemlerinin hız düşürücü tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin bu problem üzerindeki 30 çalıştırma sonucundaki en iyi değere bağlı karar değişkenleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde en iyi, ortalama, en kötü değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında DOE ve GAO'nun en iyi değer bazında diğer yöntemlerden daha üstün olduğu ortalama değer bazında inceleme yapıldığında DOE'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. Kullanılan yöntemlerin hız düşürücü tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Hız düşürücü tasarım probleminin farklı metasezgisel yöntemler üzerindeki performanslarının istatistiksel analizi.

Algoritma	En iyi değer	Ortalama	En kötü değer	Standart sapma
ŞOA	3087.550	3163.708	3204.067	32.87455
DOE	<b>2994.423</b>	<b>2994.423</b>	2994.423	1.16E-12
GKO	3000.972	3007.094	3015.825	4.013066
GAO	<b>2994.423</b>	3000.282	3033.702	13.31119
BOA	3022.720	3194.600	4847.088	364.7137

**Tablo 6.** Hız düşürücü probleminin aldığı en iyi değere göre karar değişkenleri.

Algoritma	Karar değişkenleri							$f_{min}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	
ŞOA	3.600000	0.700000	17	8.300000	7.969982	3.364339	5.342464	3087.550
DOE	3.499990	0.700000	17	7.300000	7.715319	3.350541	5.286654	2994.423
GKO	3.502985	0.700048	17	7.327072	7.792379	3.362377	5.286969	3000.972
GAO	3.499990	0.700000	17	8.300000	7.715319	3.352532	5.286654	2994.423
BOA	3.500988	0.700000	17	7.300000	8.073702	3.427115	5.286778	3022.720

**Şekil 8.** Kullanılan yöntemlerin hız düşürücü tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği.

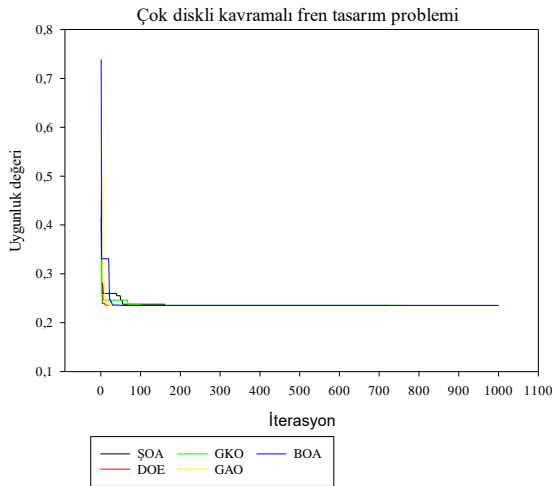
ŞOA, DOE, GKO, GAO, BOA yöntemlerinin çok diskli kavrama tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'de kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin bu problem üzerindeki 30 çalıştırma sonucundaki en iyi değere bağlı karar değişkenleri Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde en iyi, ortalama, en kötü değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında DOE, GAO ve BOA'nın en iyi değer bazında diğer yöntemlerden daha üstün olduğu, ortalama değer bazında inceleme yapıldığında DOE'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. Kullanılan yöntemlerin çok diskli kavrama tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 9'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Çok diskli kavrama fren tasarım probleminin farklı metasezgisel yöntemler üzerindeki performanslarının istatistiksel analizi.

Algoritma	En iyi değer	Ortalama	En kötü değer	Standart sapma
ŞOA	0.235243	0.235616	0.236596	0.00033
DOE	<b>0.235242</b>	<b>0.235242</b>	0.235242	1.69E-16
GKO	0.235243	0.235276	0.235429	3.84E-05
GAO	<b>0.235242</b>	0.235392	0.239724	0.000804
BOA	<b>0.235242</b>	0.235243	0.235244	3.17E-07

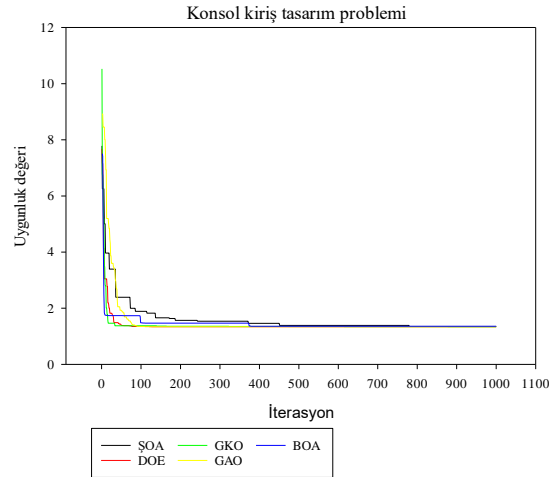
**Tablo 8.** Çok diskli kavrama fren tasarım probleminin aldığı en iyi değere göre karar değişkenleri.

Algoritma	Parametre değerleri					$f_{min}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
ŞOA	69.9999	90.0000	1.0000	24.16887	2.0000	0.235243
DOE	70.0000	90.0000	1.0000	999.87226	2.0000	0.235242
GKO	69.9999	90.0000	1.0000	782.2061	2.0000	0.235243
GAO	70.0000	90.0000	1.0000	664.3994	2.0000	0.235242
BOA	70.0000	90.0000	1.0000	326.8523	2.0000	0.235242

**Şekil 9.** Kullanılan yöntemlerin çoklu disk kavrama fren tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği.

ŞOA, DOE, GKO, GAO, BOA yöntemlerinin konsol giriş tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 9'da kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin bu problem üzerindeki 30 çalıştırma sonucundaki en iyi değere bağlı karar değişkenleri Tablo

10'da verilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde en iyi, ortalama, en kötü değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında DOE'nin en iyi değer bazında ve ortalama değer bazında diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu görülmektedir. Kullanılan yöntemlerin çoklu disk kavramalı tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir.

**Şekil 10.** Kullanılan yöntemlerin konsol giriş tasarım problemi üzerindeki yakınsama grafiği.**Tablo 9.** Konsol giriş tasarım probleminin farklı metasezgisel yöntemler üzerindeki performanslarının istatistiksel analizi.

Algoritma	En iyi değer	Ortalama	En kötü değer	Standart sapma
ŞOA	1.34819	1.376082	1.413464	0.014557
DOE	<b>1.339957</b>	<b>1.339964</b>	1.339988	6.9E-06
GKO	1.339974	1.340038	1.340212	5.4E-05
GAO	1.340111	1.340851	1.342382	0.000514
BOA	1.356559	1.516685	2.144997	0.175521

**Tablo 10.** Konsol giriş tasarım probleminin aldığı en iyi değere göre karar değişkenleri.

Algoritma	Karar değişkenleri					$f_{min}$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
ŞOA	6.518072	5.247723	4.225419	3.522175	2.092226	1.34819
DOE	6.012134	5.310015	4.496472	3.500466	2.154584	1.339957
GKO	6.000132	5.299499	4.501253	3.516721	2.156344	1.339974
GAO	6.007219	5.299754	4.473095	3.493925	2.202152	1.340111
BOA	5.491058	5.819903	4.428201	3.886131	2.114441	1.356559

## 5 Sonuç

Gerçek dünya mühendislik tasarım problemlerini çözmek, yeni geliştirilen her metasezgisel algoritmanın verimliliğini değerlendirirken zor bir problem olarak

kabul edilmektedir. Bu problemler kinematik koşullar, üretim gereksinimleri ve performans üzerindeki çeşitli doğrusal olmayan kısıtlamalara ek olarak, birden fazla amaç ve karma değişkenler içerebilmektedir. Problemin boyutu ve zorluğu arttıkça algoritmaların başarısı da



düşebilmektedir. Literatürde mühendislik tasarım problemlerini verimli bir şekilde ele almak için metasezgisel optimizasyon yöntemleri ve onların çeşitli versiyonları önerilmektedir. Bu çalışmada; ŞOA, DOE, GKO, GAO ve BOA olmak üzere beş popüler ve güncel metasezgisel algoritma kullanılarak beş gerçek dünya mühendislik tasarım problemi çözülmüştür. Bu yöntemlerin performansları, çözüm kalitesi ve yakınsama hızı açısından karşılaştırılmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; beş mühendislik tasarım problemlerinin dördünde ortalama değer bakımından en iyi sonuçları DOE'nin ürettiğini en iyi değer bakımından değerlendirdiğimizde problemlerin tamamında DOE'nin en iyi sonucu ürettiği sonucunu çıkarabiliriz. GAO'da en iyi değer bakımından DOE'den sonra mühendislik tasarım problemlerinin üçünde en iyi sonucu vererek en iyi ikinci yöntem olmuştur. Son olarak, bu çalışmada kullanılan algoritmaların otomotiv ve diğer endüstriler gibi farklı gerçek dünya optimizasyon problemlerini çözmek için önemli alternatifler olduğu sonucuna varılabilir.

### Açıklamalar

Bu çalışmada Etik kurul Onay belgesine gerek yoktur.

### Kaynaklar

- [1] Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A., & Hamdi, M. (2012). Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures*, 110, 151-166.
- [2] Altay, E. V., & Alatas, B. (2021). Differential evolution and sine cosine algorithm based novel hybrid multi-objective approaches for numerical association rule mining. *Information Sciences*, 554, 198-221.
- [3] Altay, E. V., & Altay, O. Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının CEC2020 test fonksiyonları ile karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(5), 729-741.
- [4] Varol Altay, E., & Alatas, B. (2020). Bird swarm algorithms with chaotic mapping. *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 1373-1414.
- [5] Altay, O. (2021). Chaotic slime mould optimization algorithm for global optimization. *Artificial Intelligence Review*, 1-62.
- [6] Bingol, H., & Alatas, B. (2016). Chaotic league championship algorithms. *Arabian journal for science and engineering*, 41(12), 5123-5147.
- [7] Khishe, M., & Mosavi, M. R. (2020). Chimp optimization algorithm. *Expert systems with applications*, 149, 113338.
- [8] Faramarzi, H. (2020). Faramarzi A., Heidarnejad M., Stephens B., Mirjalili S. *Equilibrium optimizer: A novel optimization algorithm*, Knowledge-Based Systems, 191.
- [9] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- [10] Mirjalili, S. (2015). Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-based systems*, 89, 228-249.
- [11] Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95, 51-67.
- [12] He, X., & Zhou, Y. (2018). Enhancing the performance of differential evolution with covariance matrix self-adaptation. *Applied Soft Computing*, 64, 227-243.
- [13] Dhiman, G. (2021). ESA: a hybrid bio-inspired metaheuristic optimization approach for engineering problems. *Engineering with Computers*, 37(1), 323-353.
- [14] Dhiman, G. (2021). SSC: A hybrid nature-inspired metaheuristic optimization algorithm for engineering applications. *Knowledge-Based Systems*, 222, 106926.
- [15] Gandomi, A. H., Yang, X. S., & Alavi, A. H. (2013). Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems. *Engineering with computers*, 29(1), 17-35.



## A COMPARATIVE INVESTIGATION ON THE WEAR PERFORMANCE OF COMPACTED GRAPHITE IRON (CGI) TREATED WITH SINGLE AND DOUBLE TEMPERING

Engin Tan<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Pamukkale University, Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 20160, Kınıklı, Denizli, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

Compacted graphite iron (CGI) is a critical material in today's automotive and manufacturing industries. Heat treatment processes can improve CGI wear properties, related primarily to microstructural changes. In this study, single and double tempering heat treatments were carried out to improve the wear properties of CGI. Oil quenching was performed after 90 minutes of austenitization at 900°C, followed by 60 minutes of single and double tempering at three different temperatures (315, 350, and 375°C). The wear performance of the samples was compared using a pin-on disc test and hardness measurements. The volume loss and friction coefficient were evaluated, and wear maps were constructed to determine the samples' wear behavior. SEM and EDS analyses were carried out to worn surfaces to interpret the wear mechanisms. According to the study's findings, double tempering heat treatment may optimize wear performance better than traditional single tempering, and structures with high toughness-wear resistance combinations can be obtained.

**Keywords:** Compacted graphite iron, double tempering, wear, hardness, scanning electron microscope.

## TEK VE ÇİFT TEMPERLEME İŞLEMİ YAPILMIŞ VERMİKÜLER DÖKME DEMİRİN (VDD) AŞINMA PERFORMANSI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ARAŞTIRMA

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Vermiküler dökme demir (VDD), günümüzün otomotiv ve imalat endüstrilerinde kritik bir malzemedir. Isıl işlem süreçleri, büyük ölçüde mikroyapısal değişikliklerle ilgili olan VDD aşınma özelliklerini iyileştirebilmektedir. Bu çalışmada, VDD'nin aşınma özelliklerini iyileştirmek için tek ve çift temperleme ısıl işlemleri gerçekleştirilmiştir. 900°C'de 90 dakikalık östenitleme ve yağda su vermeden sonra üç farklı sıcaklıkta (315, 350 ve 375°C) 60 dakika süreyle tek ve çift temperleme uygulanmıştır. Numunelerin aşınma performansı, pin-on disk testi ve sertlik ölçümleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Numunelerin aşınma davranışını belirlemek için hacim kaybı ve sürtünme katsayısı incelenmiş, ayrıca aşınma haritaları oluşturulmuştur. Aşınma mekanizmalarını yorumlamak için aşınma yüzeylerine SEM ve EDS analizleri uygulanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, çift temperleme ısıl işlemiyle aşınma performansının geleneksel tek tavlama göre daha iyi optimize edilebileceği ve yüksek tokluk-aşınma direnci kombinasyonuna sahip yapılar elde edilebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Vermiküler dökme demir, çift temperleme, aşınma, sertlik, taramalı elektron mikroskobu.

### 1 Introduction

Cast irons, which are widely used in industry, are essential alloys whose properties can be improved by heat treatment. Flake Graphite Iron (FGI), Nodular Graphite Iron (NGI), and Compacted Graphite Iron (CGI) are the most commonly used cast irons [1-4]. CGI has higher hardness and strength than FGI and better castability, machinability, and thermal conductivity than NGI. Therefore, CGI is used in components exposed to simultaneous mechanical, friction, and thermal loading, such as exhaust manifolds, cylinder heads and engine blocks in the automotive industry, and hydraulic bearings in the manufacturing industry [5-9].

The demand for high specific strength (strength/density) is growing as lightweight becomes more significant in the automotive industry. Despite having a higher density than aluminium alloys, CGI is lighter than FGI and NGI in components such as internal combustion engines, cylinder heads, and clutch pressure plates, where wear is a factor. It is therefore appealing in terms of utilization [10-13].

Heat treatment techniques improve the wear resistance of CGI components significantly. While the quenching process hardens CGI following austenitization, tempering is used to relieve the internal tensions at the operation's end. The tempering conditions can be optimized to achieve the best wear resistance [14-16].

\* Corresponding author.

E-mail address: etan@pau.edu.tr (E. Tan)

Received 01 March 2022; Received in revised form 29 March 2022; Accepted 09 May 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1081220>

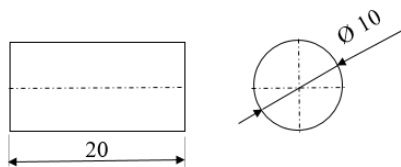
Many researchers investigate the wear behavior of different heat-treated parts in terms of various parameters to meet the industry's wear performance requirements [17-20]. According to the studies reviewed, heat treatment and manufacturing processes, in general, aim to optimize the surface hardness and wear characteristics of the components. Within this scope, in this study, single and double tempering methods were used to enhance the toughness-wear resistance combination of CGI. Double tempering has been demonstrated to be preferable in the industry for applications requiring both wear resistance and toughness. The effects of these techniques on the tribological properties of CGI were investigated in detail with microhardness measurements, wear tests and SEM-EDS analyses.

**2 Experimental Procedure**

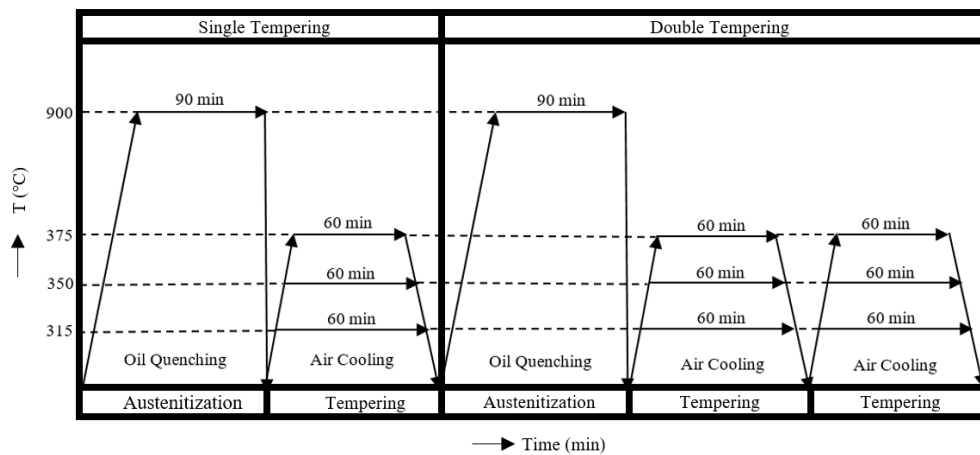
CGI materials used in the study were commercially supplied by Döktaş Dökümcülük San. Tic. A.Ş., (Bursa, Türkiye). The chemical composition of CGI is given in Table 1, and the As-Cast hardness of 21.4 HRC. Cylindrical wear samples of 10x20 mm (Figure 1) were prepared from these As-Cast materials according to the ASTM G99 standard [21]. These samples were then subjected to a series of hardening and tempering heat treatment processes.

**Table 1.** Chemical composition of CGI (wt. %).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
3.73	2.47	0.35	0.011	0.013	0.035	0.019	Bal.



**Figure 1.** The dimensions of wear test sample.



**Figure 2.** Heat treatment procedure.

**3 Results and Discussion**

The average hardness values of as-cast, quenched, and single/double tempered samples are given in Table 2 with standard deviations and hardness profiles in Figure 4. As the results show, the quenched sample had the maximum hardness value. The sample that was double

The samples were first austenitized at 900°C for 90 minutes and then quenched in oil. After quenching in oil, single and double tempering processes were applied for 60 minutes at 315, 350, and 375°C temperatures. Finally, the samples were cooled in the air. The applied heat treatment program is given in Figure 2.

After heat treatments, surface oxide residues were removed by sanding and polishing. The samples' hardness was measured on the Rockwell C scale (HRC) according to the ASTM E18 standard before the wear tests [22]. Hardness measurement was performed on a Matsuzawa DXT-3 Rockwell hardness tester given in Figure 3 a.

Abrasive wear tests were carried out on a pin-on-disc wear device following ASTM G99 under 5, 10, and 15 N loads at 3 m/s sliding speed. Sliding distances are determined as 100, 200, and 300 m. Three samples were used for each parameter in the tests. Wear tests were performed on a Turkeyus PODWT pin-on-disc test device given in Figure 3 b.



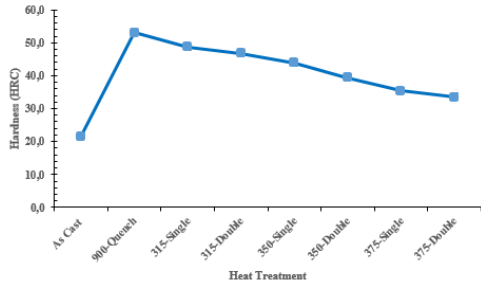
**Figure 3.** a) Hardness, b) Wear test devices used in the study.

Worn surfaces were analysed using the scanning electron microscope (Zeiss SUPRA 40VP) in the Advanced Technology Application and Research Center at Pamukkale University (Türkiye).

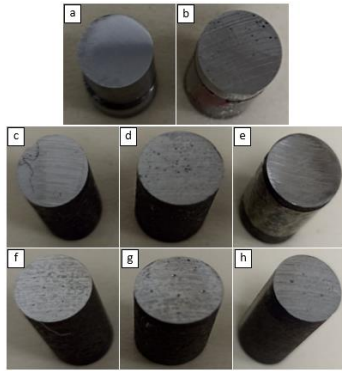
tempered at 375°C had the lowest hardness. Single tempering has higher hardness values than double tempering at the same tempering temperatures. With higher tempering temperatures, the hardness of the samples gradually decreased. The images of the test samples before and after the wear tests in maximum load (15 N) were given in Figure 5.

**Table 2.** The average hardness values of the samples.

Sample	Hardness (HRC)	Standard Deviation
As-Cast	21.4	1.0
900-Quench	53.1	1.4
315-Single	48.7	0.2
315-Double	46.8	0.5
350-Single	43.9	0.6
350-Double	39.4	0.8
375-Single	35.3	0.9
375-Double	33.5	1.3



**Figure 4.** Hardness profile of As-Cast and heat-treated CGI.



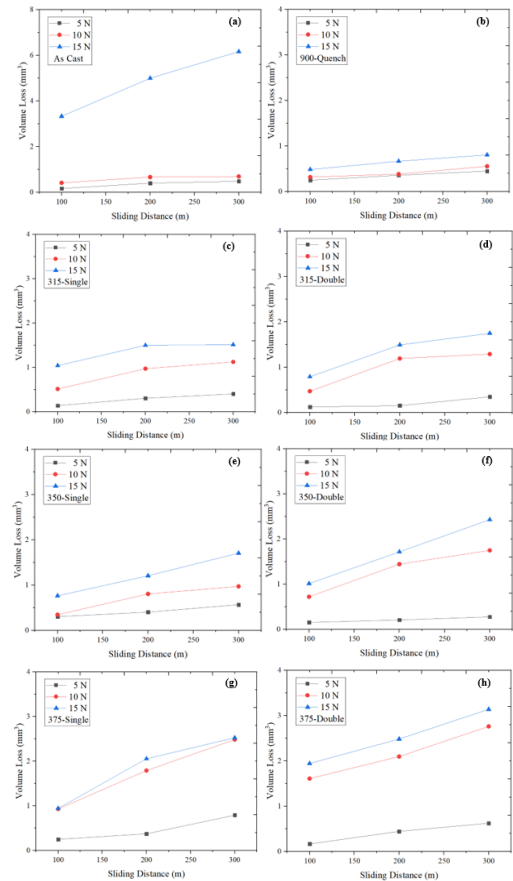
**Figure 5.** The images of the worn samples; a) As-Cast (before wear test), b) As-Cast, c) 315-Single, d) 350-Single, e) 375-Single, f) 315-Double, g) 350-Double, h) 375-Double.

Volume loss is one of the most critical factors in determining wear behavior. Figure 6 shows the effect of tempering heat treatment conditions on the wear behavior of CGI using volume loss graphs produced under various wear situations and heat treatment settings. Figure 6 clearly shows that the tempering heat treatment parameters and wear conditions directly affect the wear behavior. The highest volume loss was obtained in the As-Cast sample (Figure 6 a). Low hardness values can explain this high volume loss [23]. When the tempered samples are compared within themselves, it is seen that the highest wear resistance is obtained in the 315-Single sample (Figure 6 c). The decrease in wear resistance in other tempered specimens is due to the increased tempering temperature [24].

On the other hand, it was determined that the abrasion resistance of all tempered samples was higher than that of the As-Cast sample. The presence of carbide structures formed in the structure due to tempering causes an increase in hardness, which causes a significant increase in wear resistance [25-26]. The high wear resistance was determined when comparing the double tempered and single tempered samples. On the other hand, it was determined that there was not a very high decrease in wear resistance despite the decrease in hardness. This result

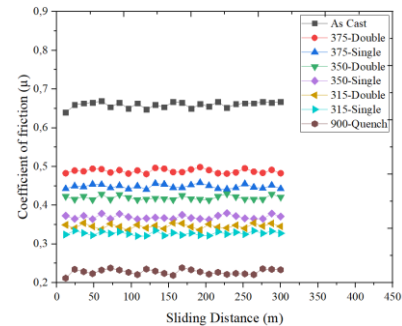
shows that double tempering heat treatment can obtain structures with a high toughness-wear resistance combination.

Wear conditions, such as tempering parameters, also directly affect the volume loss. It is observed that the volume loss increases significantly with increasing sliding distance and load. This result agrees with the results of the studies in the literature [27].



**Figure 6.** Effect of tempering conditions and wear parameters on the volume loss of CGI: a) As-Cast, b) 900-Quench, c) 315-Single, d) 315-Double, e) 350-Single, f) 350-Double, g) 375-Single, d) 375-Double.

Another parameter studied to determine the effect of tempering heat treatment parameters on the wear resistance of CGI is the coefficient of friction (Figure 7).



**Figure 7.** Effect of tempering conditions and wear parameters on the coefficient of friction of CGI.

Figure 7 clearly shows that the tempering parameter has a significant effect on the coefficient of friction of CGI. Among the tempered samples, the 315-Single sample (0.32) has the lowest coefficient of friction. The low coefficient of friction of the 315-Single samples

compared to the cast samples (0.65) can be explained by the significant increase in the hardness of the samples as a result of quenching and tempering heat treatment [28]. For comparison, the friction coefficients of the plain quenched samples (900-Quench) were investigated. 900-Quench specimens have the lowest coefficient of friction among all the specimens due to their high hardness. On the other hand, the As-Cast samples showed the highest friction coefficient values due to low hardness and the absence of carbides in the structure. This result shows conformity with previous studies [29-32].

In order to determine the effect of tempering heat treatment conditions on the wear mechanisms of CGI, wear maps of 315-Single and 315-Double samples were created (Figure 8). When Figure 8 is examined, the micro-cutting wear mechanism is dominant at low load and sliding distances, while micro-fracture and fatigue mechanisms are seen as more effective with increasing sliding distance and load. Fatigue mechanisms are affected by the interface temperature formed at the sample and abrasive interface [33]. It has been determined that double and single tempering directly affects the wear mechanisms. While less fatigue mechanism is observed in the 315-Double sample than in the 315-Single sample, a higher rate of micro-cutting wear mechanism is encountered at low forces.

Wear mechanisms directly affect wear resistance. In order to determine the effects of tempering and wear conditions on the wear behavior and removal mechanisms of CGI, SEM characterization of the worn surfaces was carried out. It is observed that the depth and width of the wear lines increase with increasing tempering temperature. The decrease explains this result in hardness with the increase of tempering temperature [34]. The highest wear marks were observed in the As-Cast sample, while the shallowest lines were obtained in the 900-Quench sample.

Similarly, the shallowest lines among the tempered samples were obtained in the 315-Single samples. It was observed that cracks especially started from areas close to graphite. This result agrees with the literature [35-36]. The wear mechanisms determined that the wear was realized with micro-cutting, micro-fracture, and fatigue mechanisms [Figure 9 to 13].

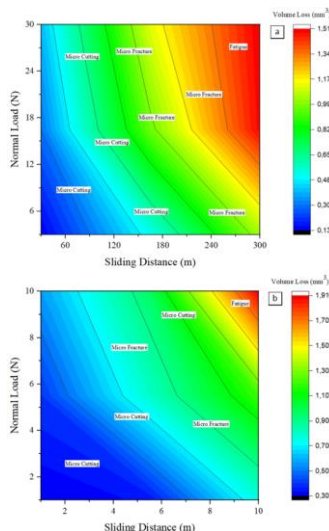


Figure 8. Wear map of; a) 315-Single, b) 315-Double samples.

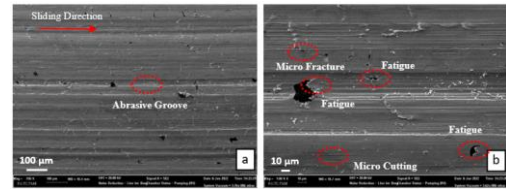


Figure 9. Worn surface analysis of As-Cast samples as a function of wear condition; a) X250, b) X1000.

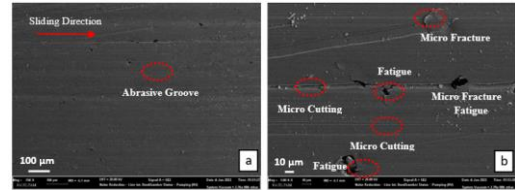


Figure 10. Worn surface analysis of quenched samples as a function of wear and tempering condition; a) X250, b) X1000.

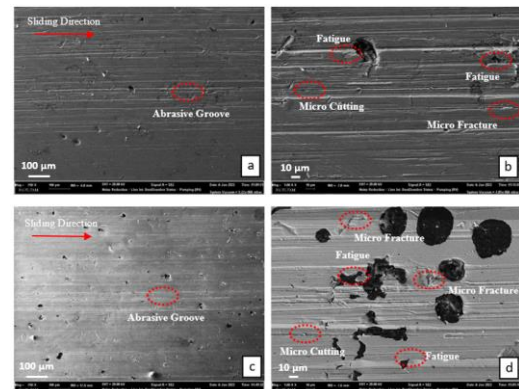


Figure 11. Worn surface analysis of tempered samples as a function of wear and tempering condition; a)375-Single X250, b) 375-Single X1000, c)375-Double X250, d) 375-Double X1000.

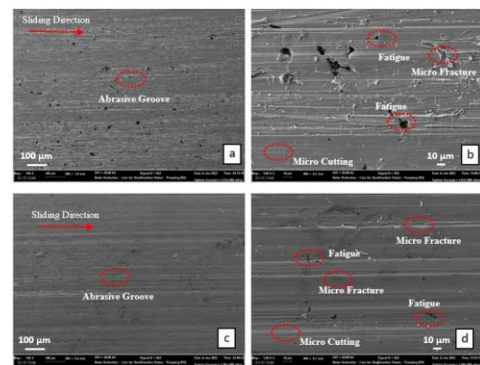


Figure 12. Worn surface analysis of tempered samples as a function of wear and tempering condition; a)350-Single X250, b) 350-Single X1000, c)350-Double X250, d) 350-Double X1000.

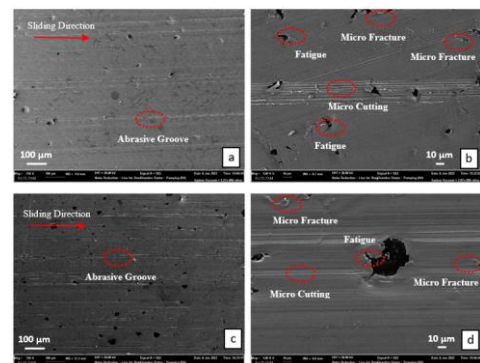


Figure 13. Worn surface analysis of tempered samples as a function of wear and tempering condition; a)315-Single X250, b) 315-Single X1000, c)315-Double X250, d) 315-Double X1000.

EDS analysis was used to determine the elemental distribution on the surface of the 315-Single sample with the best wear resistance (Figure 14). It was found that the distributions of Fe, Si, and C were homogeneous by the chemical composition of CGI. The elemental distribution is seen to be consistent with the literature [12, 14, 24].

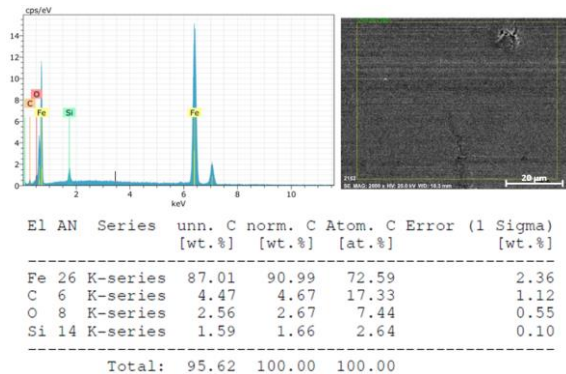


Figure 14. EDS analysis worn surface of 315-Single sample.

#### 4 Conclusion

Double tempering heat treatment will optimize toughness and wear and provide higher wear performance at a more affordable cost in the industry for CGI materials. The results of the study carried out in this context are presented below:

- As a result of tempering processes, the highest hardness was obtained in the 315-Single sample with 53.1 HRC, while the lowest hardness was observed in 33.5 HRC and 375-Double samples. While the hardness decreased as the tempering temperature increased, higher hardness was obtained in single tempering compared to double tempering for equivalent temperatures.
- The highest volume loss was obtained in the As-Cast sample in the wear tests. It was observed that the highest wear resistance among the tempered samples was obtained in the 315-Single sample. When the double tempered samples were compared with the single tempered samples, it was determined that they had higher wear resistance. On the other hand, despite the decrease in hardness, it was observed that there was not a very high decrease in wear resistance. This result showed that double annealing heat treatment could obtain structures with a high toughness-wear resistance combination.
- Among the tempered samples, the 315-Single sample has the lowest coefficient of friction with 0.32. 900-Quench samples have the lowest coefficient of friction among all specimens due to their high hardness. As-Cast samples showed the highest coefficient of friction with 0.65.
- The highest wear marks were observed in the As-Cast sample, while the shallowest lines were obtained in the 900-Quench sample. The shallowest lines among the tempered samples were obtained in the 315-Single samples.
- It has been determined that wear is realized by micro-cutting, micro-fracture, and fatigue mechanisms as wear mechanisms.

#### Acknowledgments

The author is thankful to Dr. İsmail Ovalı for his contributions to the study.

#### Declaration

Ethics committee approval is not required.

#### References

- [1] Ovalı, İ. (2012). *Chill formation on the surface of ductile iron and the effects of austempering heat treatments on microstructures and mechanical properties*. (Doctoral dissertation, Gazi University).
- [2] Tooptong, S., Park, K. H., & Kwon, P. (2018). A comparative investigation on flank wear when turning three cast irons. *Tribology International*, 120, 127-139.
- [3] Kayalı, Y. (2016). Effect of different heat treatments on mechanical properties of ductile iron. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 16(1), 192-197.
- [4] Toktaş, G., Toktaş, A. (2018). Carbide austempered ductile irons. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 20(1), 13-21.
- [5] Pina, J. C., Shafqat, S., Kouznetsova, V. G., Hoefnagels, J. P. M., & Geers, M. G. D. (2016). Microstructural study of the mechanical response of compacted graphite iron: An experimental and numerical approach. *Materials Science & Engineering A*, 658, 439-449.
- [6] Sjogren, T., Vomacka, P., & Svensson, I. L. (2004). Comparison of mechanical properties in flake graphite and compacted graphite cast irons for piston rings. *International Journal of Cast Metals Research*, 17(2), 65-71.
- [7] Dawson, S. (2009). Compacted graphite iron-A material solution for modern diesel engine cylinder blocks and heads. *China Foundry*, 6, 241-246.
- [8] Yang, W. J., Pang, J. C., Wang, L., Wang, S. G., Liu, Y. Z., Hui, L., Li, S. X. & Zhang, Z. F. (2021). Tensile properties and damage mechanisms of compacted graphite iron based on microstructural simulation. *Materials Science & Engineering A*, 814, 141244.
- [9] Nayyar, V., Kaminski, J., Kinnander, A., & Nyborg, L. (2012). An experimental investigation of machinability of graphitic cast iron grades; flake, compacted, and spheroidal graphite iron in continuous machining operations. *Procedia CIRP*, 1, 488-493.
- [10] Slatter, T., Lewis, R., & Jones, A. H. (2011). The influence of induction hardening on the impact wear resistance of compacted graphite iron (CGI). *Wear*, 3-4, 302-311.
- [11] Dawson, S., & Indra, F. (2014). Compacted graphite iron-a new material for highly stressed cylinder blocks and cylinder heads. *Sintercast*, 1-14.
- [12] Ki, S., Cockcroft, S. L., Omran, A. M., & Hwang, H. (2009). Mechanical, wear and heat exposure properties of compacted graphite iron at elevated temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*, 487, 253-257.
- [13] Lewis, R., & Dwyer-Joyce R. S. (2002). Wear diesel engine inlet valves and seat inserts. *Journal of Automobile Engineering Proceedings of the IMechE Part D*, 216, 205-216.
- [14] Venugopal Rao, S., Venkata Ramana, M., & Kumar, A. C. S. (2019). An experimental investigation on compact graphite iron wear behavior at 32 °C and 200°C. *Materials Today: Proceedings*, 19, 778-780.

- [15] Ovalı, İ., & Mavi, A. (2011, May) The effect of ausferrite volume fraction on the surface roughness of dual-phase matrix structure ductile iron. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium/Elazığ*. (pp. 156-160).
- [16] Venugopal Rao, S., Venkata Ramana, M., & Kumar, A. C. S. (2021). Friction and dry sliding wear properties of compact graphite iron at room temperature and 100 °C. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3250-3254.
- [17] Kaplan, Y., Yıldırım, A., & Aksöz, S. (2020). The effect of oxidation process after nitrocarburization on tribological properties of AISI 4140 steel. *Journal of Polytechnic*, 23(4), 1357-1362.
- [18] Pamuk, Ö., Kaplan, Y., & Aksöz, S. (2022). The effects of different heat treatment regimes on the wear properties of Fe-based composite materials. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 60(7-8), 439-450.
- [19] Federici, M., Cinzia, M., Moscatelli A., & Gialanella, S. (2017). Pin-on disc study of a friction material dry sliding against HVOF coated discs at room temperature and 300 °C. *Tribology International*, 115, 89-99.
- [20] Filho, D. D. S., Tschiptschin, A. P., & Goldenstein, H. (2018). Effects of ethanol content on cast iron cylinder wear in a flex-fuel internal combustion engine—A case study. *Wear*, 406-407, 105-117.
- [21] Annual book of ASTM standards. (2017). *Standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus* (ASTM G99-17).
- [22] Annual book of ASTM standards. (2005). *Standard test method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of metallic materials* (ASTM E18).
- [23] Woodward, R. G., Toumpis, A., & Galloway, A. (2022). The influence of tempering and annealing on the microstructure and sliding wear response of G350 grey cast iron. *Wear*, 496-497, 204283.
- [24] Wang, B., Qiu, F., Zhang, Y., Yang, J., Cui, W., Jin, Y., Cai, G., Yuan, Y., Guo, S., Li, H., & Barber, G. C. (2022). Influences of dual-phased nanoparticles on microstructure, mechanical properties and wear resistance of vermicular graphite cast iron. *Materials Letters*, 308-b, 131296.
- [25] Masuda, K., Oguma, N., Ishiguro, M., Sakamoto, Y., & Ishihara, S. (2021). Sliding wear life and sliding wear mechanism of gray cast iron AISI NO.35B. *Wear*, 474-475, 203870.
- [26] Öztürk, E., & Yıldırım, M. (2019). Effect of austempering temperature and time on microstructure and hardness of austempered ductile cast irons (ADI). *Konya Journal of Engineering Sciences*, 7(3), 604-611.
- [27] Akinribide, O. J., Akinwamide, S. O., Obadele, B. A., Ogundare, O. D., Ayeleru, O. O., & Olubambi, P. A. (2021). Tribological behaviour of ductile and austempered grey cast iron under dry environment. *Materials Today: Proceedings*, 38, 1174-1182.
- [28] Wang, B., Pan, Y., Liu, Y., Lyu, N., Barber, G. C., Wang, R., Cui, w., Qiu, F., & Hu, M. (2020). Effects of quench-tempering and laser hardening treatment on wear resistance of gray cast iron. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8163-8171.
- [29] Torre, U. D. L., Gonzalez-Martinez, R., & Mendez, S. (2020). Effect of the section size, holding temperature, and time on the kinetics of the ausferritic transformation and mechanical properties of as-cast ausferritic ductile iron. *Materials Science and Engineering: A*, 788, 139536.
- [30] Li, Y., Song, R., Chen, C., Zhao, Z., & Pei, Y. (2019). Enhancing mechanism of interaction of individual phases of 3.45 wt%Cr–Mn–Cu–Ni–B iron after quenching and tempering. *Materials Science and Engineering: A*, 760, 165-173.
- [31] Cui, J., & Chen, L. (2017). Microstructure and abrasive wear resistance of an alloyed ductile iron subjected to deep cryogenic and austempering treatments. *Journal of Materials Science & Technology*, 33(12), 1549-1554.
- [32] Çetin, M., & Gül, F. (2007). Effect of the matrix structure on the friction coefficient and pin temperature of ductile iron under dry sliding conditions. *Journal of Gazi University Faculty of Engineering and Architecture*, 22(3), 273-280.
- [33] Wang, B., Pan, Y., Barber, G. C., Qiu, F., & Hu, M. (2020). Wear behavior of composite strengthened gray cast iron by austempering and laser hardening treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2037-2043.
- [34] Vadiraj, A., Balachandran, G., Kamaraj, M., & Kazuya, E. (2011). Mechanical and wear behavior of quenched and tempered alloyed hypereutectic gray cast iron. *Materials & Design*, 32(4), 2438-2443.
- [35] Coronado, J. J., Gomez, A., & Sinatora, A. (2009). Tempering temperature effects on abrasive wear of mottled cast iron. *Wear*, 267(11), 2070-2076.
- [36] Gecü, R. (2022). Investigation of the effects of aluminum addition and austempering heat treatment on wear behavior of ductile cast irons. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 11(2), 1-1.



## THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF TECER LAKE (ULAŞ/SİVAS) AND ITS PHYTOPLANKTONIC COMMUNITIES

Ergün Kasaka\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Yıldızeli/Sivas

### Abstract

Original scientific paper

In this study, the physicochemical properties of the water and phytoplankton species composition of Tecer Lake were investigated. The sampling was performed at a single station, which is approximately the middle point of the lake, in monthly periods between December 2010 and December 2011 for a period of one year. A total of 63 species were identified in the lake, representing the groups of *Bacillariophyta* (27), *Cyanobacteria* (15), *Chlorophyta* (14), *Ochrophyta* (3), *Cryptophyta* (2) and *Euglenozoa* (2). The mean values of physicochemical parameters in the lake water were estimated as: water temperature; 11°C, dissolved oxygen (DO); 8 mgO<sub>2</sub>/l, electrical conductivity (EC); 9,68 mS/cm, turbidity; 5,42 NTU, suspended solids (SS); 28,7 mg/l, pH; 9,32, calcium; 4939 mg/l, hardness; 1460 mgCaCO<sub>3</sub>/l, total alkalinity (TA); 261 mgCaCO<sub>3</sub>/l, sulfate; 805 mg/l, silica; 0,54 mg/l, chemical oxygen demand (COD); 150 mg/l, chloride; 1255 mg/l, total phosphate (TP); 67,9 µg/l, total soluble phosphate (TSP); 48,5 µg/l, soluble reactive phosphate (SRP); 13,9 µg/l, chlorophyll-a; 1,212 µg/l, ammonium (NH<sub>4</sub>-N); 0,048 mg/l, nitrate (NO<sub>3</sub>-N); 0,1282 mg/l and nitrite (NO<sub>2</sub>-N); 0,0048 mg/l. This lake water was classified as very hard water in regard to the data of the water hardness, however it is also designated as Class I waters in terms of temperature, dissolved oxygen, ammonium, nitrate and nitrite values, Class II waters in terms of total phosphate and Class IV waters in terms of pH, chloride, sulfate and chemical oxygen demand according to the Water Pollution Control Regulation.

**Keywords:** Tecer Lake, phytoplankton, water chemistry, Ulaş.

## TECER GÖLÜ'NÜN (ULAŞ/SİVAS) FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE İÇERDİĞİ FİTOPLANKTONİK TOPLULUKLAR

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, Tecer gölü suyunun fizikokimyasal özellikleri ve fitoplanktonunun tür kompozisyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Örnekler bir yıllık süreyle Aralık 2010 ve Aralık 2011 tarihleri arasında aylık periyotlarla gölün orta noktasında belirlenen tek istasyondan alınmıştır. Gölde *Bacillariophyta* (27), *Cyanobacteria* (15), *Chlorophyta* (14), *Ochrophyta* (3), *Cryptophyta* (2) ve *Euglenozoa* (2) gruplarına ait toplam 63 tür belirlenmiştir. Göl suyunda fizikokimyasal parametrelere ait ortalama değerler; su sıcaklığı; 11°C, çözünmüş oksijen (ÇO); 8 mgO<sub>2</sub>/l, elektriksel iletkenlik (EC); 9,68 mS/cm, bulanıklık; 5,42 NTU, askıda katı madde (AKM); 28,7 mg/l, pH; 9,32, kalsiyum; 4939 mg/l, sertlik; 1460 mgCaCO<sub>3</sub>/l, toplam alkalinite (TA); 261 mgCaCO<sub>3</sub>/l, sülfat; 805 mg/l, silika; 0,54 mg/l, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ); 150 mg/l, klorür; 1255 mg/l, toplam fosfat (TF); 67,9 µg/l, toplam çözünbilir fosfat (TÇF); 48,5 µg/l, çözünbilir reaktif fosfat (ÇRF); 13,9 µg/l, klorofil-a; 1,212 µg/l, amonyum (NH<sub>4</sub>-N); 0,048 mg/l, nitrat (NO<sub>3</sub>-N); 0,1282 mg/l ve nitrit (NO<sub>2</sub>-N); 0,0048 mg/l' dir. Su sertlik verilerine göre çok sert su sınıfına giren göl suyu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre; sıcaklık, çözünmüş oksijen, amonyum, nitrat ve nitrit değerleri bakımından I. Sınıf, toplam fosfat bakımından II. Sınıf ve pH, klorür, sülfat ve kimyasal oksijen ihtiyacı bakımından ise IV. Sınıf sulara sahiptir.

**Keywords:** Tecer Gölü, fitoplankton, su kimyası, Ulaş.

### 1 Giriş

Su, canlıların yaşamında en önemli doğal kaynaktır. Çağımızda nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve yoğun tarımsal faaliyetlerden dolayı tatlı su kaynakları her geçen gün kirlenme riski ile karşı karşıya kalmakta ve azalmaktadır [1]. Doğal göller dinamik sistemlerdir. Bu

dinamik yapıda fitoplanktonlar sucul ekosistemin yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlere hızlı şekilde tepki vermelerinden dolayı, göl ve nehirlerin çevre kirliliği ve trofik (verimlilik) seviyelerinin belirlenmesinde önemli olmaktadır. Fiziksel ve kimyasal parametrelere kıyasla daha kararlı bir durum sergileyen [2] fitoplanktonlar birçok çalışmada göllerin trofik

\* Corresponding author.

E-mail address: ekasaka@cumhuriyet.edu.tr (E.Kasaka)

Received 04 February 2022; Received in revised form 25 April 2022; Accepted 23 May 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1068358>



seviyelerinin belirlenmesinde belirteç kabul edilmiştir [3, 4, 5]. Göl sisteminde meydana gelen değişiklikler fitoplanktonik topluluklarının tür çeşitliliğinde ve yoğunluğunun değişmesinde önemlidir [6]. Suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri sudaki bitkisel ve hayvansal organizmalara etki eder ve aynı zamanda türlerin kompozisyonunu, verimliliğini, bolluğunu ve fizyolojik durumlarını da değiştirir. Çeşitli amaçlar için (içme, kullanma, su ürünleri üretimi ve rekreasyonel) kullanılan yüzeysel suların özelliklerinin bilinmesi, ekolojik yapısının bozulmaması, korunması ve durumun sürekliliğinin sağlanması gerekir. Aynı zamanda sucul sistemlerin hangi amaçlarla kullanılabileceğini tespit etmek için ekolojik özellikleri ortaya konulmalıdır [7]. Bu çalışmada, Tecer Gölü fitoplanktonik kompozisyonunun, göl suyunun fizikokimyasal özelliklerinin ve göl su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY) göre değerlendirilmiş, göller, göletler, bataklıklar ve baraj hazneleri için verilen ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır [8].

## 2 Metaryol ve Metot

### 2.1 Çalışma Alanı

Tecer gölü Sivas iline 35 km uzaklıkta bulunan Ulaş ilçesinin güneydoğusunda ve ilçeye yaklaşık olarak 3,5 km mesafededir. Kızılırmak havzasında yer alan gölün rakımı 1403 m'dir. Gölün 2,8 km'lik bir kıyı şeridi olup yaklaşık 60 ha'lık bir yüzey alanına sahiptir. Konumlanması 39°25'52"K, 37°05'02"D 'dur ve güneydoğu kısmında Tecer Dağı yamaçları ile çevrelenmiştir. Yüzeysel sular ve yağış suları ile beslenen göl kapalı bir sistemdir. Maksimum derinliği 1,3 m olan gölün çoğu yerde derinliği 1 m den azdır. Gölün Doğu – Güney doğusunda geniş bir sazlık bir alan mevcuttur.

Araştırma alanının temelinde Üst Kretase - Paleosen yaşındaki Tecer formasyonu bulunur. Sığ denizel ortamı işaret Formasyon siyahımsı-gri renkli, çözünme boşluklu, bol eklemlili, algli ve makro fosil kavkılı, kalın katmanlı, yer yer kumlu - killi seviyelerden oluşan dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Üzerine yeşilimsi renkte, orta-kalın katmanlı, piroklastik ve epiklastik kayaç ardalanmasından oluşan Eosen yaşlı Kaleköy formasyonu açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Üzerlerine uyumlu olarak güney-güney batı kesiminde orta, ince katmanlı gri-sarımsı renkte kumtaşı, kilitaşı, şeyllerden oluşan Yapalı formasyonu ve kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından ve yanall geçişli jipslerden oluşan Eosen yaşlı Bozbel formasyonu gelmektedir. Bu birimlerin üzerine ise Oligosen yaşlı gri, yeşil, kırmızı ve sarımsı kilitaşı, silttaşı, ince taneli kumtaşı ve bu birimlerin içerisinde gelişen değişik kalınlıklara sahip jipslerden oluşan Küçükütüzhisar Formasyonu ve tabanda masif jipslerle başlayan, kalın-ince katmanlı kırmızı, formasyonun üstlerine doğru gri renkli çakıltıtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanmalı, üst düzeylerinde bol fosilli kireçtaşlarından oluşan Selimiye formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Tüm birimlerin üzerine Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gelmektedir [9].

## 2.2 Fitoplankton Örnekleme ve Teşhisi

Fitoplanktonik örnekleme aylık periyotlarla tek istasyondan alınmış ve Lugol [10] ile fikse edilmiştir. Fitoplankton örnekleri 10 ml hacimli hydro-bios çöktürme hücrelerinde 24 saat çöktürme işleminin ardından invert mikroskopta sayım ve teşhisi yapılmıştır. İvert mikroskopta sayım sırasında teşhis edilemeyen ultra ve nannoplanktonların teşhisi hazırlanan geçici preparatlarda Olympos Vanox marka araştırma mikroskobunda X40 ve X100'lük objektifler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fitoplankton türlerinin teşhisinde Komarek ve Fott; Komarek ve Anagnostidis; John ve Whitton; Brook; Krammer ve Lange Bertalot; Ettl; Prescott; Wehr ve Sheath' in eserlerinden yararlanılmıştır [11-22].

## 2.3 Fiziksel Ölçümler

Araştırma süresince su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve pH Consort C932 ve Consort C933 model ölçüm cihazlarıyla, bulanıklık ise Lovibond marka turbidimetre ile örnekleme sırasında ölçülmüştür.

## 2.4 Kimyasal Analizler

Kimyasal analiz için su numuneleri gölden Aralık 2010 – Aralık 2011 tarihleri arasında aylık olarak göl yüzeyinin 30-40 cm altından alınmıştır. Su numunelerinin analizleri örnekleme izleyen ilk 24 saat içerisinde standart metotlara [23] göre yapılmıştır. Klorofil-a ise %90 lık aseton metodu ile belirlenmiştir [24].

## 3 Bulgular

### 3.1 Fiziksel ve Kimyasal Kompozisyon

Ortalama su sıcaklığının 11 °C olduğu gölde (Tablo 1) su sıcaklığı -0,6 ile 22 °C arasında değişim göstermiştir. En düşük sıcaklık Aralık 2011 de en yüksek sıcaklıklar ise Temmuz 2011' de ölçülmüştür (Şekil 1.a). Gölde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 8 mgO<sub>2</sub>/l'dir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu örnekleme boyunca 5,4-11 mgO<sub>2</sub>/l arasında değişim göstermiştir. Bu parametreye ait en yüksek değer Aralık 2010' da 11 mgO<sub>2</sub>/l, en düşük ise Temmuz ayında yapılan ikinci örneklemede 5,4 mgO<sub>2</sub>/l olarak ölçülmüştür (Şekil 1.a). Sülfat, kalsiyum, su sertliği, klorür ve EC parametrelerine ait ortalama değerler sırası ile 805 mg/l, 4939 mg/l, 1460 mgCaCO<sub>3</sub>/l, 1255 mg/l ve 9,68 mS/cm' dir (Tablo 1). Yıllık ortalama değeri 805 mg/l olan gölde sülfat konsantrasyonları 546-1260 mg/l arasında değişim göstermiştir. En yüksek sülfat konsantrasyonu Aralık 2010' de, en düşük ise Haziran 2011' de ölçülmüştür (Şekil 1.b). Kalsiyum konsantrasyonu 2583-7932 mg/l arasında değişim göstermiştir. Gölde kalsiyum konsantrasyonu ortalama değeri 4939 mg/l olup (Tablo 1) en yüksek değeri Aralık 2010'da en düşük ise Mayıs 2011'de kaydedilmiştir (Şekil 1.b). Ortalama sertliği 1460 mg CaCO<sub>3</sub>/l olan göl suyunda (Tablo 1) su sertlik değerleri 891-2510 mgCaCO<sub>3</sub>/l değerleri arasında değişim göstermiştir. En yüksek sertlik değeri Aralık 2010'da en düşük ise Temmuz 2011'de kaydedilmiştir (Şekil 1.b). Klorüre ait ortalama

konsantrasyon 1255 mg/l olup (Tablo 1) suyun klorür değerleri 858-1920 mg/l arasında değişim göstermiştir. En yüksek klorür konsantrasyonu Aralık 2010' da, en düşük ise Haziran 2011' de ölçülmüştür (Şekil 1.b). EC değerleri 8-12 mS/cm arasında değişen göl suyunun ortalama EC değeri 9,68 mS/cm dir (Tablo 1). Bu parametreye ait en yüksek değer Aralık 2010' da, en düşük değer ise Haziran-Temmuz 2000 döneminde kaydedilmiştir (Şekil 1.b). Alkali karakterde olan göl suyunun pH değerleri 8,48-10 arasında değişim göstermiştir. Ortalama pH değeri 9,32 olan gölde (Tablo 1) en yüksek pH Temmuz 2011' de en düşük pH ise Nisan 2011'de kaydedilmiştir (Şekil 1.c). Ortalama konsantrasyonu 261 mgCaCO<sub>3</sub>/l olan toplam alkalinite değerleri 155-360 mgCaCO<sub>3</sub>/l arasında değişim göstermiştir. Göl suyunda en yüksek alkalinite değeri Nisan 2011'de en düşük değer ise Temmuz 2011 döneminde ölçülmüştür (Şekil 1.c). Gölde suyunda toplam fosfat (TF), toplam çözünebilir fosfat (TÇF) ve çözünebilir reaktif fosfat (ÇRF) olmak üzere üç ayrı fosfat fraksiyonu için ölçüm yapılmıştır. Bu fraksiyona ait ortalama konsantrasyonlar; 68, 49 ve 14 µg/l' dir (Tablo 1). TF, TÇF ve ÇRF konsantrasyonlar sırası ile 14-229 µg/l, 219-11 µg/l, ve 0,5-49 µg/l arasında değişim göstermiştir. En yüksek TF konsantrasyonu Mayıs 2011' de, en düşük ise Temmuz-Eylül 2011' de ölçülmüştür (Şekil 2.a). TÇF ye ait en yüksek konsantrasyon Mayıs

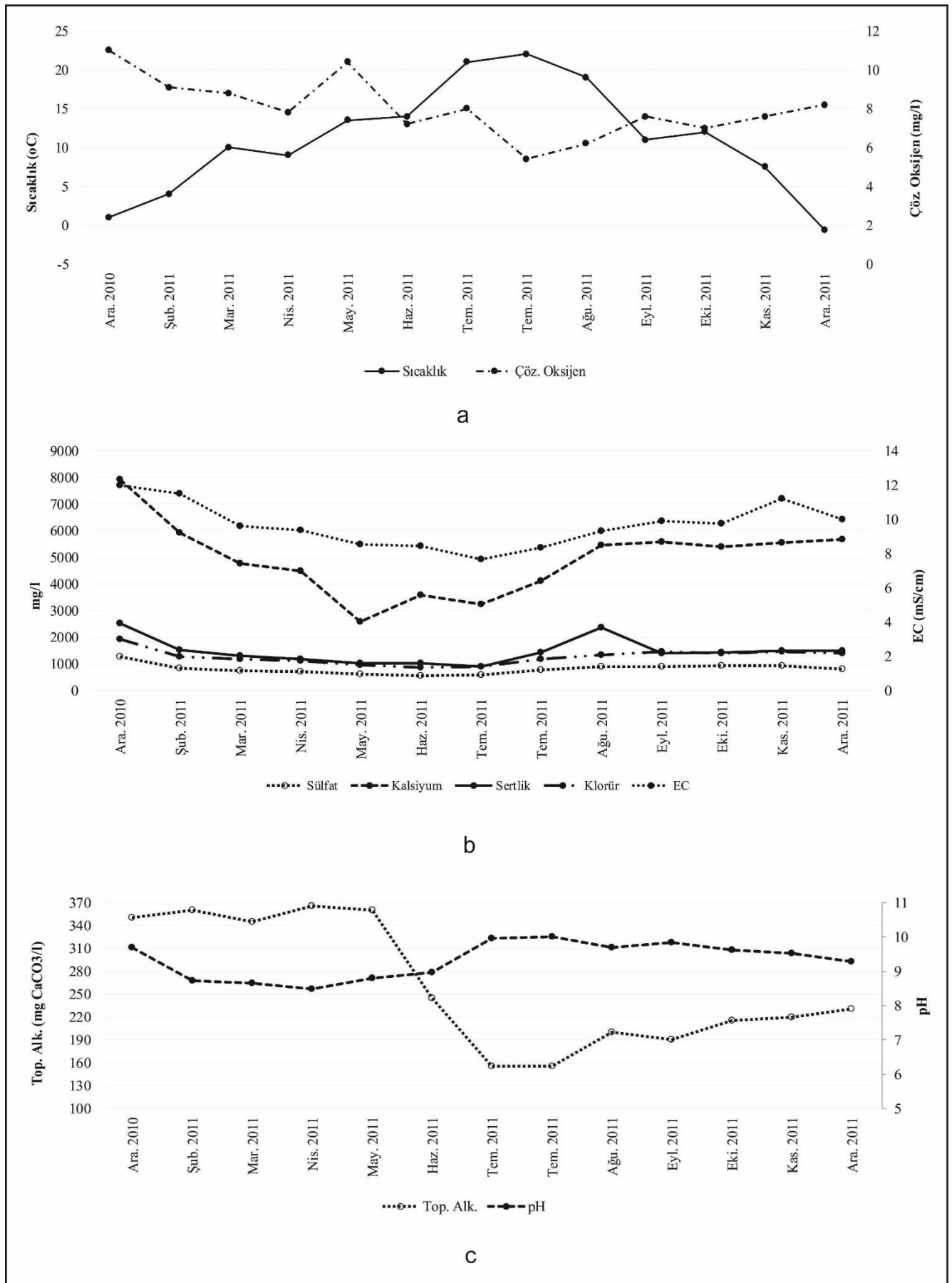
2011'de en düşük ise Temmuz 2011' de kaydedilmiştir (Şekil 2.a). Göl suyunda en yüksek ÇRF konsantrasyonu Şubat 2011' de en düşük ise Mart 2011' de ölçülmüştür (Şekil 2.a). Nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N), nitrit azotu (NO<sub>2</sub>-N) ve amonyak azotu (NH<sub>4</sub>-N) olmak üzere üç farklı azot formuna ait ölçüm yapılmış olup bu parametrelere ait ortalama konsantrasyonlar; 0,1282, 0,0048 ve 0,048 mg/l' dir (Tablo 1). NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N ve NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonlar sırası ile 0,0721-0,1900 mg/l, 0,0001-0,0289 mg/l ve 0,0012-0,1236 mg/l arasında değişim göstermiştir. En yüksek (NO<sub>3</sub>-N) konsantrasyonu Aralık 2010' da, en düşük Şubat 2011' de, NO<sub>2</sub>-N konsantrasyonu en yüksek Temmuz 2011' da, en düşük Aralık 2010' da, NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu en yüksek Şubat 2011' de, en düşük ise Haziran 2011' de, ölçülmüştür (Şekil 2.b). Göl suyunda ortalama silika değeri 0,54 mg/l, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 150 mgO<sub>2</sub>/l, klorofil-a 1,212 µg/l, askıda katı madde (AKM) 28,7 mg/l ve bulanıklık 5,42 NTU olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Silika konsantrasyonu 0,20-1,08 mg/l, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 60-247 mgO<sub>2</sub>/l, klorofil-a konsantrasyonu 0,079-8,024 µg/l, askıda katı madde (AKM) 10,0-56,8 mg/l ve bulanıklık 3,10-11,80 NTU arasında değişim göstermiştir. AKM konsantrasyonu en yüksek Şubat 2011' de, en düşük ise Aralık 2010' da, bulanıklık ise en yüksek Şubat 2011' de, en düşük ise Eylül 2011' de ölçülmüştür (Şekil 2.c).

**Tablo 1.** Tecer Gölü'nün fiziksel ölçümlerine ve kimyasal analizlerine ait sayısal verileri.

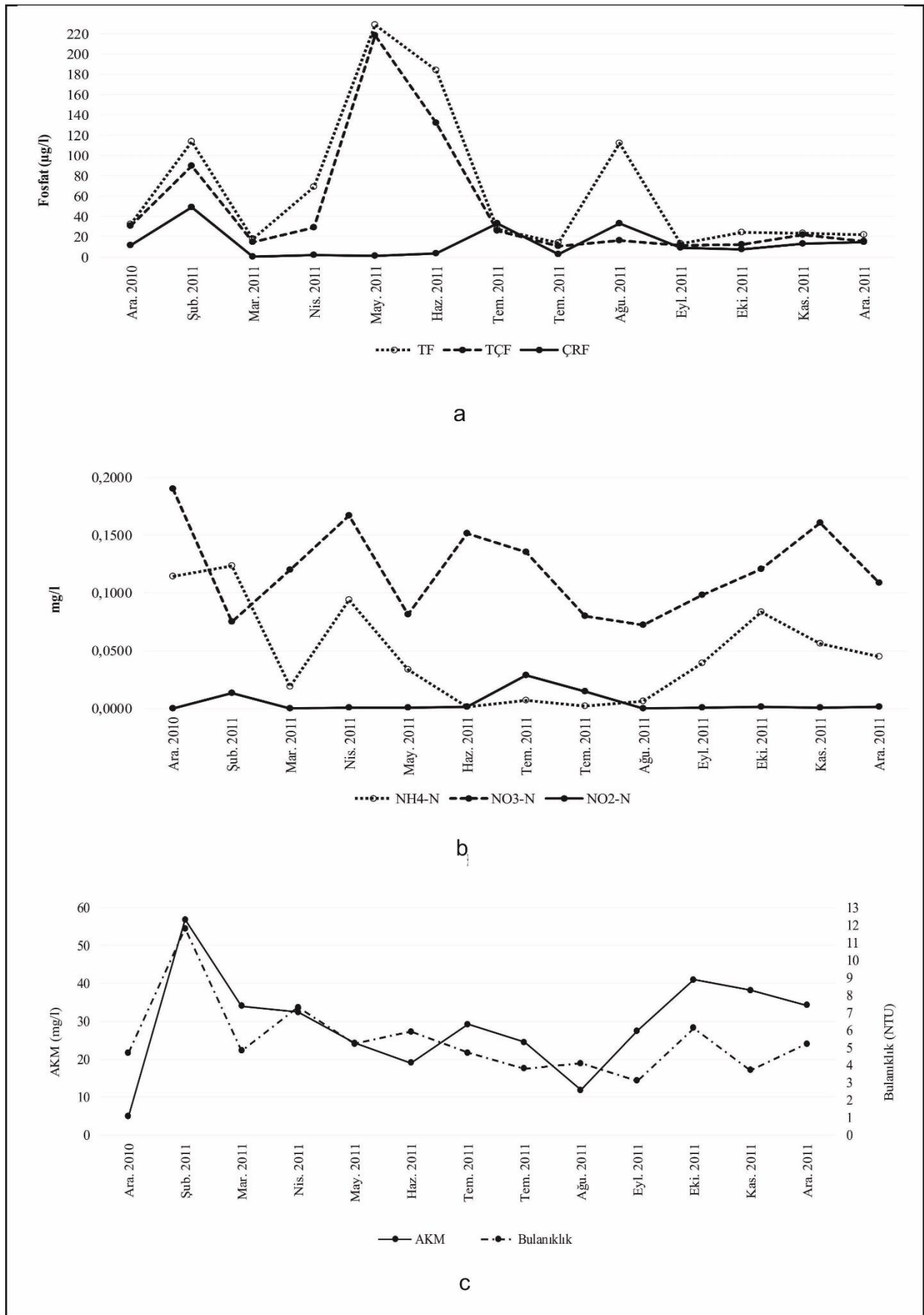
	SICAKLIK (°C)	ÇÖZ.O <sub>2</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	pH	EC (mS/cm)	BULANIKLIK (NTU)	KALSİYUM (mg/l)	SERTLİK (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	SÜLFAT (mg/l)	AKM (mg/l)	TA (mg CaCO <sub>3</sub> /l)
Ortalama	11,0	8,0	9,32	9,68	5,42	4939	1460	805	28,7	261
En yüksek	22,0	11,0	10,00	12,20	11,80	7932	2510	1260	56,8	365
En düşük	-0,6	5,4	8,48	7,65	3,10	2583	891	546	10,0	155

	SİLİKA (mg/l)	KOİ (mg O <sub>2</sub> /l)	KLORÜR (mg/l)	Klo- a (µg/l)	TF (µg/l)	TÇF (µg/l)	ÇRF (µg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	NO <sub>2</sub> -N (mg/l)
Ortalama	0,54	150	1255	1,212	68	49	14	0,0480	0,1282	0,0048
En yüksek	1,08	247	1920	8,024	229	217	49	0,1236	0,1900	0,0289
En düşük	0,20	60	858	0,079	14	11	0,5	0,0012	0,0721	0,0001



Şekil 1. Teger gölü'nün fizikokimyasal kompozisyonu; a) Sıcaklık ve çözülmüş oksijen, b) Sülfat, Kalsiyum, Sertlik, Klorür ve EC, c) Toplam Alkanilite ve pH'nin yıllık değişimi.

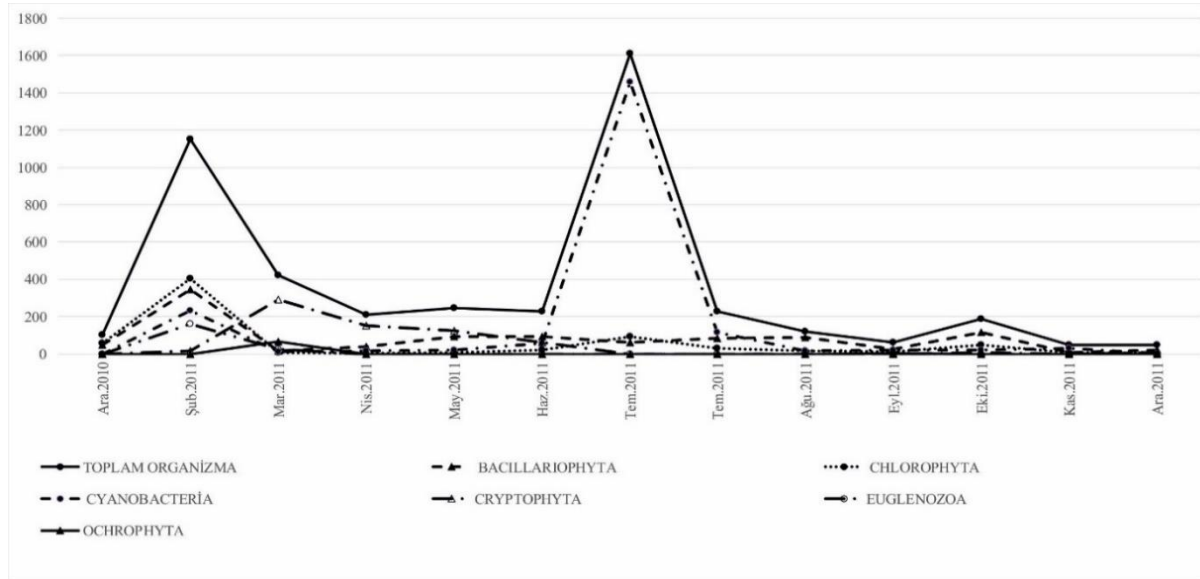


Şekil 2. Tecer gölü'nün fizikokimyasal kompozisyonu; a) TF, TCF ve ÇRF b) NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N c) AKM ve Bulanıklığın yıllık değişimi.

### 3.2 Fitoplanktonik Kompozisyon

Aralık 2010 ile Aralık 2011 tarihleri arasında yapılan çalışmada gölde *Bacillariophyta* (27), *Cyanobacteria* (15), *Chlorophyta* (14), *Ochrophyta* (3), *Cryptophyta* (2) ve *Euglenozoa* (2) gruplarına ait olmak üzere toplam 63 tür tespit edilmiştir (Tablo 2). Araştırma süresi boyunca *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria* ve *Chlorophyta* grubu her örneklemede periyodunda gölde mevcut olmuştur. Bu gruplardan *Bacillariophyta* gölde tür sayısının diğer gruplara göre fazla olduğu belirlenmiştir. Özellikle Şubat, Haziran, Temmuz ve Ekim aylarında grubun organizma sayısının fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şubat, 343 org/ml; Haziran, 92 org/ml; Temmuz, 84; Ekim, 113 org/ml). *Bacillariophyta* grubu içerisinde *Navicula radiosia*, *Cymbella tumidula*, *Halomphora holsatica*, *Encyonema minutum* ve *Encyonema perpusillum* öne çıkan türler olmuştur. *Bacillariophyta* grubunun *Chlorophyta* ve *Cyanobacteria* grubu takip etmiş ve *Bacillariophyta* ile birlikte fitoplanktonik birliklerin önemli bir kısmını oluşturmuşlardır. *Chlorophyta* grubu gölde Şubat ve Temmuz ayında artış göstermiştir (Şubat, 401 org/ml; Temmuz, 92 org/ml). Grup içerisinde *Oocystis borgei*, *O. elliptica*, *O. Pusilla*, *Monoraphidium griffithii* ve *Tetrademus bernardii* birey sayısı olarak önemli olan türlerdir. *Cyanobacteria*

grubunda Şubat ayında artış görülmekle birlikte özellikle Temmuz ayı başlarında önemli artış olmuş (Şubat, 234 org/ml; Temmuz, 1458 org/ml) ve gölde toplam fitoplanktonun büyük bir kısmını oluşturmuştur. Bu artışa en fazla katkı *Chroococcus dispersus* ve *C. minor* tarafından sağlanmıştır. *Cyanobacteria* grubu içerisinde *Chroococcus dispersus*, *C. minor* ve *C. minimus* ve *Pseudanabaena* sp. öne çıkan türlerdir. *Cryptophyta* grubu Mart, Nisan ve Mayıs aylarında fitoplanktona önemli katkıda bulunmuştur (Mart, 292 org/ml; Nisan, 150 org/ml; Mayıs, 125, org/ml). 2 tür ile temsil edilen grup içerisinde *Rhodomonas minuta* sayısal bakımdan önemli katkı sunmuş ve Mart, Nisan ve Mayıs aylarında toplam organizmanın büyük bir kısmını oluşturmuştur. *Euglenozoa* üyeleri fitoplanktonda önemli sayılara ulaşmamıştır. Bu grup üyelerine Şubat, Mart ve Kasım örneklerinde rastlanılmıştır (Şubat, 15 org/ml; Mart, 25 org/ml; Kasım, 8 org/ml). Gölde *Euglenozoa* grubu iki tür ile temsil edilmiştir. Bu grup üyelerine sadece Şubat ve Mart örneklemede rastlanılmıştır. Rastlanıldığı dönemlerde fitoplanktonda sayısal anlamda önemli olmamıştır. Grupta *Euglena viridis* öne çıkan tür olmuştur. *Ochrophyta* grubu üyelerine gölde sadece Mart ayı örneklemede rastlanılmış ve grup fitoplanktona önemli katkısı olmamıştır. (Mart, 67 org/ml). *Mallomonas acaroides* grupta öne çıkan tür olmuştur.



Şekil 3. Tecer gölü toplam organizma ve fitoplanktonik durum.

Tablo 2. Tecer Gölü'nde tespit edilmiş alglerin listesi.

Taxa	
Empire :	Prokaryota
Kingdom :	Eubacteria
Phylum :	Cyanobacteria
Order:	Synechococcales
	<i>Anathece clathrata</i> (West & G.S.West) Komárek, Kastovsky & Jezberová
Order:	Chroococcales
	<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann
	<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann
	<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli
	<i>Chroococcus pallidus</i> Nägeli
Order::	Nostocales
	<i>Cylindrospermum</i> sp.
	<i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

**Tablo 2.** Tecer Gölü'nde tespit edilmiş alglerin listesi. (Devamı)

	Order: Nostocales
	<i>Cylindrospermum</i> sp.
	<i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek
	Order: Oscillatoriales
	<i>Geitlerinema</i> sp.
	<i>Oscillatoria tenuissima</i> C.Agardh ex Forti
	<i>Oscillatoria</i> sp.
	Order: Synechococcales
	<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg
	<i>Pseudanabaena</i> sp.
	Order: Spirulinales
	<i>Spirulina subsalsa</i> f. <i>minor</i> Compère
	<i>Spirulina subtilissima</i> Kützing ex Gomont
	<i>Spirulina tenerrima</i> Kützing ex Gomont
Empire :	Eukaryota
Kingdom:	Chromista
Phylum :	Bacillariophyta
	Class: Mediophyceae
	Order: Stephanodiscales
	<i>Cyclotella</i> sp.
	Class: Bacillariophyceae
	Order: Thalassiophysales
	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow
	<i>Halamphora holsatica</i> (Hustedt) Levkov
	<i>Halamphora subcapitata</i> (Kisselew) Levkov
	Order: Naviculales
	<i>Caloneis pulchra</i> Messikommer
	<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G.Mann
	<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni
	<i>Navicula ignota</i> Krasse
	<i>Navicula radiosa</i> Kützing
	<i>Navicula</i> sp
	Order: Cocconeidales
	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg
	Order: Cymbellales
	<i>Cymbella affinis</i> Kützing
	<i>Cymbella tumidula</i> Grunow
	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann
	<i>Encyonema perpusillum</i> (Cleve-Euler) D.G.Mann
	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
	<i>Gomphonema</i> sp.
	Order: Rhabdonematales
	<i>Diatoma vulgare</i> Bory
	Order: Rhopalodiales
	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson
	Order: Eunotiales
	<i>Eunotia</i> sp.
	Order: Fragilariales
	<i>Fragilaria</i> sp.
	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg
	<i>Stauroneis salina</i> W.Smith
	Order: Mastogloiales
	<i>Mastogloia braunii</i> Grunow
	Order: Bacillariales
	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith
	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith
	<i>Nitzschia</i> sp.
Phylum:	Ochrophyta
	Class : Synurophyceae
	Order: Synurales
	<i>Mallomonas acaroides</i> Zacharias
	<i>Mallomonas heterospina</i> J.W.G.Lund
	Class : Xanthophyceae
	Order: Mischococcales
	<i>Ophiocytium capitatum</i> Wolle
Phylum:	Cryptophyta
	Class : Cryptophyceae
	Order: Cryptomonadales
	<i>Cryptomonas</i> sp.

**Tablo 2.** Tecer Gölü'nde tespit edilmiş alglerin listesi. (Devamı)

Kingdom: Plantae Phylum: Chlorophyta	Order: Pyrenomonadales
	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
	Class : Chlorophyceae
	Order: Chlamydomonadales
	<i>Carteria klebsii</i> (P.A.Dangeard) Francé
	Order: Sphaeropleales
	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová
	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová
	<i>Monoraphidium</i> sp.
	<i>Schroederia robusta</i> Korshikov
	<i>Selenastrum bibrainum</i> Reinsch
	<i>Tetrademus bernardii</i> (G.M.Smith) M.J.Wynne
	Order: Oedogoniales
	<i>Oedogonium obsoletum</i> Wittrock ex Hirn
	Class : Zygnematophyceae
Order: Zygnematales	
<i>Zygnema</i> sp.	
Order: Desmidiiales	
<i>Cosmarium</i> sp.	
Class : Trebouxiophyceae	
Order: Chlorellales	
<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow	
<i>Oocystis elliptica</i> West	
<i>Oocystis pusilla</i> Hansgirg	
<i>Oocystis</i> sp.	
Kingdom: Protozoa	
Phylum: Euglenozoa	
Class : Euglenophyceae	
Order: Euglenida	
<i>Euglena viridis</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	
<i>Trachelomonas pulcherrima</i> Roll, nom. illeg.	

#### 4 Tartışma ve Sonuçlar

Göl suyunun AKM ve bulanıklık değeri şubat ve Ekim ayında diğler aylara oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Gölün maksimum derinliğinin 1,3 m ve çok büyük kısmında derinliğin 1 m'nin altında olması gölde rüzgârın etkisi ile sedimentin ve bentik alglerin suya karışmasına, dolayısı ile AKM 'nin artmasına neden olduğu belirlenmiştir. AKM ortalaması 28,7 mg/l olan göl, SKKY [8] e göre ötrofikasyon Kontrolü sınır değerin (15 mg/l) üzerinde bir değere sahiptir. Bulanıklık su sütununda ışık yoğunluğunu değiştirebileceğinden dolayısı su sistemlerinde oldukça önemlidir. Aynı zamanda su sütunu içindeki organizmaların dağılımında ve fotosentez oranlarını potansiyel olarak etkileyebilmektedir. Plankton yoğunluğu, su içindeki çözünmüş organik ve inorganik maddeler, suyun kimyasal yapısı, ışığın gelme açısı ve dalga boyu, su yüzeyinin durumu, bulutluluk durumu gibi birçok faktör tarafından etkilenir [25]. Gölde bulanıklığın ortalama değeri 5,42 NTU olup su sütununda ışığı geçişini engelleyecek yoğunlukta olmadığı gözlemlenmiştir.

Göl suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ortalamasının 150 mgO<sub>2</sub>/l olduğu belirlenmiştir. SKKY'e [8] göre göl suyu IV. Sınıf su kalitesine sahiptir. Çevresinde yerleşim yeri ve sanayi kuruluşu bulunmayan gölde yüksek KOİ değerin sebebi yağışlar ile çevre arazide mevcut organik maddenin yüzey akışı ile göle taşınmasından kaynaklanmaktadır [26;27]. Ayrıca rüzgâra açık sığ bir göl olması nedeni ile rüzgar etkisi ile sedimentin de suya karışması KOİ'nin artmasında etkili olmuştur.

Yıllık ortalaması 8 mgO<sub>2</sub>/l olan çözünmüş oksijen değerlerinin gölde daima yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Sadece yaz aylarında oksijen konsantrasyonu diğler aylara oranla daha düşük seviyede olup 5,4 mgO<sub>2</sub>/l' ye düşmüştür. Bu durumu yaz aylarında su sıcaklığının artması ile oksijenin ortamdaki uzaklaşması, organik maddelerin biyokimyasal olarak ayrışması ve mikroorganizmaların çoğalmaları ile ilişkilendirmiştir [6]. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu açısından SKKY 'de verilen ötrofikasyon kontrolü sınır değerlerinden yüksek bir konsantrasyona sahip olan göl suyu, kıta içi su kaynaklarının kalite kriterine göre I. Sınıf sular sınıfına girmektedir [8].

Elektriksel iletkenlik değeri, genellikle sonbahar ve kış aylarında yüksek olarak kaydedilmiştir. Buharlaşıma su hacminin azalmasına ve dolayısı ile iyon konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır [28]. Gölün suda çok fazla çözünebilir bir mineral olan jipsli [29] bir formasyona sahip bir alanda konumlanmış olması da EC değerini yükselmesine katkıda bulunmaktadır. Klorür değerlerinin yüksek oluşu da tuzluluğa ve buna bağlı olarak elektriksel iletkenliğinin de yüksek değerlerde olmasına sebep olmaktadır [30,31].

Gölde kalsiyum, sülfat, klorür ve sertlik değeri yüksektir (Ca<sup>++</sup>: 4939 mg/l; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> : 805 mg/l; Cl<sup>-</sup>: 1255 mg/l, Sertlik 1460 mg CaCO<sub>3</sub>/l). Gölün bulunduğu havzada yoğun şekilde bulunan ve suda çözünürlüğü oldukça yüksek olan jipsli (CaSO<sub>4</sub>) kayaçların bulunması bu yüksek kalsiyum ve sülfat değerlerini açıklamaktadır. Sülfatın sularındaki kaynağını, sülfatlı ve sodalı kayaçlar olup [32] kolay eriyen minerallerin bulunduğu bölge

göllerini sert sulu göller olarak tanımlanmakta [33] ve 180 mgCaCO<sub>3</sub>/l den fazla olan sular çok sert sular olarak kabul edilmektedir [34]. Sertliğin yıllık ortalaması 1460 mgCaCO<sub>3</sub>/l olan Tecer gölü bu değer ile çok sert su sınıfına girmektedir. Sularda klorür varlığı, mineral içeriğinin yüksek olması anlamına gelir. 250 mg/l' den yüksek konsantrasyonlarda tuz tadı oluşturur [31]. Hafif tuzlu (acı su) olan Tecer gölü 1255 mg/l klorür konsantrasyonu ile SKKY'e [8] göre IV. Sınıf su kalitesine sahiptir.

Tecer gölü pH değerlerine göre yüksek alkali özellik göstermektedir. pH'nin ortalama 9,32 olduğu göl suyu ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri içerisinde yer almakta olup kıta içi su kaynaklarının kalite kriterine göre IV. Sınıf sular sınıfına girmektedir [8]. Alkali karaktere sahip olan Tecer gölünde alkalinitenin yıllık ortalama değeri 261 mgCaCO<sub>3</sub>/l olarak ölçülmüştür. Bu alkalinite karbonat ve hidroksitlerden kaynaklanmaktadır. Çünkü karbonat ve hidroksitlerin pH' nin yüksek olduğu ortamlarda bulunabildiği belirtilmiştir [24].

Kirlenmemiş doğal sularda toplam fosfor konsantrasyonu 1 µg/l' den azdır. Kirlenmemiş yüzey sularının birçoğunda ise 10-50 µg/l değeri arasındadır [35]. Gölde toplam fosfatın yıllık ortalama konsantrasyonu 67,9 µg/l olup kirlenmemiş doğal sular için verilmiş olan değerlerden yüksektir. Vollenweider'a [36] esas alındığında göl mezotrofik göller sınıfına girmektedir. Ayrıca II. Sınıf su kalitesine sahip olan göl ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri içerisinde yer almaktadır [8].

Gölde azot formlarından amonyum, nitrat ve nitrit analiz edilmiş amonyumun 0,048 mg/l, nitratın 0,1282 mg/l ve nitritin 0,0048 mg/l olduğu belirlenmiştir. Gölde azot formlarından nitrat baskın durumdadır (0,1282 mg/l). Amonyum nitrata oranla daha düşük konsantrasyona sahiptir. Zira yüzey sularında amonyumun 0,1 mg/l den az olduğu [37] ve iyi oksijenlenmiş sularda amonyum iyonu çoğunlukla düşük olduğu belirtilmiştir [35]. Temiz sularda bulunmadığı ya da eser miktarda bulunduğu [38] ve doğal sularda 0-0.01 mg/l arasında değişim gösterdiği belirtilen [35] nitritin Tecer gölünde ölçülmüş olan değerleri belirtilen değerlerden düşüktür. Gölde nitratın diğer azot formlarına göre baskın olduğu belirlenmiş olup Vollenweider'a [36] göre değerlendirildiğinde gölün oligotrofik göller sınıfına girdiği belirlenmiştir. Gölde azot formlarına ait yıllık ortalamalar açısından ise göl suyu I. sınıf su kalitesine sahiptir [8].

Tatlı sularda silis (SiO<sub>2</sub>) genellikle orta seviyede bolluk gösterir ve pek reaktif değildir. [24]. Doğal sularda 2-20 mg/l arasında bulunur [39]. Jipsli ve karbonatlı kayaların bulunduğu alanda bulunan Tecer gölünde silis'in yıllık ortalama değeri 0,54 mg/l olup belirtilen seviyenin altındadır. Zira karbonatlı kayalardan süzülen sularda silis miktarı düşük olacağı belirtilmiştir [24].

Klorofil-a bir gölün ötrofik seviyesinin belirlenmesinde önemli parametrelerden birisidir [33]. 2,5 µg/l küçük klorofil değerlerine sahip göller oligotrofik göller sınıfına girmektedir [40,41]. Klorofil-a konsantrasyonu yıllık ortalama değeri 1,212 µg/l'dir göl bu konsantrasyon ile oligotrofik göller sınıfına girmektedir. Göl suyu klorofil-a değerleri bakımından SKKY' de belirtilen ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri arasında yer almaktadır

Bu çalışmada aynı zamanda gölün fitoplanktonik kompozisyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Gölde fitoplanktonun *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *Cryptophyta* ve *Euglenozoa* olmak üzere 6 gruptan oluştuğu belirlenmiştir. Bu gruplara ait toplam 63 tür tespit edilmiştir (Tablo 2). Tür sayısı bakımından *Bacillariophyta* baskın olup onu sırası ile *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *Cryptophyta* ve *Euglenozoa* grubu takip etmektedir. Toplam tür sayısının %42,85'i *Bacillariophyta*' ya, %23,8'si *Cyanobacteria*'ya, %22,22' si *Chlorophyta*'ya, % 4,76'sı *Ochrophyta*' ya, %3,17' si *Cryptophyta* ve %3,17' si *Euglenozoa* grubuna aittir. Rüzgâra açık sığ olan gölde *Bacillariophyta* grubunu temsil eden türler genellikle bentik alglerden oluşmuştur. Sığ olan göllerde rüzgâr etkisi ile habitatların birbirine karışabileceği belirtilmektedir [42,43]. *Cyanobacteria* grubu temmuz ayında toplam organizmanın çok büyük bir kısmını oluşturmuştur (Şekil 3). Yapılan çalışmalarda *Cyanobacteria* üyelerinin yaz aylarında diğer dönemlere göre daha iyi gelişim gösterdiği rapor edilmiştir [44]. Kirlenmiş ve organik maddelerin çok olduğu sularda iyi gelişen [45] ve mezotrofik karaktere sahip göl sularında bulunduğu belirtilen [15] *Euglenozoa* grubu üyelerine oligotrofik karaktere sahip olan Tecer gölünde iki örneklemede rastlanılmış ve sayısal anlamda önemli olmamışlardır. Besin tuzları zengin ötrofik suları tercih ettiği belirtilen *Cryptophyta* [4] üyeleri gölde toplam fosfatın artış gösterdiği (Şekil 2.a) bahar döneminde önemli olmuştur (Şekil 3). Bütün örnekleme dönemlerinde fitoplanktonda olduğu belirlenen *Chlorophyta* grubunda oligotrofik göllerde yayılış gösterdiği belirtilen *Oocystis* türleri [46] grup içerisinde önemli olmuştur. Tecer gölü fitoplanktondaki tür sayısı ve türlere ait organizma sayıları düşük olduğu görülmektedir (Şekil.3). Çevresinde yerleşim yeri bulunmayan ve acı suya sahip olan gölün kimyasal özellikler açısından oligotrofik-mezotrofik karaktere sahip olduğu, fitoplankton tür sayısı ve yoğunluğu açısından fakir olduğu tespit edilmiştir.

## Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] Alver, A., & Baştürk, E. (2019). Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalitesi İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 488-497.
- [2] Nogueira, M. G. (2000). Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 431(2-3), 115.
- [3] Trifonova, I. S. (1998). Phytoplankton composition and biomass structure in relation to trophic gradient in some temperate and subarctic lakes of north-western Russia and the Prebaltic. *Hydrobiologia*, 369, 99-108.
- [4] Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, 24(5), 417-428.



- [5] Sivacı, R. E., Yardım, Ö., Gönülol, A., Bat, L., & Gümüş, F. (2008). Sarıçam (Sinop-Türkiye) lagününün bentik algleri. *Journal of Fisheries Sciences*, 2(4): 592-600.
- [6] Kıvrak, E. (2011). Karamuk Gölü (Afyonkarahisar) fitoplankton komunitasinin mevsimsel değişimi ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 28(1), 9-20.
- [7] Beyhan, T., & ÇETİN, M. (2011). Gökgöl (Ordu-Türkiye)'ün Bazı Fiziko-Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 75-84.
- [8] SKKY, (2004). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- [9] Ay, F., & Yalçın Erik, N. (2003). Ulaş (Sivas) kuzeyindeki Tersiyer yaşlı birimlerin petrol kaynak kaya ve organik fasiyes özellikleri. *Cumhuriyet üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(1), 38-51.
- [10] Lund, J. W. G., Kipling, C., & Le Cren, E. D. (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11(2), 143-170.
- [11] Komarek, J., & Fott, B. (1983). Das Phytoplankton des Süßwassers, 7.Teil, 1 Hälfte, Stuttgart, 1043p.
- [12] Komarek, J., & Anagnostidis, K. (1998). Süßwasserflora von Mitteleuropa Cyanoprokaryota, 19/1, 1.Teil: Chroococcales, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 548p.
- [13] Komárek, J., & Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1. Stuttgart: Fisher.
- [14] Komarek, J., & Anagnostidis, K. (2008). Süßwasserflora von Mitteleuropa Cyanoprokaryota, 19/2, 2.Teil/ Part2: Oscillatoriales, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 759p.
- [15] John, D. M., Whitton, B. A., Brook, & A. J. (2003). The Freshwater Algal Flora of the British Isles, An identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, 702 p., Cambridge UK.
- [16] Krammer, K. & Lange Bertalot, H., (1991). Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae, Band 2/3,3, Teil: Centrales Fragillariaceae, Eunotiaceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576p.
- [17] Krammer, K. & Lange Bertalot, H., (1991). Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae, Band 2/4,4 Teil: Achnantheceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437p.
- [18] Krammer, K. & Lange Bertalot, H., (1999). Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae, Band 2/1,1. Teil: Naviculaceae, Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 876p.
- [19] Krammer, K. & Lange Bertalot, H., (1999). Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae, Band 2/2,2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae, Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 610p.
- [20] Ettl, H. (1983). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Chlorophyta I, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 807p.
- [21] Prescott, G.W. (1982). Algae of the Western Great Lakes Area, Otto Koeltz Science Publishers, Germany, 977p.
- [22] Wehr, J. D., & Sheath, R. G. (2003). Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification, Aquatic Ecology Series, Academic Press, 918 pp.
- [23] APHA, (1986). Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 17th edition. American Public Health Association, Washington.
- [24] Wetzel, R.G. & Likens, G.E. (2000) Limnological Analyses. 3rd Edition, Springer, New York, Chapter: Nitrogen, Phosphorus, and Other Nutrients, 85-113.
- [25] O'Sullivan, P.E., & Reynolds, C.S. (2004). The Lakes Handbook. Vol. 1-Limnology and Limnetic Ecology. Blackwell Publ., 699p., Malden, MA, USA.
- [26] Karakoc, G., Erkoç, F. Ü., & Katircioğlu, H. (2003). Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). *Environment International*, 29(1), 21-27.
- [27] Tepe, Y. (2009). Reyhanlı Yenişehir Gölü (Hatay) Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi*, 18(70).
- [28] Round, F. E., Crawford, R. M., & Mann, D. G. (1990). *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge university press.
- [29] Pekcan, N. (1999). Karst jeomorfolojisi. *İstanbul Üni.Coğ. Böl. İSBN: 975-368-188-7*, 11-12.
- [30] Sezen, G. (2008). *Sarısaklı Baraj Gölü (Kayseri) Fitoplanktonu ve Su Kalitesi Özellikleri*. (Doctoral dissertation, Ankara University).
- [31] Ünlü, A., Çoban, F., & Tunç, M. S. (2008). Hazar Gölü Su Kalitesinin Fiziksel Ve İnorganik-kimyasal Parametreler Açısından İncelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 23(1).
- [32] Atay, R. & Bulut, C., (2005). Beyşehir, Eğirdir, Kovada, Çivril ve Karakuyu (Çapalı) Göllerinde Su Kirliliği Projesi, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Kurulu Bakanlığı.
- [33] Tanyolaç, J. (2009). Limnoloji (Tatlı Su Bilimi). *Hatipoğlu Yayınları*.
- [34] McGowan, W. (2000). In Water Processing: Residential. Commercial, *Light Industrial*, 309.
- [35] Wetzel, R.G. (2001). Limnology Lake and Reservoir Ecosystems. *Academic Press*, San Diego.
- [36] Vollenweider, R. A., (1979). Das Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externen Eingriff in den Eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren. *Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung* 12: 46 – 56.
- [37] Elmacı, A., Topaç, F. O., Teksoy, A., Özengin, N., & Başkaya, H. S. (2010). Uluabat Gölü fizikokimyasal özelliklerinin yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15(1).
- [38] Girgin, S., & Kazancı, N. (1994). *Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi: I. Ankara Çayı'nda Su Kalitesinin Fiziko-Kimyasal ve Biyolojik Yöntemlerle Belirlenmesi*, Özyurt Matbaası, Ankara, 184s.
- [39] Tepe, Y., Mutlu, E., & Türkmen, A. (2004). Yayladağı Görentaş Göleti (Hatay) Su Kalitesi Parametreleri Üzerine Bir Araştırma. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 35 (3-4), 201-208.
- [40] Hakanson, L., & Jansson, M. (1983). *Principles of lake sedimentology*. Berlin, New York: Springer Verlag press.
- [41] Lerzan Çiçek, N., Ertan, Ö.O., Erdoğan, Ö., Didinen, H., Ömer Boyacı, Y., Kara, D., Zeybek, M., & Diken, G. (2017). Distribution of phytoplankton and its relationship with physicochemical parameters in Lake. *Biological Diversity and Conservation*. 10/3; 150-162
- [42] Patrick, R. (1948). Factors effecting the distribution of diatoms. *The Botanical Review*, 14(8), 473-524.
- [43] Obalı, O., Gönülol, A., & Dere, Ş. (1989). Algal flora in the littoral zone of Lake Mogan. *Endokuz Mayıs University Journal of Science*, 1(3), 33-53.
- [44] Gönülol, A., & Çomak, Ö. (1990). Bafra Balık Gölleri (Balık Gölü, Uzun Göl) fitoplanktonunun araştırılması. X. *Ulusal biyoloji kongresi*, 18-20.
- [45] Round, F. E. (1956). The phytoplankton of there water supply rezervuar note Central Wales. *Arch. F. Hydrobiol*, 220, 232.
- [46] Hutchinson, G. E. (1967). Introduction to lake biology and the limnoplankton. *A treatise on limnology.*, 1115p.



## INVESTIGATION OF THERMAL BEHAVIOR AND MICROSTRUCTURE OF CARBON ADDED NiTi SHAPE MEMORY ALLOYS

Ercan Ercan<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü. Bitlis/Türkiye

### Abstract

*Original scientific paper*

This study aims to examine the thermal and microstructural properties of NiTiC1 and NiTiC2 shape memory alloys (SMAs) produced by arc-melting method. It was observed that additive C did not alter the phase transformation order which remained as one-step ( $B2 \leftrightarrow B19'$ ). Additionally, the effect of C addition on thermal properties of the Ni-riched NiTi alloy(s), including temperature hysteresis, enthalpy, entropy, and Gibbs free energies were also determined. An increase in the amount of C noticeably reduced the detectable grain size and thus decreased the elastic energy of the alloy. In DSC analysis, the presence of martensitic phases in the alloys was determined below the room temperature. The presence of B2 austenite, Ni<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub> precipitate, and TiC phases were detected in XRD analyses, which were supported by SEM-EDX results. Grain boundaries were clearly observed and precipitates were found to be homogeneously distributed.

**Keywords:** Shape memory alloy, NiTiC, elastic energy, gibbs free energy, grain size.

### 1 Introduction

Smart materials are becoming increasingly important as technology develops, e.g., they are used as sensors, actuators, and fasteners in some fields such as space, industry, and medicine [1-3]. The important role that shape memory alloys (SMAs), which are a class of smart materials, play is due to the shape memory effect (SME) and pseudo-elasticity [4, 5]. In terms of low-temperature range martensitic phase transformation, NiTi alloys constitute the most important group of alloys [2, 6]. Some methods can be used to adjust the required transformation temperatures depending on the applications of NiTi SMAs [7, 8]. For example, changing the element ratios of the alloy, adding different elements, changing the homogenization temperature, and quenching conditions [9, 10].

Controlling the phase transformation of Ni-rich NiTi SMAs at room temperature is necessary for some of the technologies operating in this range [11-13]. However, the presence of metastable intermediate phases (Ni<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>, Ni<sub>3</sub>Ti<sub>2</sub>) that affect the transformation temperatures in Ni-rich NiTi alloys are undesirable [11, 14]. Researchers are attempting to alloy with a third element to minimize these undesirable phases in Ni-rich NiTi alloys system in a way that does not have a significant effect on phase transformation temperatures [15-20]. However, studies on Ni-rich NiTiC alloys at the desired transformation temperature and structure are limited.

The variation of the transformation temperatures strongly depends on the elemental concentration of the

alloys [4, 6]. The change of elemental concentration causes changes in transformation temperatures as well as other thermodynamic parameters such as enthalpy, entropy, and Gibbs free energy. The most widely used thermal analysis system to examine these parameters is Differential Scanning Calorimetry (DSC) instrument [21]. As a matter of fact, transformation temperatures and enthalpy can be easily calculated with the help of the heating/cooling curves obtained by the DSC measurements. The Gibbs free energy, entropy, and enthalpy values of NiTiC alloys have been investigated previously [15]. However, appropriate information such as elastic energy and grain size is not found in the literature for NiTiC alloys.

In this study, it is aimed to determine the transformation temperatures and thermodynamic parameters of NiTiC1 and NiTiC2 alloys. In addition, the microstructures and their relations with the determined phase transformation temperatures and thermodynamic parameters were determined for the alloys.

### 2 Experimental Procedure

Powders with 99.8% purity of nickel, titanium, and C (in at.%) to make of Ni-48.72Ti-0.4C and Ni-48.32Ti-0.8C were compressed to small pellets by a hydraulic press. They were then melted several times in an electric arc melting furnace. Before melting, all the air in the chamber was vacuumed and filled with argon gas, thus greatly reducing the likelihood of oxidation in the alloys at high temperatures during melting. The atomic ratios

\* Corresponding author.

E-mail address: [eercan@beu.edu.tr](mailto:eercan@beu.edu.tr) (E. Ercan)

Received 01 February 2022; Received in revised form 16 March 2022; Accepted 11 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1066657>

(at.%) and weight ratios (wt.%) of the produced alloys are given in Table 1.

Alloy ingots were homogenized for 24 hours in a muffle furnace under argon atmosphere and 900 °C temperature, then, cooled in ice brine water to obtain the martensitic phase by minimizing the amount of some precipitates that may occur in the synthesis process of the alloys.

**Table 1.** The nominal codes for the produced alloys.

Alloys	Compositional rate (wt.%)			Compositional rate (at.%)		
	Ni	Ti	C	Ni	Ti	C
NiTiC1	56.10	43.81	0.09	50.88	48.72	0.4
NiTiC2	56.25	43.57	0.18	50.88	48.32	0.8

Samples of alloys were cut from the alloys in suitable sizes to be measured by Differential Scanning Calorimeter (DSC), X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Chemical Analysis (EDX) analyses. In order to determine the transformation temperatures by DSC, the cut samples were re-homogenized for 30 minutes to avoid shear forces formed during cutting. The DSC measurements were made at a 10 °C/min heating/cooling rate and in an  $N_2$  gas environment.  $A_s$  (Austenite start),  $A_f$  (Austenite finish),  $M_s$  (Martensite start), and  $M_f$  (Martensite finish) transformation temperatures;  $A_p$  (Austenite peak),  $M_p$  (Martensite peak), and  $T_0$  (equilibrium temperatures) temperatures; and  $\Delta H$  (Enthalpy) were obtained using the DSC results. X-ray measurement was accomplished by the RIGAKU ULTIMA IV X-Ray Diffraction Spectrometer at room temperature between 30-80° and a constant scan rate of 2 °/min. To obtain the surface micrograph analysis of the alloys, the samples were ground, polished, and chemically etched using a solution containing 10HNO<sub>3</sub> + 25HF + 150H<sub>2</sub>O, then, SEM-EDX compositional analysis were carried out using the JEOL JSM 6510 electron microscope.

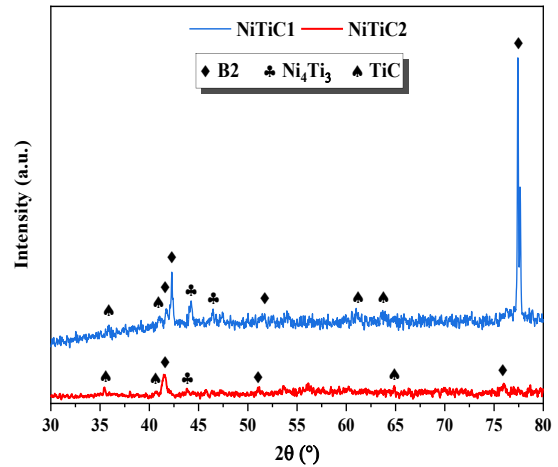
### 3 Results and Discussions

Figure 1 illustrates the XRD pattern of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys. In the literature, it has been determined that  $B19'$  martensite,  $B2$  austenite, and  $Ni_4Ti_3$  precipitation phases can be formed in NiTi alloys, while TiC phases are generally present in C doped compositions [6, 14, 22-25].  $B2$  austenite,  $Ni_4Ti_3$  precipitation and, TiC phase peaks were found in NiTiC1 and NiTiC2 alloys that are compatible with the literature.  $B19'$  martensite peaks were not found because the martensite phase transformations were below room temperature. However, using  $B19' \rightarrow B2$  phase transformation obtained by the DSC thermo-gram, the presence of  $B19'$  was determined. Among the peaks determined in the alloy, it is seen that the  $B2$  austenite phase peak is more dominant than the other peaks. The fact that the  $B2$  austenite phase was more dominant than the  $B19'$  martensite phase was due to the XRD analysis of the alloys was found at room temperature. On the other hand, it was determined that the

peaks belonging to the  $Ni_4Ti_3$  precipitation phase have low intensity. The XRD result gives more information about crystal structure and other parameters such as crystallite size ( $D$ ) of the alloys. Scherrer's model is based on the full width at half-maximum ( $FWHM(B)$ ), the wavelength of the X-ray ( $k$ ), and the angle ( $\theta$ ) in radians, which can be expressed as follows [26, 27]:

$$D = K\lambda/B \cos \theta \quad (1)$$

where  $K$  is the Scherrer constant and its best approximation value is 0.9.  $\lambda$  is the wavelength of the X-ray source used ( $\lambda_{K\alpha}(Cu) = 1.5406 \text{ \AA}$ ) and  $B$  represents the Bragg angle. Crystallite size is an important parameter of the effects strength, damping capacity, latent heat, and temperature dependence of materials. It is known that the material with nanoscale crystallite sizes (<100 nm) generally contributes positively to the microstructure and mechanical behavior [28, 29]. The crystallite size of the alloys is given in Table 2. The results reveal that the crystallite size is below 100 nm.



**Figure 1.** X-ray patterns of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

**Table 2.** The valence electrons per atom ( $e_v/a$ ) and valence electrons concentration ( $c_v$ ) of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

Alloys	$e_v/a$	$c_v$	Crystallite size (nm)
NiTiC1	7.366	0.291	88.60
NiTiC2	7.375	0.291	24.13

Figure 2 depicts the SEM micrographs of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys taken to determine the surface structures. Since, the martensite phase transformation of the alloys is below room temperature, so the martensite plates are not clearly observed. On the other hand, the  $Ni_4Ti_3$  precipitated phases in both alloys are observed in the form of pits and scattered over the entire surface. The EDX results are given in Table 3. The EDX results of NiTiC1 alloy show that there is no evidence of the presence of C element in the composition of the precipitate phases. While the precipitate phases formed in NiTiC2 alloy contains C element.

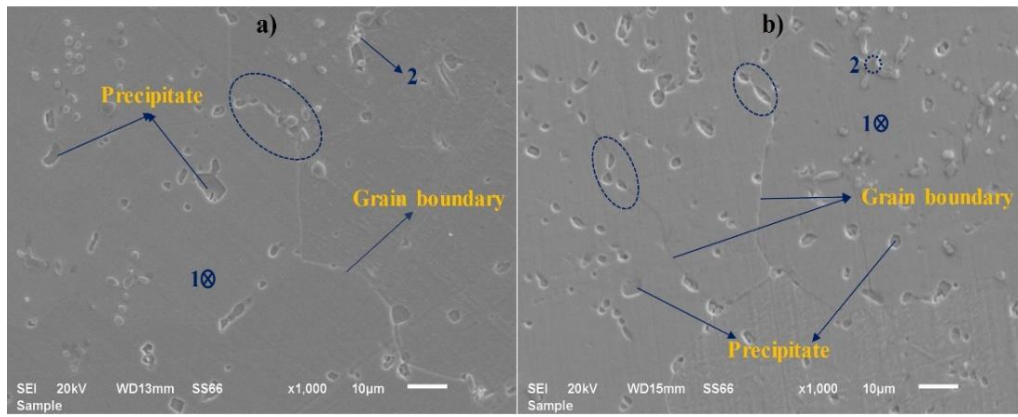


Figure 2. SEM micrograph of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

Table 3. Chemical composition results for determined areas on the SEM images of NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

Alloys	Location	Ni (at.%)	Ti (at.%)	C (at.%)
NiTiC1	Precipitate	43.83	56.17	0.0
	1	49.78	50.22	0.0
	2	39.95	52.34	7.71
NiTiC2	Precipitate	39.17	57.36	3.47
	1	46.81	46.63	6.56
	2	32.26	49.76	17.98

The EDX analysis results obtained from dark areas (region no. 1) showed that the Ti concentration is higher than the Ni concentration. It is noteworthy that the regions with a high Ti ratio are matrix phase has a flat and uni-color appearance. The bright structures (no. 2) observed on the surfaces of both alloys are different from the precipitates and region no. 1. Therefore, it is noticed that C elements are concentrated in the bright regions in both alloys, which is believed to be C rich Ti compound, possibly TiC. Since, the electron beam size for the EDX analysis a few microns, it is possible to indicate that signals from matrix phase is also plentiful and reduce the concentration of C in such regions. At high temperatures, Ti is more likely to bond with C compared to Ni because it needs lower activation energy. Another structure determined from SEM images is grain boundaries. The grains found in SEM images are different from the crystallites obtained through XRD analysis and through the mathematical equation. It is observed that the grain boundaries determined in both alloys were interrupted due to the compact precipitations formed along the boundaries.

The transformation temperatures ( $A_s$ ,  $A_f$ ) during heating and ( $M_s$ ,  $M_f$ ) during cooling; the  $\Delta H^{A \leftrightarrow M}$  energies of the martensitic phase transformations for the carbon-added Nickel-rich NiTi alloys showed in Figure 3. In general, it is known that the end product of martensite transformations of NiTi alloys has  $B19'$  (monoclinic) crystal structure, while the main phase has  $B2$  (cubic) crystal structure [4]. NiTiC1 and NiTiC2 alloys showed a one-step phase transformation from martensite to austenite (during the endothermic process) and from austenite to martensite (through the exothermic process) in the heating/cooling curves, i.e., phase transformation occurred as  $B19' \rightarrow B2$ , during heating, and as  $B2 \rightarrow$

$B19'$  during cooling. The low volume fraction of  $Ni_4Ti_3$  precipitates forming the  $R$  (Rhombohedral) phase caused no transformation of the  $R$  phase in the alloys [14]. The austenite and martensite phase transformation temperatures during the transformation are given in Table 4.

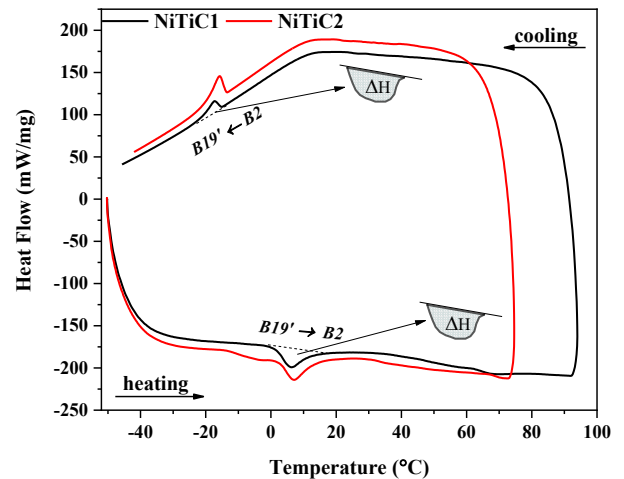


Figure 3. DSC curves of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys at 10 °C/min heating/cooling rates.

Table 4. Transformation temperatures of the NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

Alloys	$A_s$ (°C)	$A_p$ (°C)	$A_f$ (°C)	$M_s$ (°C)	$M_p$ (°C)	$M_f$ (°C)	$H_t$ (°C)
NiTiC1	2.9	6.6	11.7	-14.3	-15.4	-20.0	26.0
NiTiC2	2.2	5.7	11.7	-15.4	-16.9	-18.4	27.1

When Figure 3 and Table 4 were examined, it was found that the transformation temperatures of the alloys were below room temperature (25°C). The transformation and hysteresis temperatures of the alloys changed with changing the amount of C. It is known from previous studies that changes in hysteresis temperature are caused by internal frictions (dispersion energy) in the microstructure [7]. In addition, it was concluded that the increase in C atom ratios expanded the hysteresis temperature and thus slowed down the phase transformation process.

One of the parameters that change the precipitation of  $Ni_4Ti_3$  in the matrix is the concentration of the elements. Only a small amount of  $Ni_4Ti_3$  precipitate phases were found in the SEM-EDX of NiTiC1 and NiTiC2 alloys, resulting from the C addition into the nitinol. Thus, the

presence of  $R$  phase caused by  $\text{Ni}_4\text{Ti}_3$  precipitated phases was not detected in DSC analysis. It was determined that this change in the matrix caused the  $\text{Ni}_4\text{Ti}_3$  precipitation phases to be located between the grain boundaries as a result of the absence of the  $R$  phase.

Figure 4 reveals the variation of the transformation and hysteresis temperature of the alloys.

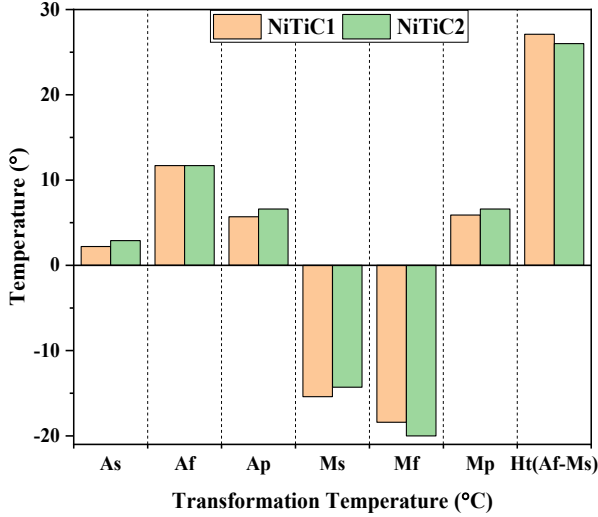


Figure 4. Variation of transformation and hysteresis temperatures of NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

$A_f$  and  $M_s$  phase transformation temperatures were used to calculate equilibrium temperature ( $T_0$ ) by equation (2), and entropy change ( $\Delta S^{A \rightarrow M}$  and  $\Delta S^{M \rightarrow A}$ ) for austenite and martensite phase transformation were calculated using equation (3) [15, 32];

$$T_0 = 1/2 (A_f + M_s), \quad (2)$$

$$\Delta S^{A \leftrightarrow M} = \Delta H^{A \leftrightarrow M} / T_0. \quad (3)$$

The equilibrium temperature is where the Gibbs free energies of reverse phase transformation and  $\Delta G^{A \rightarrow M}(T_0)$  is zero, such that [15];

$$\begin{aligned} \Delta G^{A \rightarrow M}(T_0) &= G^M(T_0) - G^A(T_0) \\ &= (H^M - T_0 S^M) - (H^A - T_0 S^A) \\ &= \Delta H^{A \rightarrow M} - T_0 \Delta S^{A \rightarrow M} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

where  $G^{M,A}$ ,  $S^{M,A}$ , and  $H^{M,A}$  are the Gibbs free energy, entropy, and enthalpy of the martensite phase.

The free energy difference is called the driving force required for phase transformation. The driving force is reason for a reaction like the diffusion in a solution, which generally causes a grain growth or a phase transformation, resulting from the change in temperature or chemical inhomogeneity [31]. The Gibbs free energy at the initial martensite temperature ( $M_s$ ) can be calculated by using the following equation [33];

$$\begin{aligned} \Delta G^{A \rightarrow M}(M_s) &= \Delta G^{M \rightarrow A}(T_0) - \Delta G^{M \rightarrow A}(M_s) \\ &= -(T_0 - M_s S^M) \Delta S^{M \rightarrow A} \end{aligned} \quad (5)$$

Elastic energy stored or released during transformation will inhibit the forward transformation but will aid the reverse transformation. The difference between the reverse transformation temperatures ( $M_s$  and  $M_f$ ) is proportional to the amount of elastic energy stored. The value of elastic energy was found by [34];

$$\begin{aligned} G_e &= \Delta G^{M \rightarrow A}(M_s) - \Delta G^{M \rightarrow A}(M_f) \\ &= (M_s - M_f) \Delta S^{M \rightarrow A} \end{aligned} \quad (6)$$

$T_0$ ,  $\Delta S^{A \leftrightarrow M}$ ,  $\Delta G^{M \rightarrow A}$  and  $G_e$  values were calculated by Equation (2-5, 6) and the results are listed in Table 5. The energies of the alloy  $\Delta H^{A \rightarrow M}$  (austenite to martensite) and  $\Delta H^{M \rightarrow A}$  (martensite to austenite) are one of the important thermodynamic parameters in alloys exhibiting martensitic transformation. The energy values of  $\Delta H^{A \rightarrow M}$  and  $\Delta H^{M \rightarrow A}$  of C-reinforced NiTiC1 and NiTiC2 alloys are given in Table 5.

Table 5. Some thermodynamic parameters of NiTiC1 and NiTiC2 alloys.

Alloys	$T_0$ (°C)	$\Delta G^{A \rightarrow M}$ (J)	$G_e$ (J)	$\Delta S^{A \rightarrow M}$ (J/K $^\circ$ C)	$\Delta S^{M \rightarrow A}$ (J/K $^\circ$ C)	$\Delta H^{A \rightarrow M}$ (J/g)	$\Delta H^{M \rightarrow A}$ (J/g)
NiTiC1	13.0	96	412	72.3	73.8	0.94	0.96
NiTiC2	13.4	133	115	35.1	78.3	0.47	1.05

Among NiTiC1 and NiTiC2 alloys, whose thermodynamic parameters are given in Table 5, the most striking parameter is the elastic energy. It is seen that the elastic energy decreases approximately three times with the increase of C reinforcement. It means that it contributes more to the reverse transformation that occurs in NiTiC1 alloy compared to NiTiC2, owing to the high elastic energy stored in NiTiC1 alloy during the reverse transformation. In addition, it is concluded that the larger crystallite size of NiTiC1 alloy than that of NiTiC2 contributes to the high amount of elastic energy stored in NiTiC1 alloy.

#### 4 Conclusion

The transformation temperatures and some thermodynamic parameters of NiTiC1 and NiTiC2 SMAs produced by the arc-melting method were investigated by the DSC analysis system. Their microstructures were examined by XRD and SEM-EDX analysis. As a result of the analysis, the following findings were drawn;

- The transformation temperatures of the alloys were found to be below the room temperature. The transformation exhibited a one-step phase transformation and was observed to be  $B19' \rightarrow B2$  during heating and as  $B2 \rightarrow B19'$  during cooling. By increasing the C concentration, the transformation temperatures varied between 0.7 and 1.5 °C.

- As the C concentration increase, internal friction, and dislocations of the alloy increase during the martensite transformation resulting in the value of temperature hysteresis  $sH_t$ , and Gibbs Free energies ( $\Delta G^{A \rightarrow M}$ ) decreased.
- It was determined that martensite plates and martensite peaks were not observed in SEM-EDX and XRD analyses carried out at room temperature. B2 austenite, Ni<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub> precipitation, and TiC phases were determined by XRD analysis. The existence of these phases was supported by SEM-EDX analysis, too.
- It was determined that the grain boundaries were formed along with the Ni<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub> precipitation phases. The crystallite size of the alloys was calculated to be less than 100 nm.

### Acknowledgments

Ethics committee approval is not required for this study. There is no conflict of interest between the authors. This work is supported by Bitlis Eren University Research-Project Unit under Project No: BEBAP 2021.09.

### References

- [1] Otsuka, K., & Ren, X. (2005). Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in materials science*, 50(5), 511-678.
- [2] Jani, J. M., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M. A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials & Design* (1980-2015), 56, 1078-1113.
- [3] Balci, E., & Dağdelen, F. (2021). Investigate of Microhardness and Microstructure of Ti-Ni-Nb-X (Ta and V) Shape Memory Alloys. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 131-135.
- [4] Dağdelen, F., & Ercan, E. (2014). The surface oxidation behavior of Ni–45.16% Ti shape memory alloys at different temperatures. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(1), 561-565.
- [5] Kök, M., Al-Jaf, A. O. A., Çirak, Z. D., Qader, I. N., & Özen, E. (2020). Effects of heat treatment temperatures on phase transformation, thermodynamical parameters, crystal microstructure, and electrical resistivity of NiTiV shape memory alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(6), 3405-3413.
- [6] Kaya, I., Karaca, H., Nagasako, M., Kainuma, R., Effects of aging temperature and aging time on the mechanism of martensitic transformation in nickel-rich NiTi shape memory alloys, *Materials Characterization*, 159, 110034, 2020.
- [7] Kaya, I., Karaca, H. E., Nagasako, M., & Kainuma, R. (2020). Effects of aging temperature and aging time on the mechanism of martensitic transformation in nickel-rich NiTi shape memory alloys. *Materials Characterization*, 159, 110034.
- [8] Eskil, M. (2013). The effect of aging temperature on transformation parameters of porous NiTi shape memory alloy fabricated by SHS. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 54(1), 104-111.
- [9] Dal, S., Demirel, B., & Eskil, M. (2021). The effects of homogenization time on the crystal structure and hardness of NiMnGaMo alloy. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), 493-502.
- [10] Siddharth, M. K., & Sarada, B. N. (2021). Effect of heat treatment time and temperature variants on Ni-Ti shape memory alloy. *Materials Today: Proceedings*.
- [11] Naji, H., Khalil-Allafi, J., & Khalili, V. (2020). Microstructural characterization and quantitative phase analysis of Ni-rich NiTi after stress assisted aging for long times using the Rietveld method. *Materials Chemistry and Physics*, 241, 122317.
- [12] Ryklina, E. P., Polyakova, K. A., & Prokoshkin, S. D. (2021). Role of Nickel Content in One-Way and Two-Way Shape Recovery in Binary Ti-Ni Alloys. *Metals*, 11(1), 119.
- [13] Belyaev, S., Resnina, N., Iaparova, E., Ivanova, A., Rakhimov, T., & Andreev, V. (2019). Influence of chemical composition of NiTi alloy on the martensite stabilization effect. *Journal of Alloys and Compounds*, 787, 1365-1371.
- [14] Qin, Q., Peng, H., Fan, Q., Zhang, L., & Wen, Y. (2018). Effect of second phase precipitation on martensitic transformation and hardness in highly Ni-rich NiTi alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 739, 873-881.
- [15] Frenzel, J., Zhang, Z., Somsen, C., Neuking, K., & Eggeler, G. (2007). Influence of carbon on martensitic phase transformations in NiTi shape memory alloys. *Acta Materialia*, 55(4), 1331-1341.
- [16] Goryczka, T. (2008). Martensitic transformation in Ni–Ti–Co strip produced by twin roll casting. *Materials Science and Engineering: A*, 481, 676-679.
- [17] Tong, Y. X., Liu, J. T., Feng, C. H. E. N., Liang, C. Q., Bing, T. I. A. N., Li, L. I., & Zheng, Y. F. (2014). Effect of aging on martensitic transformation and superelasticity of TiNiCr shape memory alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(8), 2598-2605.
- [18] Basu, R., Eskandari, M., Upadhayay, L., Mohtadi-Bonab, M. A., & Szpunar, J. A. (2015). A systematic investigation on the role of microstructure on phase transformation behavior in Ni–Ti–Fe shape memory alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 645, 213-222.
- [19] Wang, M., Jiang, M., Liao, G., Guo, S., & Zhao, X. (2012). Martensitic transformation involved mechanical behaviors and wide hysteresis of NiTiNb shape memory alloys. *Progress in natural science: materials international*, 22(2), 130-138.
- [20] Ramaiah, K. V., Saikrishna, C. N., & Bhaumik, S. K. (2014). Ni<sub>24</sub> Ti<sub>50</sub> Pd<sub>25</sub> 0 high temperature shape memory alloy with narrow thermal hysteresis and high thermal stability. *Materials & Design* (1980-2015), 56, 78-83.
- [21] Fraj, B. B., Zghal, S., & Tourki, Z. (2017, March). DSC investigation on entropy and enthalpy changes in Ni-rich NiTi shape memory alloy at various cooling/heating rates. In *International Conference Design and Modeling of Mechanical Systems* (pp. 631-639). Springer, Cham.
- [22] Wang, J., Pan, Z., Wang, Y., Wang, L., Su, L., Cuiuri, D., ... & Li, H. (2020). Evolution of crystallographic orientation, precipitation, phase transformation and mechanical properties realized by enhancing deposition current for dual-wire arc additive manufactured Ni-rich NiTi alloy. *Additive Manufacturing*, 34, 101240.
- [23] Pandolfi, G. S., Martins, S. C., Buono, V. T., & Santos, L. A. (2020). Precipitation kinetics of Ti<sub>3</sub>Ni<sub>4</sub> and multistage martensitic transformation in an aged Ni–rich Ni–Ti shape memory alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 9162-9173.
- [24] Chen, F., Tong, Y. X., Lu, X. L., Wang, X., Tian, B., Li, L., ... & Ma, L. W. (2011). Effect of graphite addition on martensitic transformation and damping behavior of NiTi shape memory alloy. *Materials Letters*, 65(7), 1073-1075.
- [25] Vallauri, D., Adrián, I. A., & Chrysanthou, A. (2008). TiC–TiB<sub>2</sub> composites: A review of phase relationships, processing and properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(8), 1697-1713.

- [26] Qader, I. N., Kok, M., & Cirak, Z. D. (2021). The effects of substituting Sn for Ni on the thermal and some other characteristics of NiTiSn shape memory alloys. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145(2), 279-288.
- [27] Tankut, A. T. E. Ş., KÖYTEPE, S., BULUT, N., & KAYGİLİ, O. Ni Katkısının Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün Yapısal Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 81-87.
- [28] Chen, J., Yin, H., & Sun, Q. (2020). Effects of grain size on fatigue crack growth behaviors of nanocrystalline superelastic NiTi shape memory alloys. *Acta Materialia*, 195, 141-150.
- [29] Shi, X., Cui, L., Jiang, D., Yu, C., Guo, F., Yu, M., ... & Liu, Y. (2014). Grain size effect on the R-phase transformation of nanocrystalline NiTi shape memory alloys. *Journal of Materials Science*, 49(13), 4643-4647.
- [30] Mohammed, S. S., Kok, M., Qader, I. N., Kanca, M. S., Ercan, E., Dagdelen, F., & Aydoğdu, Y. (2020). Influence of Ta additive into Cu<sub>84-x</sub>Al<sub>13</sub>Ni<sub>3</sub> (wt%) shape memory alloy produced by induction melting. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44(4), 1167-1175.
- [31] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: an introduction* (Vol. 9). New York: Wiley.
- [32] Ercan, E., Dagdelen, F., & Qader, I. N. (2020). Effect of tantalum contents on transformation temperatures, thermal behaviors and microstructure of CuAlTa HTSMAs. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(1), 29-36.
- [33] Dagdelen, F., Balci, E., Qader, I., Ozen, E., Kok, M., Kanca, M., & Mohammed, S. (2020). Influence of the Nb content on the microstructure and phase transformation properties of NiTiNb shape memory alloys, *JOM*, 72(4), 1664-1672.
- [34] Dagdelen, F., Kok, M., & Qader, I. N. (2019). Effects of Ta content on thermodynamic properties and transformation temperatures of shape memory NiTi alloy. *Metals and Materials International*, 25(6), 1420-1427.



## COATING TiO<sub>2</sub> FILM USING THE SPIN METHOD OF AISI 304 STAINLESS STEEL AND INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL PROPERTIES

Hatice Varol Özkavak<sup>\*1</sup>, Hatice Asıl Uğurlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Mak. ve Met. Tek. Böl., Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta OSB Meslek Yüksekokulu, Mak. ve Met. Tek. Böl., Isparta, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

In this study, TiO<sub>2</sub> ceramic oxide film with good passivity, low conductivity and good tribological properties was coated on stainless steel (AISI 304) material by sol gel spin coating method. The effect of annealing temperature and time on the structure of the coated TiO<sub>2</sub> films was investigated. Ethyl acetoacetate (EAcAc), ethanol and as titanium source Tetra-n-butyl orthotitanate (TBT) was used for the coating process. In the TiO<sub>2</sub> thin film coating process, 2600 rpm was chosen as the spin rotation speed. In order to examine the effect of annealing time and temperature on the coating structure, annealing was applied at treatment times of 1 and 1.5 hours and at processing temperatures of 500 °C, 600 °C, 700 °C. The structural properties of the coatings were investigated by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) analysis. It was determined that the peaks obtained according to the analyzes were in the anatase and rutile phases. When the XRD results were examined, it was seen that the dominant peak was the Rutile (210) phase at all temperatures and times. In addition, parameters such as crystal size (*D*), dislocation density ( $\delta$ ) and strain ( $\epsilon$ ) were determined for the R(210) phase from XRD analysis. After the study, SEM analyzes were determined that the annealing temperature and time changed the surface morphology.

**Keywords:** Annealing temperature, annealing time, spin coating, thin films, TiO<sub>2</sub>.

## AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN SPİN YÖNTEMİ KULLANILARAK TiO<sub>2</sub> FİLMİ İLE KAPLANMASI VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada iyi pasiflik, düşük iletkenlik ve iyi tribolojik özelliklere sahip TiO<sub>2</sub> seramik oksit filmi sol jel spin kaplama yöntemi ile paslanmaz çelik (AISI 304) malzemesi kaplanmıştır. Kaplanan TiO<sub>2</sub> filmlerin yapısına tavlama sıcaklığı ve süresinin etkisi incelenmiştir. Kaplama işlemi için Ethyl acetoacetate (EAcAc), etanol ve titanium kaynağı olarak Tetra-n-butyl orthotitanate (TBT) kullanılmıştır. TiO<sub>2</sub> ince film kaplama işleminde spin döndürme hızı olarak 2600 dev/dak seçilmiştir. Tavlama süresi ve sıcaklığının kaplama yapısına etkisini incelemek amacıyla 1 ve 1,5 h işlem sürelerinde ve 500, 600, 700 °C işlem sıcaklıklarında tavlama uygulanmıştır. Yapılan kaplamaların yapısal özellikleri X-Işınları Diffraktometresi (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri ile incelenmiştir. Yapılan analizlere göre elde edilen piklerin anataz ve rutile fazında olduğu belirlenmiştir. XRD sonuçları incelendiğinde bütün sıcaklıklarda ve sürelerde baskın pikin Rutile (210) fazı olduğu görülmüştür. Ayrıca XRD analizlerinden R(210) fazı için kristal boyutu (*D*), dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) ve gerinim ( $\epsilon$ ) gibi parametreler belirlenmiştir. Çalışma sonrasında tavlama sıcaklığı ve süresinin yüzey morfolojisini değiştirdiği SEM analizleri ile belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnce film, Spin kaplama, tavlama sıcaklığı, tavlama süresi, TiO<sub>2</sub>.

### 1 Giriş

Korozyon ve aşınma metallerin kullanıldığı endüstri ve mühendislik uygulamalarında dikkat çeken bir konudur. Korozyon ve aşınma makine parçaları için hasarın temel nedeni olarak gösterilebilir. Bu nedenle metallerin olumsuz etkilerden korunmaları önem arz etmektedir. Hasarın önlenmesinin yanı sıra enerji tasarrufu ve ekonomik kazanç anlamında da bu hasar

mekanizmalarının ortadan kaldırılması önemlidir. AISI 304 paslanmaz çeliği korozyon direnci, mekanik dayanım ve süneklilik gibi üstün özelliklerinden dolayı çeşitli endüstrilerde, özellikle gıda ekipmanı ve makineleri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Bu kadar üstün özelliklere sahip AISI 304 paslanmaz çeliği yüksek korozyon ve mekanik hasara neden olacak çevrelere maruz kalmakta ve hasara uğramaktadır [1]. Gıda endüstrisi başta olmak üzere birçok alanda kullanılan AISI

\* Corresponding author.

E-mail address: haticevarol@isparta.edu.tr (H. Varol Özkavak)

Received 09 February 2022; Received in revised form 29 March 2022; Accepted 09 May 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1070575>



304 çelik malzemenin korozyondan korunması amacıyla yüzey koruma teknolojileri kullanılmaktadır [3]. Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan yüzey koruma teknolojileri termal sprej [4], magnetron sprej [5] ve sol jel spin kaplama yöntemleridir [6]. Sol jel yöntemi etkili ve ekonomik kaplama üretmeyi sağlayan kaplama yöntemi olarak bilinmektedir [7]. Bu yöntem ihtiyaç duyulan ekipmanın basit olması, değişik kompozisyonlarda ve kimyasal özelliklerde kaplama yapılıp elverişli olması ve metal yüzeylere iyi tutunma özelliği göstermesi nedeniyle diğer yöntemlere göre avantajlıdır [8-10].

Seramik oksitlerden olan Titanyum oksitler birçok endüstriyel uygulamada iyi pasiflik, düşük iletkenlik veya yalıtım ile iyi tribolojik özelliklere sahip olmasından dolayı yaygın kullanım alanı bulmuştur. Aynı zamanda elektronik endüstrisinde de TiO<sub>2</sub> filmleri yüksek termal kararlılık, geniş bant aralığı, yüksek kırılma indisi ve düşük kaçak akım gibi özelliklerinden dolayı elektriksel ve optik cihazların verimliliğini artırmak için potansiyel bir adaydır [11].

Fotokimyasal güneş hücreleri [12, 13], fotokataliz [14, 15], süperhidrofilik malzemeler [16, 17] gibi alanlarda Titanyum oksitle kaplamalara başvurulmaktadır. Fotokatalitik özelliğinden dolayı titanyum filmler çelik üzerine kaplamada sürekli kullanılmaktadır. Bunun yanında TiO<sub>2</sub> yüksek mekanik dayanım, düşük elektrik iletkenliği ve mükemmel kimyasal stabilite ve biyo uyumluluğa sahiptir [8]. Ayrıca TiO<sub>2</sub> AISI 304 paslanmaz çelik [18] AISI 316L paslanmaz çelik [19], magnezyum alaşımları [20] ve titanyum alaşımları [21] gibi malzemeler üzerine aşınma ve korozyon direncini korumak amacıyla sol jel, plazma elektrolitik oksidasyon, elektrodeposition gibi kaplama yöntemleri kullanılarak uygulanır [20]. Tüm bu özelliklerinden dolayı metal oksit grubunda yer alan TiO<sub>2</sub>'in ince filmlerini hazırlama ve karakterizasyonu önem kazanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde kaplama karakterizasyonu için genellikle cam altlık kullanılmış, çelik üzerine yapılan ince film kaplamaların karakterizasyonu ele alınmamıştır.

**Tablo 1.** AISI 304 malzemesinin kimyasal bileşimi.

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Fe
%	%0,08 max	%2,0 max	%0,045 max	%0,03 max	%0,75 max	%18-20	%18-20	Balance

AISI 304 çelik üzerine TiO<sub>2</sub> filmi kaplamak için sol-jel spin yöntemi kullanılmıştır. Kaplama işlemi için 2600 dev/dak ve 30 saniye süreli kaplama işlemi yapıldıktan sonra amacı çözüldüdeki etanolün buharlaştırılması olan kurutma işlemi 100 °C'de uygulanmıştır. Daha sonra numunelere 120 °C'de 1 h ısıtım uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra numuneler tavlama işlem sıcaklığı ve süresinin etkisini belirlemek amacıyla farklı tavlama sıcaklıklarında (500, 600 ve 700 °C) ve farklı tavlama sürelerinde (1h ve 1,5h) tavlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Kaplama işlemi sonrasında kaplama karakteristiğini belirlemek amacıyla FEI QUANTA FEG 250 tip SEM cihazı ile BRUKER D8 ADVANCE TWIN-TWIN tip XRD cihazı kullanılmıştır. XRD analizlerinde diğer çalışmalardan farklı olarak daha geniş (20°-90°) çalışma aralığı tercih edilmiştir. Çalışma için hazırlanan kaplamaların faz ve kristal yapısını belirlemek amacıyla

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik üzerine farklı tavlama sıcaklığı ve süresi uygulanarak TiO<sub>2</sub> ince film kaplanmış ve yapılan kaplamaların yapısal özellikleri incelenmiştir. Böylelikle diğer çalışmalardan farklı olarak tavlama sıcaklığı ve süresinin kaplama karakteristiğine etkisi belirlenmiştir.

## 2 Materyal Metot

Bu çalışmada alt malzeme olarak 10x10x2 mm boyutlarında AISI 304 paslanmaz çelik seçilmiştir. Seçilen malzemelerin kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Kaplama öncesi alt malzeme yüzey hazırlığı yapılarak kaplamanın yüzeye tutunmasının artırılması amaçlanmıştır. Alt malzeme hazırlığı için öncelikle numunelerin yapışma kabiliyetini artırmak amacıyla 30:70 oranında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:HNO<sub>3</sub> hazırlanmış çözeltiye 30 saniye daldırılır. Daha sonra yüzeyler 15 dakika boyunca aseton ile ultrasonik olarak temizlenir. Böylelikle yüzey kir, toz, yağ vb yabancı maddelerden arındırılmış olur. Son olarak alt malzemeler deiyonize suda 15 dakika tutulur ve kurutularak kaplamaya hazır hale getirilir.

Çalışmada kaplama malzemesi olarak çözelti hazırlanmıştır. Çözelti hazırlığında titanyum kaynağı olarak Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiş Tetra-n-butyl orthotitanate (TBT), etanol ve asetik asit malzemeleri kullanılmıştır. Çalışma için hacimce 20:1(etanol:TBT) çözeltisi hazırlanmıştır. Çözelti hazırlığına 15mL etanol behere alınır ve üzerine 0,5 mL asetik asit damlatılır ve manyetik karıştırıcıda 10 dakika boyunca karıştırılır. Daha sonra behere 35 mL etanol ilave edilerek karıştırılmaya devam edilir. Karıştırılan bu çözelti içerisine 2,5 mL TBT yavaş yavaş ilave edilerek oda sıcaklığında 1 h boyunca karıştırılmaya devam edilir [22]. Hazırlanan bu çözeltiye pH ayarını sağlamak amacıyla 1:0,2 oranında TBT: HNO<sub>3</sub> eklenerek 1 h daha karıştırılmıştır. Karıştırılan çözeltinin yaşlanabilmesi için 1 gün bekletilir ve kaplama işlemine hazır hale getirilir.

XRD incelemeleri ile kristal boyutu belirlenmiştir. Kristal boyutu belirlemek için Eşitlik 1'de verilen Debye-Scherrer eşitliği kullanılmıştır [23].

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de  $\theta$  Bragg açısını,  $\beta$  ilgili kristal yönü için radyan biriminden yarı pik genişliğini (FWHM) ve  $\lambda$  ise kullanılan ışının dalga boyunu ( $\lambda K\alpha$  (Cu) = 1,5406Å) ifade etmektedir. Kristal yapıyı oluşturan en küçük yapı taşı birim hücredir. Kusurlar birim hücrenin bir düzen boyunca dizilmesini engellemektedir. Bir kristalde bulunan dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanabilen bir büyüklüktür [24].

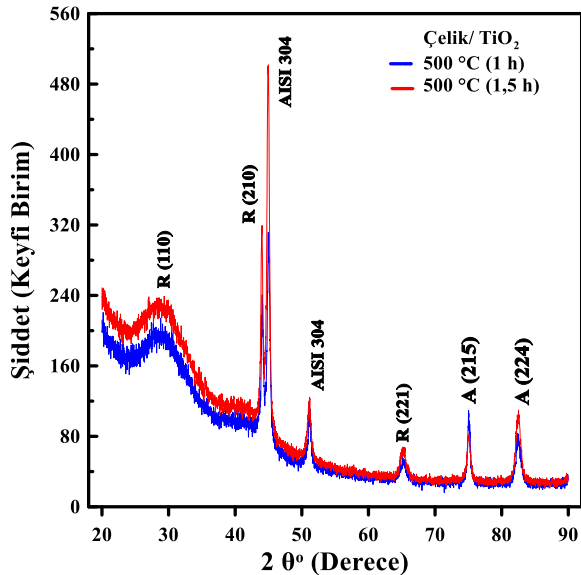
$$\delta = 1/D^2 \quad (2)$$

Buradaki D; kristal boyutudur. Dislokasyon yoğunluğu malzemenin kristalleşmesini ifade etmektedir. Kusur yoğunluğu azaldıkça iyi kristal yapı malzemeler oluşur. Ayrıca çalışmada dislokasyonların meydana getirdiği gerilmeler de hesaplanmıştır. Gerilmeler aynı zamanda kaplama sırasında meydana gelen termal daralmalar ve faz oluşumunun neden olduğu plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır [25]. Gerilme ( $\epsilon$ ) hesabı için Eşitlik 3 kullanılmıştır [23].

$$\epsilon = \beta / 4 \tan \theta \quad (3)$$

### 3 Sonuçlar

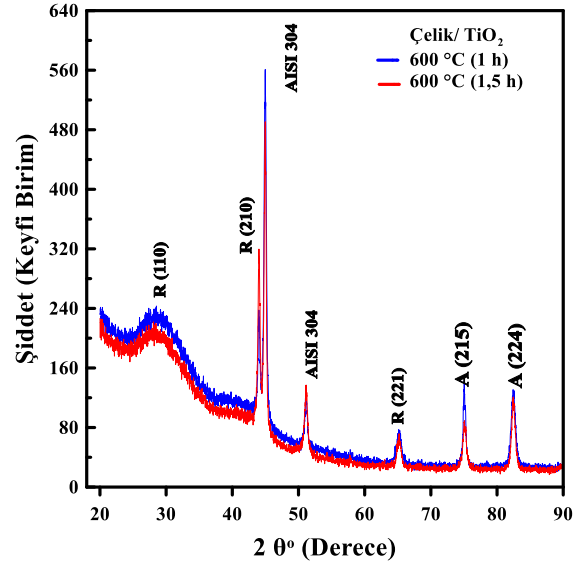
TiO<sub>2</sub> ince filmleri 304 paslanmaz çelik üzerine spin kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Tavlama sıcaklığı olarak 500, 600 ve 700 °C ve tavlama işlem süresi olarak ise 1 ve 1,5 h seçilmiştir. Her bir tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi uygulanarak kaplanmış numunelerin faz ve kristal yapısını belirlemek amacıyla XRD incelemeleri yapılmıştır. 500 °C sıcaklığında 1 ve 1,5 h tavlama yapılan TiO<sub>2</sub> kaplanmış paslanmaz çeliğe ait XRD analizleri Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde TiO<sub>2</sub> filmlerinin Rutile ve Anataz yapıda piklerinin olduğu ancak Rutile pikinin daha baskın olduğu gözlenmiştir. Numuneden elde edilen Rutile fazı International Centre for Diffraction Data'ya ait JCPDS card no. 21-1276 ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bundan dolayı büyütülmüş TiO<sub>2</sub> ince filmi, tercihli yönelimi olarak Rutile (210) sahip kristal davranışı sergiler. Kumar ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada Si üzerine TiO<sub>2</sub> ince filmlerini darbeli katman biriktirme tekniği (pulsed layer) ile kaplamışlar. XRD grafiklerinde 27,01° ve 44,65° açı (2 $\theta$ ) değerlerinde 2 pik görülmüş ve baskın piki Rutile (210) olarak bulmuşlardır [11].



Şekil 1. 500 °C'de 1 h ve 1,5 h tavlanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği.

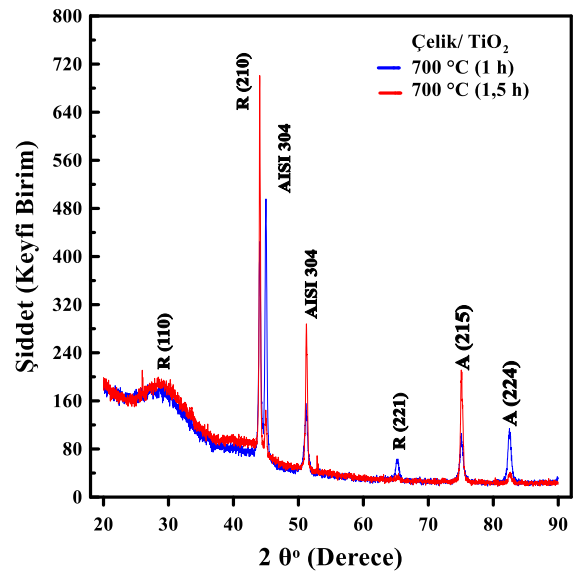
Tavlama sıcaklığının sabit tutularak tavlama süresinin artırıldığı numunelerin XRD analizlerinde tavlama süresinin artmasıyla birlikte baskın olan Rutile (210) pikinin ve diğer piklerin arttığı buna karşın Anataz (215) pikinin azaldığı belirlenmiştir

600 °C sıcaklığında 1 ve 1,5 h tavlama yapılan TiO<sub>2</sub> kaplanmış filmin XRD grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Bu numunelerde süreye bağlı olarak pik şiddetleri değişmiştir. Tavlama süresinin artmasıyla birlikte A (215) pikinde azalma meydana gelirken; diğer piklerde artış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. 600 °C'de 1 h ve 1,5 h tavlanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği.

Şekil 3'te 700 °C'de tavlama işlemi uygulanmış numunelere ait XRD analizlerine ait grafik verilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde baskın piklerin R (210) ve A (215) pikleri olduğu açıkça görülmektedir. Tavlama işlem süresinin artırılması ile birlikte baskın olan bu pikler artarken, R(221) ve A(224) piklerinin kaybolduğu belirlenmiştir. Baskın olan R (210) pikinin şiddeti ve keskinliğinin artmış olması 700 °C sıcaklıkta ve 1,5 h'lik sürede kristalleşmenin iyi olduğunun bir göstergesidir [26].



Şekil 3. 700 °C'de 1 h ve 1,5 h tavlanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği.

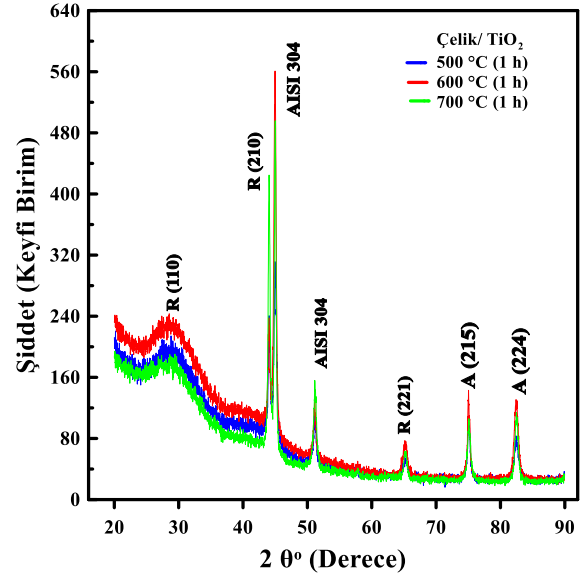
Şekil 4'te farklı sıcaklıklarda 1 h süreyle tavlama işlemi uygulanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği verilmektedir. Her bir işlem sıcaklığı için en baskın pikin R (210) yöneliminde olduğu açıkça görülmektedir. Bu

fazın ve yönelimin yanında R (221), A (215) ve A (224) fazları da gözlemlenmiştir. Bu fazların elde edilebilmesi ancak XRD analizlerinde açılı aralığının geniş seçilmesinde mümkün olmaktadır. Bu nedenle bu açıdan çalışma literatüre katkı sağlamaktadır. 1 h'lik tavlama süresinde en baskın pikin 700 °C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir. Bu durum tavlama sıcaklığının etkisini göstermekte olup; tavlama sıcaklığının artmasıyla kaplama filmlerinin kristalliklerinde artış olduğunu göstermektedir [27].

Sekhar ve ark. (2013) TiO<sub>2</sub> filmini kaplamak için magnetron sputtering yöntemini kullanmışlar ve 400- 700 °C aralığında tavlama işlemi uygulayarak tavlama sıcaklığının artması ile kristal boyutunun arttığını görmüşlerdir.

Çalışmada ayrıca yapılan kaplamaların kristal boyutu ve gerinme hesaplamaları yapılmıştır. Kaplanan TiO<sub>2</sub> filmlerin kristal boyutunu (D) belirlemek için Debye-Scherrer formülü (Eşitlik 1) kullanılmıştır. Bu eşitlik kullanılarak elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de verilen 2θ değeri XRD grafiğindeki açılı; d<sub>hkl</sub> değeri ise Rutile ve Anataz yönelimindeki düzlemler arası mesafeyi ve FWHM ifadesi ise kristal yönü için radyan biriminde yarı pik genişliği değeri olup tanecik boyutu hesaplamada kullanılmaktadır. Tablo 2 incelendiğinde tanecik boyutunun 500 °C tavlama sıcaklığında ve 1 h tavlama işlem süresinde 263,83 Å elde edilirken; tavlama süresi 1,5 h çıkarıldığında tane boyutu 232,28 Å'a düşmüştür. 600 °C'de tavlama süresine bağlı olarak aynı süre artışı uygulandığında

224,58 Å'dan 208,63Å'a düşmüştür. 700 °C'de bu durum tam ters şekilde meydana gelmiştir. Tavlama işlem süresinin artmasıyla tane boyutu 231,92 Å'dan 363,07 Å'a yükselmiştir. Tane boyutunun artmasıyla ve piklerin şiddeti yükselmesiyle kristalleşmede iyileşme meydana gelmektedir [26]. 700 °C'de pik şiddetleri diğerlerine göre daha yüksek elde edilmiş olup tane boyutunda da benzer durum gözlemlenmiştir.



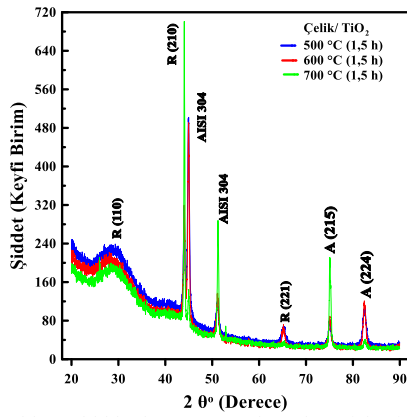
Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda 1 h süreyle tavlama işlemi uygulanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği.

Tablo 2. TiO<sub>2</sub> filmlerinin 2θ, d, I/I<sub>0</sub>, D değerleri.

	TiO <sub>2</sub>	2θ	d-(Å)	FWHM	D (Å)
500 °C	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,04</b>	<b>2,055</b>	<b>0,325</b>	<b>263,82</b>
	Rutile (221)	65,07	1,4326	1,17	84,48
	Anataz (215)	75,02	1,2653	0,53	189,01
	Anataz (224)	82,4	1,1697	0,926	114,13
	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,02</b>	<b>2,056</b>	<b>0,369</b>	<b>232,28</b>
	Rutile (221)	65,19	1,4302	1,07	88,17
600 °C	Anataz (215)	75,05	1,2649	0,647	154,88
	Anataz (224)	82,52	1,1682	0,91	116,25
	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,01</b>	<b>2,056</b>	<b>0,382</b>	<b>224,58</b>
	Rutile (221)	65,14	1,4313	0,931	101,33
	Anataz (215)	75,03	1,2651	0,507	197,78
	Anataz (224)	82,42	1,1695	0,815	129,64
700 °C	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,02</b>	<b>2,056</b>	<b>0,411</b>	<b>208,63</b>
	Rutile (221)	65,19	1,4302	0,715	132,01
	Anataz (215)	75,08	1,2645	0,686	146,12
	Anataz (224)	82,44	1,1691	0,692	152,75
	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,04</b>	<b>2,055</b>	<b>0,370</b>	<b>231,92</b>
	Rutile (221)	65,3	1,4281	0,646	146,14
700 °C	Anataz (215)	75,09	1,2643	0,651	153,97
	Anataz (224)	82,48	1,1688	0,648	163,20
	<b>Rutile (210)</b>	<b>44,04</b>	<b>2,055</b>	<b>0,236</b>	<b>363,07</b>
	Anataz (215)	75,07	1,2647	0,446	224,78
	Anataz (224)	82,52	1,1682	0,584	181,05

Tavlama sıcaklığının yanında tavlama işlem süresinin etkisini belirlemek amacıyla kaplanmış numunelere 1,5 h süre boyunca tavlama işlemi uygulanmıştır. Farklı sıcaklıklarda 1,5 h süreyle tavlama

işlemi uygulanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği ise Şekil 5'te verilmektedir. Tavlama işlem süresinin artmasıyla R(210) ve A(215) piklerinin 1 h tavlama işlem süresine göre daha baskın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda 1,5 h süreyle tavlama işlemi uygulanan TiO<sub>2</sub> filmlerin XRD grafiği.

Kristal yapıyı oluşturan birim hücrenin periyodikliği kusurlar ve kirlilikler nedeniyle bozulmaktadır. Dislokasyonlar, kristalin bir kısmındaki kafesin başka bir kısma göre yanlış eşleşmesi ile ilişkili kusurlardır. Dislokasyonun varlığı, malzemelerin birçok özelliğini güçlü bir şekilde etkiler. Dislokasyon oluşumu, homojen çekirdeklenme, tane sınırı başlangıcı, örgü ve yüzey arasındaki ara yüz, çökeltiler, dağılmış fazlar gibi mekanizmalar tarafından oluşturulur [25]. Dislokasyon yoğunluğu, kristalin birim hacmi başına dislokasyon çizgilerinin uzunluğudur. Kristalin sahip olduğu

dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi verir ve dislokasyon yoğunluğunun az olması kristal yapıdaki kusurların azaldığının ve malzemenin kristalleşmesinin iyi olduğunu göstermektedir [25]. Bu çalışma için dislokasyon yoğunluğu Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. XRD analizleri kullanılarak hesaplanan R (210) fazdaki TiO<sub>2</sub> filmlerin dislokasyon yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir. 500 ve 600 °C'de tavlanan filmlerin tavlama süresinin artması ile dislokasyon yoğunluğu artmıştır. 700 °C'de tavlanan filmlerin dislokasyon yoğunluğu artan süreye göre azalmıştır. Tavlama ile birlikte dislokasyon içeren toparlanmış taneler tamamen kaybolur ve yeni tanelerin çekirdeklenmesi başlar. Çekirdeklenme genelde tane sınırlarında ve hataların olduğu bölgelerde meydana gelir. Toparlanmış tane içindeki dislokasyonlar bu bölgelerde birikirler. Yeniden kristalleşen taneler tavlama sıcaklığı ile difüzyon imkanı bularak büyürler [28]. Tanelerde meydana gelen büyüme miktarı tavlama sıcaklığı ve süresi ile artmaktadır. Tavlama süresi arttıkça kristal yapıdaki dislokasyon yoğunluğu azalır. Dislokasyon yoğunluğundaki azalma, daha düzenli bir kristal yapı oluşumuna karşılık gelir [29]. Bundan dolayı 700 °C'de tavlama işlemi uygulanan numunelerde daha büyük tane boyutu elde edilmiştir.

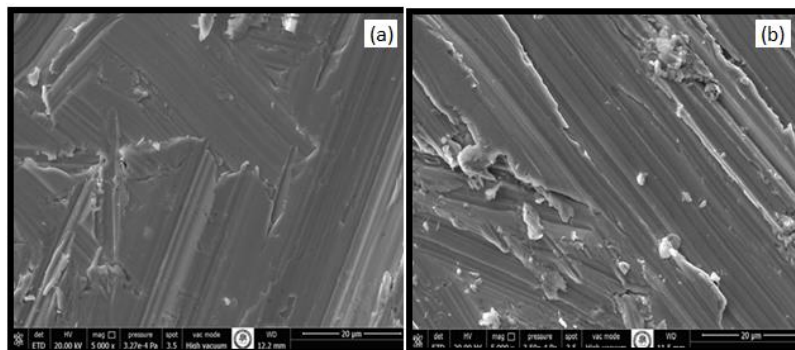
Tablo 3. Rutile fazındaki TiO<sub>2</sub> filmlerinin XRD grafiğinden hesaplanan parametreleri.

Numune	2θ (°)	FWHM	D (Å)	$\delta$ (nm <sup>2</sup> )	$\epsilon \times 10^{-3}$	d (Å <sup>0</sup> )	
500 °C	1 h	44,04	0,325	263,82	1,437 E-05	3,504	2,055
	1,5 h	44,02	0,369	232,28	1,853 E-05	3,982	2,056
600 °C	1 h	44,01	0,382	224,58	1,983 E-05	4,12	2,056
	1,5 h	44,02	0,411	208,63	2,298 E-05	4,434	2,056
700 °C	1 h	44,04	0,370	231,92	1,859 E-05	3,987	2,055
	1,5 h	44,04	0,236	363,07	7,586 E-06	2,546	2,055

Kafes strain (gerinme), kristal bozukluklardan kaynaklanan kafes sabitlerinin dağılımının bir ölçüsüdür. Kafes dislokasyonu, tane sınırı üçlü kavşağı, temas veya sinterleme gerilmeleri, tutarlılık gerilmeleri, istifleme hataları vb. gibi kristal kusurları gerinim artış kaynaklarıdır. Kristalde meydana gelen kusur, XRD piklerinin genişlemesine neden olmaktadır. Bu durum, kristalit boyutu ve kafes geriliminin tahmin edilmesini sağlar. Tablo 3'te ayrıca  $\epsilon$  (gerinme) değerleri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile birlikte yeniden kristalleşmenin bir sonucu olarak gerinme değerinde düşüş meydana gelmiştir.

Dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) ve gerinme ( $\epsilon$ ) gibi diğer yapısal parametreler, tavlama sıcaklığı ile azalan bir eğilim sergiler, bu da kafes kusurlarının konsantrasyonunda azalmaya yol açar [30].

Çalışmada yüzey özellikleri incelenen filmlerin SEM incelemeleri yapılmış olup Şekil 6'da verilmektedir. SEM incelemeleri için en yüksek piklerin elde edildiği 600 °C işlem sıcaklığı 1 h (Şekil 6a) ve 700 °C işlem sıcaklığı 1,5 h işlem süresi (Şekil 6b) seçilen numuneler kullanılmıştır. Şekil 6a ve Şekil 6b incelendiğinde kaplamanın homojen olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. (a) 600 °C'de 1 h tavllanmış ve (b) 700 °C'de 1,5 h tavllanmış filmlerin SEM görüntüleri.

## Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] Hu, Q., Zhang, G., Qiu, Y., & Guo, X. (2011). The crevice corrosion behaviour of stainless steel in sodium chloride solution. *Corrosion Science*, 53, 4065-4072.
- [2] Wang, Z., Cong, Y., Zhang, T., Shao, Y., & Meng, G. (2011). Study on the crevice corrosion behavior of 316L stainless steel used on marine gas turbine inlet filters by stochastic methods. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 6, 5521-5538.
- [3] Zhang, C., Huang, B., Xu, J., Cao, W., Sun, G., Xiao, & J., Yin, S. (2020). Effect of Mo on tribological behaviors of atmospheric plasma sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 13%TiO<sub>2</sub>/Mo coatings under boundary lubrication condition. *Ceramics International*, 46, 15066-15075.
- [4] Arjmand, S., Khayati, G.R., & Akbari, G.H. (2019). Al/Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>-Al<sub>3</sub>Ti composite prepared via insitu surface coating of Ti using tungsten inert gas welding. *J. Alloys Compd.*, 808, 151739.
- [5] Zavareh, M. A., Sarhan, A. A. D. M., Abd Razak, B. B., & Basirun, W. J. (2014). Plasma thermal spray of ceramic oxide coating on carbon steel with enhanced wear and corrosion resistance for oil and gas applications. *Ceramics International*, 40(9), 14267-14277.
- [6] Saravanan, S., & Dubey, R. S. (2022). Optical and structural investigations of TiO<sub>2</sub> multilayers on glass prepared via sol-gel spin-coating technique. *Materials Today: Proceedings*, 49, 2872-2875.
- [7] Vega, F. L. A., Olaya, J. J., & Ruiz, J. B. (2018). Synthesis and corrosion resistance of SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings spin-coated on Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V alloy. *Ceramics International*, 44(2), 2123-2131.
- [8] Wang, D., & Bierwagen, G. P. (2009). Sol-gel coatings on metals for corrosion protection. *Progress in organic coatings*, 64(4), 327-338.
- [9] Guglielmi, M. (1997). Sol-gel coatings on metals. *Journal of sol-gel science and technology*, 8(1), 443-449.
- [10] Voevodin, N. N., Grebasch, N. T., Soto, W. S., Arnold, F. E., & Donley, M. S. (2001). Potentiodynamic evaluation of sol-gel coatings with inorganic inhibitors. *Surface and Coatings Technology*, 140(1), 24-28.
- [11] Kumar A., Sharma K.K., Chand S., & Kumar A. (2018). Investigation of barrier inhomogeneities in I-V and C-V characteristics of Ni/n-TiO<sub>2</sub>/p-Si/Al heterostructure in wide temperature range. *Superlattices and Microstructures*, 122, 304-315.
- [12] Grant, C. D., & Schwartzberg, A. M. (2002). Smestad. GP; Kowalik, J.; Tolbert, LM; Zhang, JZ Characterization of nanocrystalline and thin film TiO<sub>2</sub> solar cells with poly (3-undecyl-2, 2'-bithiophene) ans a sensitizer and hole conductor. *J. Electroanal. Chem*, 522, 40-48.
- [13] Peng, B., Jungmann, G., Jäger, C., Haarer, D., Schmidt, H. W., & Thelakkat, M. (2004). Systematic investigation of the role of compact TiO<sub>2</sub> layer in solid state dye-sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells. *Coordination Chemistry Reviews*, 248(13-14), 1479-1489.
- [14] Chen, Y., & Dionysiou, D. D. (2008). Sol-Gel Synthesis of Nanostructured TiO<sub>2</sub> Films for Water Purification. In *Sol-Gel Methods for Materials Processing* (pp. 67-75). Springer, Dordrecht.
- [15] Yamagishi, M., Kuriki, S., Song, P. K., & Shigesato, Y. (2003). Thin film TiO<sub>2</sub> photocatalyst deposited by reactive magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 442(1-2), 227-231.
- [16] Miyauchi, M., Kieda, N., Hishita, S., Mitsunashi, T., Nakajima, A., Watanabe, T., & Hashimoto, K. (2002). Reversible wettability control of TiO<sub>2</sub> surface by light irradiation. *Surface Science*, 511(1-3), 401-407.
- [17] Wu, K.R., Wang, J.J., Liu, W.C., Chen, Z.Sh., Wu, J.K. (2006). Vacant graphene Nanosheet-Supported platinum nanoparticles as catalysts for neutral glucose oxidation reaction. *Appl. Surf. Sci.*, 252, 582.
- [18] Padhy, N., Kamachi Mudali, U., Chawla, V., Chandra, R., & Raj, B. (2011). Corrosion behaviour of single (Ti) and duplex (Ti-TiO<sub>2</sub>) coating on 304L stainless steel in nitric acid medium. *Mater. Chem. Phys.* 130, 962-972.
- [19] Gallardo, J., Durán, A., & De Damborenea, J. J. (2004). Electrochemical and in vitro behaviour of sol-gel coated 316L stainless steel. *Corrosion Science*, 46(4), 795-806.
- [20] Saji, V. S., & Thomas, J. (2007). Nanomaterials for corrosion control. *Current science*, 51-55.
- [21] Hausbrand, R., Bolado-Escudero, B., Dhont, A., & Wielant, J. (2012). Corrosion of flame-assisted CVD silica-coated steel sheet. *Corrosion science*, 61, 28-34.
- [22] Sarıgül, H., Özçeşmeci, M., & Sorar, İ. (2021). Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Kobalt Ftalosiyanın Katkılı TiO<sub>2</sub> Filmlerin Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, (1), 299-308.
- [23] Timoumi, A., Albetran, H.M., & Alamri, H.R. (2020). Low I.M., Impact of annealing temperature on structural, morphological and optical properties of GO-TiO<sub>2</sub> thin films prepared by spin coating technique. *Superlattices and Microstructures*, 139, 106423.
- [24] Khan, M.I., Mehmood, B., Naeem, M.A., Younis, M., Mahmoud, K.H., El-Bahy, Z.M., Subhani, W.S., Hussain, S., Alwadai, N., Albalawi, H., & Iqbal, M., (2021). Investigations the structural, optical and photovoltaic properties of La doped TiO<sub>2</sub> photoanode based dye sensitized solar cells. *Optical Materials*, 122, 111610.
- [25] Malliga, P., Pandiarajan, J., Prithivikumaran, N., & Neyvasagam, K., (2014). Influence of Film Thickness on Structural and Optical Properties of Sol - Gel Spin Coated TiO<sub>2</sub> Thin Film. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* 6, (1-1), 22-28.
- [26] Temel, S., Nebi, M., & Peker D. (2017). Sol-Gel Döndürerek Kaplama Tekniği ile Saydam İletken ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji, GU J Sci, Part C*, 5(3), 51-59.
- [27] Sekhar, M. C., & Kondaiah P., Rao, G.M., Chandra, S.V.J., Uthanna, S., (2013). Post-deposition annealing influenced structural and electrical properties of Al/TiO<sub>2</sub>/Si gate capacitors. *Superlattices and Microstructures*, 62, 68-80.
- [28] Taşçı, M. K. (1987). Yapı Çeliğinde Deformasyon ve Tavlama Sıcaklığının Tane Yapısına Etkisi. (Master's dissertation, Anadolu University).
- [29] Singh, R., Yadav, L., & Shrey, Tripathi, S. (2019). Effect of annealing time on the structural and optical properties of n-CuO thin films deposited by sol-gel spin coating technique and its application in n-CuO/p-Si heterojunction diode. *Thin Solid Films* 685, 195-203.
- [30] Karunakaran, B., Kumar, R. R., Kumar, V. S., Mangalaraj, D., Narayandass, S. K., & Rao, G. M. (2003). Structural characterization of DC magnetron-sputtered TiO<sub>2</sub> thin films using XRD and Raman scattering studies. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 6(5-6), 547-550.



## PERFORMANCE EVALUATION OF MQL, hBN AND N<sub>2</sub> LUBRICATION/COOLING CONDITIONS WHEN TURNING OF AISI 904L SUPER DUPLEX STAINLESS STEEL

Şenol Şirin\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Düzce University, Gümüşova Vocational School, Department of Machine and Metal Technologies, Düzce, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

In the past two decades, the use of different cooling/lubrication conditions in sustainable manufacturing processes has begun to increase. Especially, efficient results were obtained in machining of materials with low machinability such as stainless steel, superalloy etc. Minimum quantity lubrication (MQL), cryogenic cooling (N<sub>2</sub>, LN<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, LCO<sub>2</sub>, etc.), and nanofluid (hBN, MoS<sub>2</sub>, graphite, MWCNT, graphene, etc.) cooling/lubrication conditions are commonly used in sustainable manufacturing processes. In this study, the performances of ecologically different cooling/lubrication conditions were evaluated. For this purpose, AISI 904L super duplex stainless steel was turned under dry, MQL, cryogenic cooling (N<sub>2</sub>), hexagonal boron nitride doped nanofluid (hBN), MQL/N<sub>2</sub> hybrid and hBN/N<sub>2</sub> hybrid conditions. In the turning experiments, two different cutting speeds (120 and 180 m/min), constant feed (0.15 mm/rev) and constant cutting depth (0.5 mm) were selected as cutting parameters. In the experimental study, surface roughness and topography, cutting temperature, vibration, tool wear are selected as a performance criteria using TiAlN PVD coated cemented carbide cutting tools. With the data obtained at the end of the experimental study, while the N<sub>2</sub> condition showed the best performance at the cutting temperature, the hBN/N<sub>2</sub> cooling/lubrication condition showed the best performance in all other results.

**Keywords:** hBN nanofluid, N<sub>2</sub> cooling, surface topography, turning of AISI 904L, vibration.

## AISI 904L SÜPER DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA MMY, hBN VE N<sub>2</sub> SOĞUTMA/YAĞLAMA KOŞULLARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Son yirmi yılda sürdürülebilir imalat proseslerine farklı soğutma/yağlama koşullarının kullanımı artış göstermeye başlanmıştır. Özellikle işlenebilirlik özelliği düşük paslanmaz çelik, süper alaşım vb. malzemelerde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sürdürülebilir imalatta yaygın olarak kullanılan soğutma/yağlama koşulları arasında minimum miktarda yağlama (MMY), kriyojenik soğutma (N<sub>2</sub>, LN<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, LCO<sub>2</sub> vb.) ve nanoakışkan (hBN, MoS<sub>2</sub>, grafit, MWCNT, grafen vb.) yer almaktadır. Bu çalışmada ekolojik farklı soğutma/yağlama koşullarının performansları değerlendirilmiştir. AISI 904L süper dubleks paslanmaz çeliği, kuru, MMY, kriyojenik soğutma (N<sub>2</sub>), hegzagonal bor nitrid katkılı nanoakışkan (hBN), MMY/N<sub>2</sub> hibrit ve hBN/N<sub>2</sub> hibrit koşulları altında tornalanmıştır. Tornalama deneylerinde parametre olarak iki farklı kesme hızı (120 ve 180 m/dak), sabit ilerleme (0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,5 mm) seçilmiştir. TiAlN PVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların kullanıldığı deneysel çalışmada performans kriteri olarak; yüzey pürüzlülüğü ve topografya, kesme sıcaklığı, titreşim, takım aşınması ve ömrü tercih edilmiştir. Deneysel çalışma sonunda elde edilen verilerle, kesme sıcaklığında en iyi performansı N<sub>2</sub> koşulu gösterirken, diğer tüm sonuçlarda en iyi performansı hBN/N<sub>2</sub> hibrit soğutma/yağlama koşulu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** hBN nanoakışkanı, N<sub>2</sub> soğutma, titreşim, yüzey topografyası.

### 1 Giriş

AISI 904L paslanmaz çeliği, süper östenitik grubunda yer alan, üstün korozyon direnci ve mekanik özellikleri sayesinde tercih edilen bir malzemedir. Bu malzeme, denizcilik, medikal, nükleer, petrokimya gibi kritik sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanımına rağmen talaş kaldırma esnasında göstermiş olduğu deformasyon sertleşmesi nedeniyle işlenebilirliği

zor malzemeler sınıfına girmektedir [1]. Ayrıca, talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek ısı kesici takımın hızlı deforme olmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle AISI 904L paslanmaz çeliğinin işlenmesi esnasında optimum işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Böylece, işleme verimliliği önemli ölçüde artırılırken üretim maliyeleri de aşağı çekilecektir. İşlenmesi zor malzemelerin talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmesi esnasında işleme verimliliğini artırmanın

\* Corresponding author.

E-mail address: senolsirin@düzce.edu.tr (Ş.Şirin)

Received 28 January 2022; Received in revised form 01 April 2022; Accepted 17 April 2022

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1064021>

en bilindik ve etkili yollarından biri de kesme sıvısı kullanımınıdır.

Kesme sıvıları, soğutma, yağlama ve talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma gibi kritik görevleri yerine getirmektedir. Bir başka deyişle, takım-iş parçası arasındaki sıcaklığın düşürülmesi, yüzey kalitesinin artırılması ve kesici takım ömrünün uzatılması gibi kritik noktalarda önemli iyileştirmeler sunmaktadır [2]. Buna karşın, özellikle mineral esaslı kesme sıvılarının, çevre, çalışan sağlığı ve üretim maliyetleri üzerindeki olumsuz etkileri artık bilinen bir durumdur [3]. Bu nedenle, üretim verimliliğini azaltmadan, kullanılan kesme sıvısı miktarının azaltılması son yıllarda araştırmacı ve üreticilerin zihnini sürekli meşgul etmektedir. Son yıllarda bu amaca yönelik birçok alternatif geliştirilmiş olsa da minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi öne çıkmıştır.

MMY sistemi, 10~150 mL/saat seviyesinde yağ kullanımı ile konvansiyonel soğutma/yağlama yöntemine nazaran 1/10000 oranında tasarruf sağlayan yeni nesil bir soğutma/yağlama yöntemidir [4]. MMY sisteminde aerosol haline getirilen kesme yağı basınçlı hava aracılığıyla kesme bölgesine püskürtülmektedir. Böylece, takım-talaş-iş parçası ara yüzeyine daha iyi nüfuz edebilmekte ve çok az kesme sıvısıyla benzer veya daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Sonuçlar birbirine yakın çıksa dahi kullanılan kesme sıvısı miktarı önemli ölçüde azaldığı için çevre ve çalışan sağlığı açısından daha tercih edilebilir hale gelmektedir. Literatürde yer alan ve MMY sistemi ile konvansiyonel soğutma sisteminin karşılaştırıldığı birçok çalışmada buna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin; Yıldırım ve diğ. Waspaloy süper alaşımını işlerken kuru, ıslak ve MMY sistemini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, ıslak ve MMY sisteminin birbirine yakın sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir [5]. Nouioua ve diğ. X210Cr12 çeliğini tornalarken kuru, ıslak ve MMY yöntemlerini karşılaştırmış ve MMY sisteminin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [6]. Bir başka çalışmada, Elbah ve diğ. AISI 4140 çeliğini sert tornalama işlemine tabi tutarken soğutma/yağlama yöntemi olarak kuru, ıslak ve MMY sistemini karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar, parametre opsiyonlarına bağlı olarak MMY sisteminin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [7]. Masoudi ve diğ. AISI 1045 çeliğini tornalarken kuru, ıslak ve MMY sistemlerini karşılaştırmışlar ve MMY sisteminin daha iyi sonuç verdiğini ifade etmişlerdir [8]. Bununla beraber, MMY sisteminin hafif ve orta işleme koşullarında daha iyi olduğu, ağır işleme koşullarında özellikle soğutma açısından yeterli verimi vermediği son dönemde tartışılan bir durumdur [9]. Bu nedenle, MMY sisteminin ağır işleme koşullarında etkinliğinin artırılması oldukça önemlidir. Bu noktada ön plana çıkan yöntemler ise nanoakışkanlar, kriyojenik soğutma ve bunların beraber kullanıldığı hibrit soğutma/yağlama yöntemleridir.

Nanoakışkanlar, nano boyutta (genelde <100 nm) katı partiküllerin kesme sıvısı içerisinde ağırlıkça veya hacimce farklı oranlarda eklenmesiyle hazırlanmaktadır. Nanopartiküller, ekolojik ve çevreci olmaları nedeniyle tercih edilirken termal iletim katsayılarının ve ısı taşıma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle içerisine katıldıkları kesme sıvısının özelliklerini geliştirmektedirler [10]. Tougoui ve diğ. MoS<sub>2</sub>, MWCNT, grafen, MWCNT/MoS<sub>2</sub> ve grafen/MoS<sub>2</sub> katkı maddelerini

ekledikleri nanoakışkanları saf MMY ve kuru işlemeyle kıyaslamışlardır [11]. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar nanoakışkanların bariz bir şekilde iyileştirme sunduğunu rapor etmişlerdir. Babu ve diğ. H13 çeliğini tornalarken klasik kesme sıvısı ve saf MMY sistemini nano-bakır katkılı nanoakışkan ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre araştırmacılar, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve takım aşınması konusunda nanoakışkanın önemli iyileştirmeler sunduğunu rapor etmişlerdir [12]. Yıldırım ve diğ. Waspaloy süperalaşımının işlenmesi esnasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı nanoakışkanı kuru ve saf MMY sistemi ile karşılaştırmışlardır. Çıktı parametresi olarak takım aşınmasını dikkate alan araştırmacılar nanoakışkan kullanılan deneylerde önemli iyileştirmeler olduğunu gözlemlemişlerdir [13]. Diğer bir alternatif yöntem ise kriyojenik soğutma yöntemidir.

Kriyojenik soğutma yöntemi, işleme esnasında yüksek sıcaklıkların oluştuğu, özellikle nikel, titanyum ve paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında kullanılmaktadır [14,15]. Bu yöntemde helyum, hidrojen, neon, nitrojen, oksijen, karbondioksit vb. gazlar kesme bölgesine basınçlı bir şekilde gönderilmektedir. Bu gazlar içerisinde en fazla tercih edileni ise gaz formda (N<sub>2</sub>) veya sıvı formda (LN<sub>2</sub>) nitrojendir. Ancak, sıvı nitrojen soğutma ile gerçekleştirilen talaş kaldırma proseslerinde (tornalama frezeleme, delme, taşlama vb.) kesme bölgesindeki sıcaklığı çok düşürdüğü için kesme mekaniği bakımından dezavantaj oluşturduğu bilinmektedir [16]. MMY yönteminin yağlama ve kriyojenik yöntemin soğutma performanslarını kombine eden hibrit soğutma/yağlama yöntemleri, konvansiyonel yağlamaya güçlü bir alternatif olan başka bir yöntemdir. Yıldırım, Inconel 625 süper alaşımını tornalarken kuru, saf MMY, LN<sub>2</sub>, nanoMMY (hBN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve hBN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), LN<sub>2</sub> + MMY ve LN<sub>2</sub> + nanoMMY sistemlerinin çeşitli kombinasyonlarından oluşan geniş bir soğutma/yağlama yöntemi çeşidini karşılaştırmıştır. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacı en iyi sonucu kriyojenik ve nanoakışkanın beraber kullanıldığı hibrit soğutmanın verdiğini belirtmişlerdir [17]. Gupta ve diğ. Ti6Al4V alaşımının işlenmesi esnasında kuru, LN<sub>2</sub> ve LN<sub>2</sub> + MMY sistemlerini karşılaştırarak kriyojenik ve hibrit soğutmanın etkisini görmek istemişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonunda hibrit soğutmanın daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir [18]. Bir başka çalışmada, Shokrani ve diğ. Ti6Al4V alaşımını işlerken ıslak, MMY, kriyojenik ve hibrit soğutmayı karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar, birçok kesme parametresinde en iyi sonucu hibrit soğutmanın verdiğini ifade etmişlerdir [19].

Literatür araştırmasında da görüldüğü üzere klasik kesme sıvısının azaltılması için birçok alternatif yöntem üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ancak, burada en önemli kriter verimliliği düşürülmeden, mümkünse artırılarak, kesme sıvısının azaltılmasıdır. Bunun için çok geniş bir malzeme, işleme yöntemi, katkı maddesi, karıştırma oranı vb. gibi temel parametrelere yönelik araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada da bu amaca yönelik olarak kuru, MMY, N<sub>2</sub>, MMY/N<sub>2</sub>, nano MMY (hBN) ve hBN/N<sub>2</sub> gibi geniş bir soğutma/yağlama koşulu denenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde iş parçası malzemesi olarak AISI 904L tercih edilmiştir. Ayrıca

soğutma/yağlama yönteminin farklı kesme parametreleri altındaki durumunu görerek daha kapsamlı bir araştırma yapabilmek için iki farklı kesme hızı deney tasarımına dahil edilmiştir. Çalışmaya ait deneysel prosedür, bulgular ve sonuçlar aşağıda bölümler halinde detaylı olarak sunulmuştur.

## 2 Malzeme ve Yöntem

### 2.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme, Kesici Takım ve Takım Tezgahı

Tornalama deneyleri için süper östenitik AISI 904L dubleks malzemesi ticari halde temin edilmiş olup, malzemeye herhangi bir ilave proses (ısıtım işlem vb.) uygulanmamıştır. AISI 904L malzeme 60 mm çapında ve 280 mm uzunlukta, CNC torna merkezine (ayna-punta arasına) rijit bir şekilde bağlanmıştır. Malzemeye ait kimyasal bileşim ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** AISI 904L malzeme kimyasal bileşimi (%).

Cr	Ni	Mo	Cu	C	S	Si	P	Mn
				maks.	min.	maks.	maks.	maks.
20	25	4,5	1,6	0,12	0,001	0,70	0,045	1,25

**Tablo 2.** AISI 904L malzeme mekanik özellikleri.

Özgül Ağırlık (kg/mm <sup>3</sup> )	Kopma (MPa)	Akma (MPa)	Uzama (A5 %)	Sertlik (HB)
8000	490~520	230	35	<330

Tornalama deneylerinde Sumitomo marka ISO CNMG 120404 kodlu, 431 EUP kalite TiAlN PVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımların rijit bir şekilde bağlanmasında TBurst PCLNR2020M12-TB takım kateri kullanılmıştır.

Deneylerde azami devri 4500 dev/dak, 7,5 kW motor gücüne sahip Accuway JT150 CNC torna merkezi kullanılmıştır. Tornalama deneyleri iki farklı kesme hızı (120 ve 180 m/dak), sabit ilerleme (0,15 mm/dev) ve kesme derinliğinde (0,5 mm) gerçekleştirilmiştir.

### 2.2 Soğutma/Yağlama Koşulları

Sürdürülebilir imalat proseslerinde ekolojik kaygılar göz önüne alındığında, soğutma/yağlama koşulları son derece önem arz etmektedir. Bu bağlamda araştırmacılar ve makine endüstrisindeki işletmeler, soğutma/yağlama üzerine çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu çalışmada doğayla dost, ekolojik soğutma/yağlama koşullarının performansının incelenmesi üzerine bir dizi deney yapılmıştır. Soğutma koşulu olarak; kuru<sup>1</sup>, MMY<sup>2</sup>, N<sub>2</sub><sup>3</sup>, MMY/N<sub>2</sub><sup>4</sup>, hBN<sup>5</sup> ve hBN/N<sub>2</sub><sup>6</sup> olmak üzere 6 farklı koşul tercih edilmiştir. MMY soğutma/yağlama koşulunda, SKF LubriLean Vario model bir cihaz kullanılmıştır. MMY cihazı içerisinde, ağır metal ve klor içermeyen, biyolojik olarak parçalanabilen Opet Fuchs PlantoCut 10 SR bitkisel esaslı yağ kullanılmıştır. Bitkisel esaslı yağ sistem içerisinde pülverize hale getirilerek, kesme bölgesine 2 mm çapında bir nozul ile basınçlı bir şekilde gönderilmiştir. Kriyojenik soğutma için 165 L kapasiteye sahip Taylor Wharton XL 45 HP saklama silindiri kullanılmıştır. Silindir içerisindeki gaz fazındaki N<sub>2</sub>, vakum ceketli

hortum vasıtasıyla 3 mm çapındaki bir nozul ile basınçlı bir şekilde kesme bölgesine tatbik edilmiştir. Hem MMY hem de kriyojenik nozul, kesici takımın üst bölgesine ve kesme bölgesine 25 mm mesafede konumlandırılmıştır.

Bitkisel esaslı yağın içerisine hacimce %0,6 oranında hBN nanopartikülleri eklenerek nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda nanoakışkan karışımlar için hacimce %0,5~0,75 oran aralığının optimum olduğu ifade edilmiştir [2]. Bu çalışmada iki oranın ara değeri alınarak karışım oranı hacimce %0,6 olarak belirlenmiştir. hBN nanopartikül özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3.** hBN nanopartikül özellikleri.

Boyut (nm)	Safılık (%)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Şekil	Renk
80	99,9	2,3	küresel	beyaz

Nanoakışkan hazırlamada iki adım yöntemi uygulanmış ve karıştırma prosesi üç farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, dijital mekanik karıştırıcı kullanılarak (Daihan HS100D) bitkisel esaslı yağa eklenen hBN nanopartikülleri 750 dev/dak hızda ve 60 dakika süreyle karıştırılmıştır. Ardından bitkisel esaslı yağa dağılmaya başlayan hBN nanopartiküllerini, bir ultrasonik homojenizatör (Bandelin Sonopuls HD3200) yardımıyla 200 W, 20 kHz frekansta 30 dakika süreyle karışıma devam edilmiştir. Son aşamada manyetik karıştırıcı (Termal N11151M) kullanılarak 1500 dev/dak hızda 120 dakika süre sonunda karıştırma prosesi sona erdirilmiştir. Elde edilen hBN nanoakışkanı taze bir şekilde MMY cihazına eklenerek bekletilmeden deneyler gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda nanoakışkanlara eklenen katkı maddelerinin yağlayıcılık performansını azaltması, köpük oluşturması ve viskoziteyi artırması gibi dezavantajlarının bulunduğu ifade edilmektedir [2,9,16]. Bu yüzden hazırlanan nanoakışkan karışıma yüzey aktif maddesi gibi başka ilave bir katkı eklenmemiştir.

Tüm deneylere ait kullanılan parametreler Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Deney parametreleri.

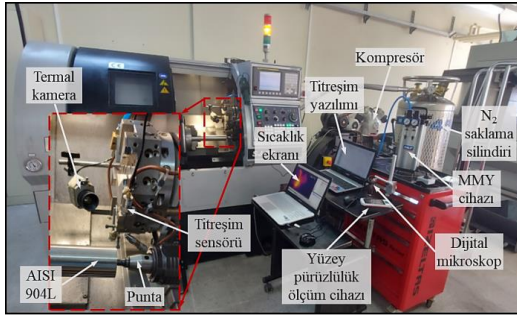
<b>Tezgah</b>	Accuway JT150
<b>İş Parçası</b>	AISI 904L (Ø60 × 280 mm)
<b>Kesici Takım</b>	PVD CNMG 120404 sementit karbür
<b>Kesme Parametreleri</b>	Kesme hızı 120 ve 180 m/dak, İlerleme 0,15 mm/dev, Kesme derinliği 0,5 mm
<b>Kesme Koşulları</b>	kuru <sup>1</sup> , MMY <sup>2</sup> , N <sub>2</sub> <sup>3</sup> , MMY/N <sub>2</sub> <sup>4</sup> , hBN <sup>5</sup> ve hBN/N <sub>2</sub> <sup>6</sup>
<b>Kesme Yağı</b>	Opet Fuchs PlantoCut 10 SR (Kinematik viskozite 10 mm <sup>2</sup> /sn, Yoğunluk 0,86 gr/mL, Parlama noktası 206 °C)
<b>MMY</b>	SKF LubriLean Vario, Basınç 8 bar, Debi 80 mL/saat, Nozul çapı 2 mm
<b>Kriyojenik</b>	N <sub>2</sub> , Taylor Wharton XL 45 HP, Basınç 15 bar, Kapasite 165 L, Nozul çapı 3 mm

### 2.3 Deneysel Ölçümler

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde Mahr Marsurf PS10 taşınabilir cihaz kullanılmıştır. Her ölçüm öncesinde cihaz doğrulama bloğuyla kalibre edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri ISO 4287 standardına göre, 4 mm değerlendirme mesafesinde ve 0,8 mm örneklem uzunluğunda



gerçekleştirilmiştir. Tornalanan her bir yüzey olası oksitlemenin önüne geçme adına bekletilmeden ve işlenen yüzeyin üç farklı bölgesinden yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. İşlenen yüzeylerin 3B topografyaları Phase View marka cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Tornalama işlemi esnasında, kesme bölgesinde oluşan maksimum sıcaklık değerinin ölçülmesinde gerçek görüntüleme yapan Optris marka PI450 kızılötesi termal kamera kullanılmıştır. Cihaz üretici tavsiyesi ve katalog değerleri esas alınarak AISI 904L için emisivite değeri 0,6 sabit alınmıştır. Kesme işlemi esnasında titreşim tepe değerleri, manyetik sensörlü, 10 Hz ~1 kHz frekans aralığına, RMS veya titreşim tepe değer fonksiyonlarına sahip, Extech marka 461880 titreşim takometresi kullanılarak tespit edilmiştir. Cihaz manyetik sensörü katerin arkasına sabitlenerek tüm tornalama işlemi esnasında titreşim verileri yazılım sayesinde kayıt altına alınmıştır. Kesici takım yanak aşınmalarının tespit edilmesinde DinoLite marka AM791MZT dijital mikroskop kullanılmıştır. Deney seti Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney seti.

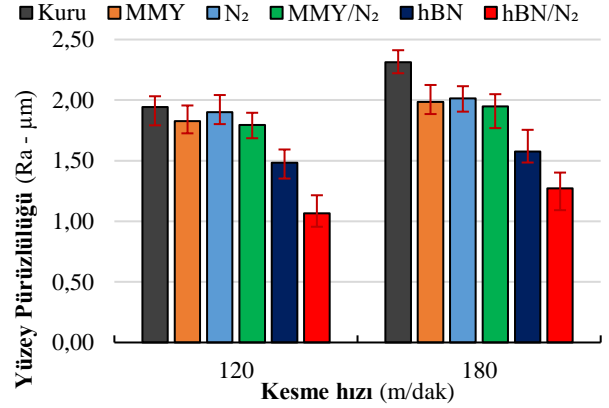
### 3 Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1 Yüzey Pürüzlülüğü ve Topografyası

Yüzey pürüzlülüğü, bir iş parçasının yüzeyinde imalat yönteminden kaynaklanan takım izleri, sapmalar ve dalgalanmalar gibi hataların toplamına verilen isimdir. Bu hatalar, makine elemanları arasındaki gerçek temas yüzeylerinin azalmasına, sürtünmenin artmasına, aşınmanın hızlanmasına, iş parçası yorulma ve çentik darbe dayanımının azalmasına sebep olabilmektedir. ISO 4287:1997 standardında [20] farklı pürüzlülük parametreleri (Ra-pürüzlülük ortalaması, Rt-toplam profil yüksekliği, Rz-profilin maksimum yüksekliği, Rp-maksimum tepe yüksekliği vb.) tanımlanmış olup, bu çalışmada metal işleme endüstrisinde de çok fazla kullanılan Ra tercih edilmiştir. Tornalama işlemi sonrasında olası bir oksitlenmeden kaçınmak adına işlenen yüzeyler temizlenerek bekletilmeden ölçülmüştür. İki farklı kesme hızında (120 ve 180 m/dak), sabit ilerleme (0,15 mm/dev) ve kesme derinliğinde (0,5 mm) gerçekleştirilen tornalama işlemi sonrası, ölçülen Ra değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2 incelendiğinde, en düşük Ra değerinin (1,065  $\mu\text{m}$ ) hBN/N<sub>2</sub> koşulunda ve 120 m/dak kesme hızında olduğu anlaşılmaktadır. Bunu 120 ve 180 m/dak kesme hızlarında da sırasıyla; hBN, MMY/N<sub>2</sub>, MMY, N<sub>2</sub> ve kuru koşulları takip etmiştir. Ra değerleri, 120 m/dak kesme

hızında, hBN/N<sub>2</sub>, hBN, MMY/N<sub>2</sub>, MMY ve N<sub>2</sub> koşulları, kuru koşulu göre sırasıyla; %45,19, %23,64, %7,52, %5,97 ve %2,06 oranında azalmıştır. Benzer trend 180 m/dak kesme hızında görülmektedir. En düşük Ra değerinin hBN/N<sub>2</sub> ortamında elde edilmiş olması, hBN nanoakışkanın yağlama ve N<sub>2</sub>’nin soğutma performansı ile açıklanabilir.

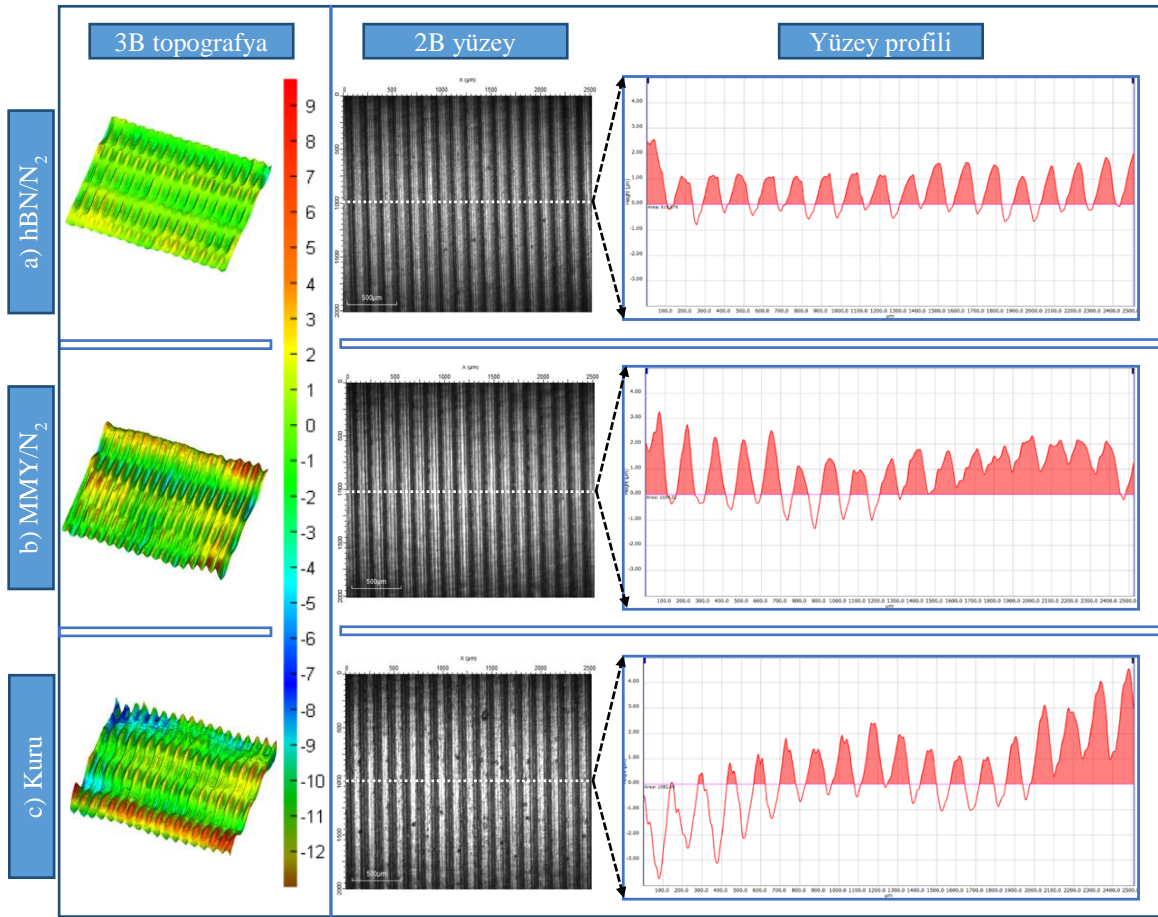


Şekil 2. Farklı soğutma/yağlama koşulları altında elde edilen yüzey pürüzlülük Ra sonuçları.

hBN nanoakışkan içerisinde küresel nano ölçekli partiküller işlenen yüzeylerdeki mikron mertebesinde çatlaklara girerek tamir etkisi oluşturmaktadır. Ayrıca hBN partikülleri iş parçasında yer alan küçük çapık kalıntıları temizleyerek parlatma etkisi de oluşturmaktadır [16]. Benzer durum literatürde yer alan çalışmalarda da ele alınmış olup hem tamir hem de parlatma etkisinin iş parçası yüzey pürüzlülüğünü azalttığı ifade edilmiştir [2,21,22]. Benzer durumun bu çalışmada da olduğundan bahsedilebilir. N<sub>2</sub>’nin kesme bölgesinde yer alan aşırı sıcaklığı azalttığı (Şekil 4) ve hBN ile kombine edilmesiyle, hibrit soğutma/yağlamanın daha etkili olduğu düşünülmektedir. 120 ve 180 m/dak kesme hızında en düşük Ra değerlerine hBN/N<sub>2</sub> koşulunun sahip olması (Şekil 2) da bu durumu doğrular niteliktedir.

En yüksek Ra değeri (2,312  $\mu\text{m}$ ) beklendiği üzere herhangi bir soğutma/yağlamanın kullanılmadığı kuru ortamda elde edilmiştir. Bunu ise N<sub>2</sub> soğutma koşulu takip etmiştir (2,012  $\mu\text{m}$ ). N<sub>2</sub> koşulunda ise soğutma olmasına rağmen yağlayıcı bir ajanın bulunmaması kuru koşuldaki en yüksek Ra değerine sahip olmasına neden olmuştur. Ra pürüzlülük ölçüm sonuçlarıyla (Şekil 2) işlenen yüzeylere ait üç boyutlu (3B) topografya ölçüm sonuçları benzerlik göstermektedir.

Şekil 3’te en iyi, ortalama ve en kötü Ra sonuçlarına sahip olan hBN/N<sub>2</sub>, MMY/N<sub>2</sub> ve kuru koşulların 3B topografya, 2B yüzey ve yüzey profilleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde hBN/N<sub>2</sub> ortamında tepe ve çukurların daha yüzeysel olduğu, yüzey profillerinin daha düzgün trende sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bunun asıl sebebi, hBN nanoakışkanının kesme bölgesinde etkin yağlayıcı tribo film tabakası oluşturması ve N<sub>2</sub> kriyojenik soğutmanın kesme sıcaklığını optimal düzeylere çekmesi şeklinde ifade edilebilir. Benzer şekilde yapılan çalışmalarda nanoakışkanların kesme bölgesinde takım-talaş-ış parçası ara yüzeylerinde etkin bir koruyucu yağ bariyeri sağlayarak sürtünmeyi minimize ettiği ifade edilmektedir [23].



Şekil 3. Farklı soğutma/yağlama koşulları altında elde edilen yüzey topografya sonuçları; a) hBN/N<sub>2</sub>, b) MMY/N<sub>2</sub> ve c) Kuru (180 m/dak kesme hızında).

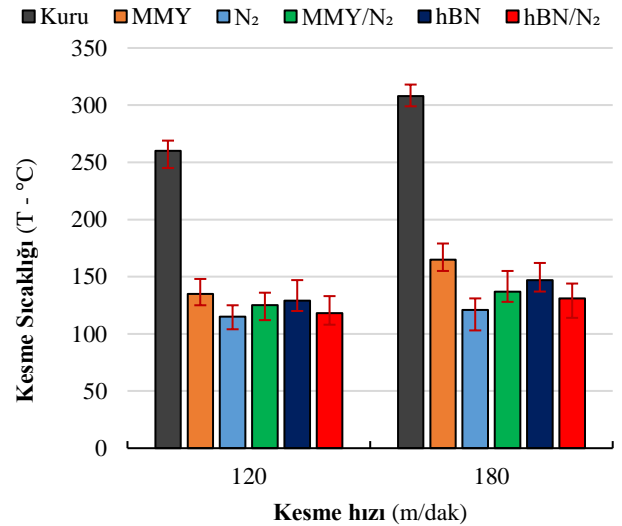
Şekil 3-b MMY/N<sub>2</sub> yüzey topografya sonuçları bu durumu doğrular niteliktedir. Kuru koşula göre nispeten daha iyi yüzey topografyaya sahip olmasına rağmen hBN/N<sub>2</sub> koşulunun gerisinde kalmıştır. Burada, zayıf Van der Waals kuvvetine sahip hBN nanopartiküllerinin bitkisel esaslı yağın içerisinde homojen dağılmasıyla kesme bölgesinde yastıklama etkisi ve yuvarlanma etkisi devreye girmektedir [16,24]. Bu sayede daha etkili bir soğutma/yağlama sağlanmış olduğu yorumu yapılabilir. Beklendiği üzere, en kötü topografya sonucu ise Ra grafiğinde (Şekil 2) olduğu gibi herhangi bir soğutma/yağlama koşulunun kullanılmadığı kuru koşul altında elde edilmiştir.

### 3.2 Kesme Sıcaklığı

Tornalama esnasında plastik deformasyon nedeniyle ısının çoğu birinci deformasyon bölgesinde meydana gelmektedir. Kesici takım ve iş parçasının sürekli teması sonucu ortaya çıkan sürtünme kaynaklı ısılardan kontrol altına alınması son derece önemlidir. Bu çalışmada farklı soğutma/yağlama koşulları altında gerçekleştirilen tornalama deneylerinde kesme sıcaklıkları bir kızılötesi kamerayla kayıt altına alınmıştır. Kesme bölgesinde 120 ve 180 m/dak kesme hızlarında maksimum kesme sıcaklık değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4 kesme sıcaklığı grafiği incelendiğinde en düşük kesme sıcaklığı değerinin 120 m/dak kesme hızında ve N<sub>2</sub> kriyojenik koşulunda elde edildiği (115 °C) anlaşılmaktadır. Bunu sırasıyla, hBN/N<sub>2</sub> (118 °C),

MMY/N<sub>2</sub> (125 °C), hBN (129 °C), MMY (135 °C) ve kuru (260 °C) koşulları takip etmiştir.



Şekil 4. Farklı soğutma/yağlama koşulları altında elde edilen kesme sıcaklığı sonuçları

Kesme hızının 120'den 180 m/dak'ya çıkması, kesme sıcaklığı değerlerini artırsa da tüm koşullarda trend benzer düzeyde seyretmiştir. En yüksek kesme sıcaklığı değeri (308 °C) 180 m/dak kesme hızında ve kuru koşulda kaydedilmiştir. Kuru koşula göre 180 m/dak kesme hızında kesme sıcaklığı değerleri N<sub>2</sub>, hBN/N<sub>2</sub>, MMY/N<sub>2</sub>, hBN ve MMY koşullarına göre sırasıyla, %60,71,

%57,47, %55,52, %52,27 ve %46,43 oranında azalma göstermiştir.  $N_2$  koşulunun ardından kesme sıcaklığında en fazla düşüşü hBN/ $N_2$  koşulu sağlamıştır. hBN nanopartikülleri yağlayıcılık özelliği yanında üstün termal iletim katsayısına sahiptirler [9]. Bu durum, hBN nanopartikülleri kesme bölgesindeki sıcaklığın tahliyesinde önemli bir görev üstlenmiştir şeklinde yorumlanabilir.

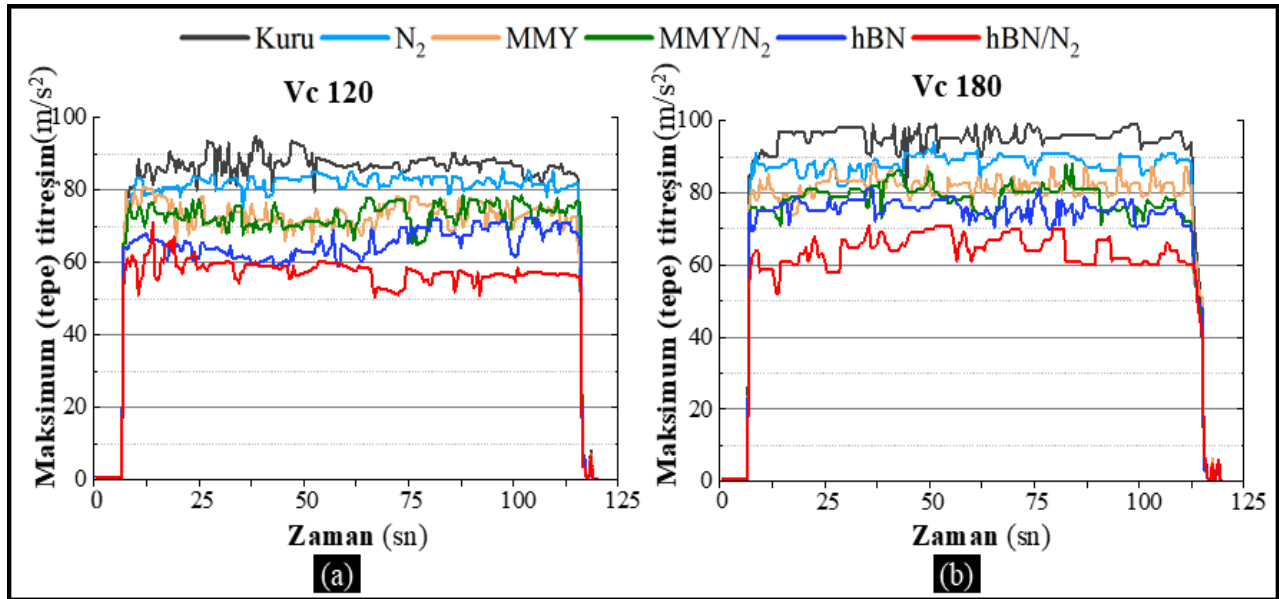
### 3.3 Titreşim

Bu bölümde, AISI 904L süper östenitik paslanmaz çeliğinin kuru,  $N_2$ , MMY, MMY/ $N_2$ , hBN ve hBN/ $N_2$  soğutma koşulları altında tornalanması esnasında elde edilen maksimum titreşim tepe değerleri ölçümleri değerlendirilmiştir. Farklı kesme hızında (120 ve 180 m/dak) ölçülen maksimum titreşim tepe değerleri Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5 titreşim grafiği incelendiğinde, hem 120 hem de 180 m/dak kesme hızlarında tornalama süresi boyunca en düşük titreşim değerinin hBN/ $N_2$  hibrit soğutma koşulunda elde edildiği anlaşılmaktadır. Tornalama süresi boyunca ölçülen titreşim tepe değerlerinin (120 m/dak kesme hızında) ortalamaları alındığında en düşük titreşim ortalama değeri (52,691  $m/s^2$ ) hBN/ $N_2$  koşulunda elde edilirken, en yüksek titreşim ortalama değeri (79,439  $m/s^2$ ) kuru koşulda elde edilmiştir. Yani, hBN/ $N_2$  koşulu kuru koşula göre titreşim ortalama değerinde %33,67

oranında azalmıştır. Elde edilen titreşim sonuçları yüzey pürüzlülük sonuçlarıyla (Şekil 2) örtüşmektedir. Titreşim değeri diğer koşullara göre nispeten kötü olan kuru koşulun Ra değeri diğer koşullara göre daha yüksek çıkmıştır. Kesici takım AISI 904L pürüzlü yüzeylerinden geçerken tezgah ve takıma etkiyen kuvveti artırmakta, bu da titreşim seviyesinin artmasına yol açmaktadır [25].

Nanoakışkan içeriğindeki katı partiküller iş parçası yüzeyinde mikron çatlaklara yerleşebilmektedir [24]. Tamir etkisi adı verilen bu mekanizma sayesinde çukurlardan geçerken kesici takım hasarı minimize edilerek titreşim seviyelerinin düşürülmesine katkı sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca yağlama ve soğutma koşullarının her ikisini de içerisinde barındıran hBN/ $N_2$  koşulu kesici takım-talaş-ış parçası ara yüzeylerinde etkin tribo film tabakası oluşturmaktadır. Bu durum tribo film tabaka bariyer görevi görerek titreşim seviyelerini düşürmüştür, ifadesi ile açıklanabilir. Titreşim ortalama değerleri büyükten küçüğe doğru koşullara göre sıralanacak olursa; kuru >  $N_2$  > MMY > MMY/ $N_2$  > hBN > hBN/ $N_2$  sonucu karşımıza çıkmaktadır. Bir başka ifadeyle 120 m/dak kesme hızında kuru koşula göre;  $N_2$ , MMY, MMY/ $N_2$ , hBN ve hBN/ $N_2$  koşulları sırasıyla, %5,96, %15,30, %24,22 ve %52,69 oranında titreşim ortalama değerleri azalmıştır. Kesme hızının artmasıyla titreşim değerleri bir miktar artış gösterse de soğutma/yağlama koşullarındaki trend benzer düzeyde seyretmiştir.



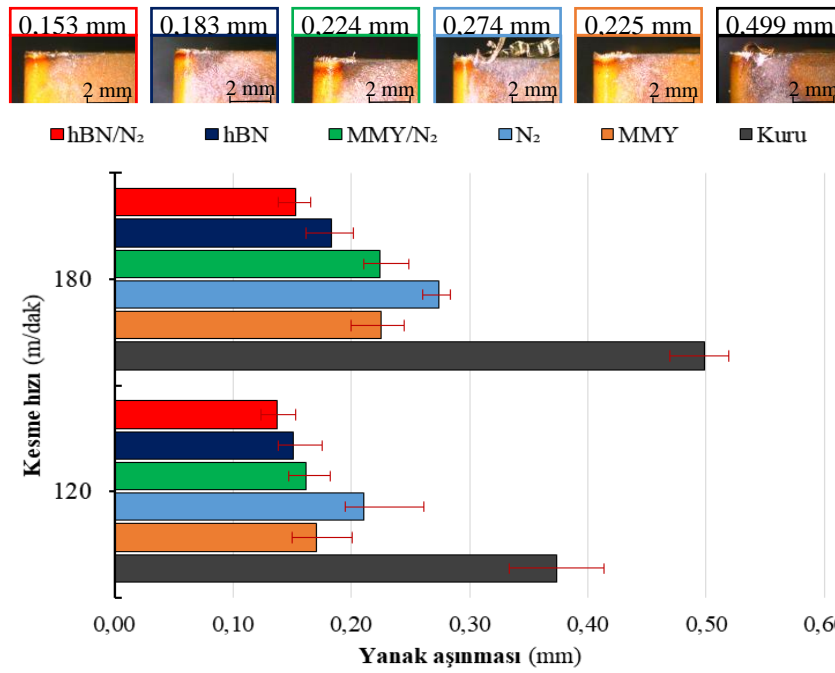
Şekil 5. Farklı soğutma/yağlama koşulları altında elde edilen titreşim tepe değerleri, a) 120 m/dak kesme hızında ve b) 180 m/dak kesme hızında

### 3.4 Takım Aşınması

Kesici takım, işleme esnasında çeşitli faktör veya faktörlerin bir araya gelmesiyle aşınmaya başlar ve servis ömrü dolana kadar işleme yapmaya devam eder. Aşınmaya neden olan bazı faktörleri sıcaklık, soğutma/yağlama koşulu, uygun olmayan kesme parametreleri, iş parçası malzemesi, uygun kesici takım seçilmeyişi, takım-ış parçası kimyasal eğilimi, titreşim ve kötü yüzey vb. olarak sıralanabilir. AISI 904L süper dubleks paslanmaz çeliğinin farklı koşullar altında ve farklı kesme hızlarında tornalanması sonucunda kesici

takımda meydana gelen yanak aşınma değerleri ve aşınma görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Yanak aşınma değerleri 120 ve 180 m/dak kesme hızında ve 60000  $mm^3$  talaş hacmi sonrasında ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Şekil 6 incelendiğinde en düşük yanak aşınmasının her iki kesme hızında da (120 ve 180 m/dak) hBN/ $N_2$  koşullarında elde edildiği anlaşılmaktadır. hBN nanoakışkan içerisinde yer alan yağlayıcı katı partiküllerin kesici takım-talaş-ış parçası ara yüzeylerinde yuvarlanma etkisi göstermesiyle sürtünmeyi azalttığı ve aşınma mekanizmalarını geciktirdiği şeklinde durum açıklanabilir.



Şekil 6. Farklı soğutma/yağlama koşulları altında elde edilen yanak aşınma değerleri ve aşınma görüntüleri (60000 mm<sup>3</sup> talaş hacmi sonrası).

Benzer şekilde, Yıldırım ve diğ. yaptıkları çalışmada hBN nanoakışkanının yuvarlanma, tamir ve parlatma etkisiyle, aşınma mekanizmasını geciktirdiğini ifade etmişlerdir [21]. Kriyojenik N<sub>2</sub> soğutmanın hBN ile kombine edilmesiyle kesme sıcaklığı değerleri hBN nanoakışkan koşuluna göre %10,9 oranında azalmıştır (Şekil 4). Sıcaklığın azalması ve üstün yağlama ve soğutmanın bir arada kombine edilmesi kesici takım aşınma mekanizmalarının gecikmesini sağlamıştır, yorumu yapılabilir. En yüksek yanak aşınma değeri beklediği üzere herhangi bir soğutma/yağlamanın kullanılmadığı kuru koşul altında ve 180 m/dak kesme hızında elde edilmiştir (0,499 mm). Kesme hızının artması kesme sıcaklığı, titreşim değerlerini artırmış ve bu da kesici takım aşınma mekanizmaların hızlı artmasına neden olmuştur. Yanak aşınma değerleri (180 m/dak kesme hızında) büyükten küçüğe doğru; kuru > N<sub>2</sub> > MMY > MMY/N<sub>2</sub> > hBN > hBN/N<sub>2</sub> şeklinde sıralanabilir. Bir başka deyişle kuru koşula göre yanak aşınma değerleri N<sub>2</sub>, MMY, MMY/N<sub>2</sub>, hBN ve hBN/N<sub>2</sub> koşullarında sırasıyla %45,10, %54,91, %55,11, %63,33 ve %69,34 oranında azalma göstermiştir. Kuru koşula göre daha düşük aşınma değeri elde edilmesine rağmen diğer koşullara göre N<sub>2</sub> koşulunda daha yüksek yanak aşınma değeri elde edilmiştir. Kesme sıcaklık sonuçlarında en düşük kesme sıcaklığının N<sub>2</sub> koşulunda elde edildiği (Şekil 4) önceki bölümlerde ifade edilmişti. N<sub>2</sub> koşulu, AISI 904L çeliğinin tormalanması esnasında plastik deformasyona yardımcı sıcaklığı düşük mertebelere çektiğinden talaşın iş parçasından ayrılmasında güçlük yaşanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda kriyojenik soğutmanın talaşın iş parçası yüzeyine yapıştığı ve iş parçasından ayrılmasında güçlük yaşandığı ifade edilmiştir [16,26]. Şekil 6 incelenmeye devam edildiğinde 180 m/dak kesme hızında elde edilen aşınma görüntülerinde N<sub>2</sub> koşulunda talaşların kesici takıma yapıştığı açıkça görülmektedir. Bu durum ise kriyojenik soğutma ile ilgili bahsedilen iddiayı da güçlendirir niteliktedir. Genel olarak yanak aşınma bölümü

değerlendirildiğinde tüm kesme hızlarında, en iyi performansı hBN/N<sub>2</sub> koşulu altında elde edilmiştir yorumu yapılabilir.

#### 4 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 904L süper östenitik paslanmaz çeliği kuru, MMY, N<sub>2</sub>, MMY/N<sub>2</sub>, hBN, hBN/N<sub>2</sub> olmak üzere 6 farklı koşulda ve iki farklı kesme hızında (120 ve 180 m/dak) tormalanmıştır. Tormalama deneylerinden ve yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yüzey pürüzlülük sonuçlarına göre en düşük Ra hBN/N<sub>2</sub> koşulunda (1,065 µm) ve 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. En yüksek Ra ise kuru koşulunda (2,312 µm) elde edilmiştir.
- Yüzey topografya görüntülerinde ise en iyi performansı hBN/N<sub>2</sub> koşulu göstermiştir.
- Kesme sıcaklık değerleri en düşük N<sub>2</sub> koşulunda 120 m/dak kesme hızında elde edilirken (115 °C) bunu sırasıyla, hBN/N<sub>2</sub> (118 °C), MMY/N<sub>2</sub> (125 °C), hBN (129 °C), MMY (135°C) ve kuru (260 °C) koşulları takip etmiştir.
- Kesme hızının artması kesme sıcaklığı değerlerini de bir miktar artırmıştır.
- En düşük titreşim tepe değerleri hBN/N<sub>2</sub> koşulunda kaydedilmiştir. Bunu sırasıyla hBN, MMY/N<sub>2</sub>, MMY, N<sub>2</sub> ve kuru koşullar takip etmiştir.
- Takım aşınmasında en iyi performansı yine hBN/N<sub>2</sub> koşulu göstermiştir. Kuru koşula göre yanak aşınma değerleri N<sub>2</sub>, MMY, MMY/N<sub>2</sub>, hBN ve hBN/N<sub>2</sub> koşullarına göre sırasıyla %45,10, %54,91, %55,11, %63,33 ve %69,34 oranında azalmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde; bu çalışmada AISI 904L süper dubleks paslanmaz çeliğinin tormalanmasında, hBN/N<sub>2</sub> koşulu diğer koşullara göre daha üstün performans göstermiştir.

## Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

## Kaynaklar

- [1] O'Sullivan, D., & Cotterell, M. (2002). Machinability of austenitic stainless steel SS303. *Journal of Materials Processing Technology*, 124(1–2), 153–159.
- [2] Şirin, Ş., & Kıvak, T. (2019). Performances of different eco-friendly nanofluid lubricants in the milling of Inconel X-750 superalloy. *Tribology International*, 137, 180–192.
- [3] Anandan, V., Naresh Babu, M., Vetrivel S.M., Yıldırım, C. V., & Dinesh Babu, M. (2021). Influence of graphene nanofluid on various environmental factors during turning of M42 steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 90–103.
- [4] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., Erzincanlı, F., Uygur, İ., & Sarıkaya, M. (2017). Optimization of MQL Parameters Using the Taguchi Method in Milling of Waspaloy. *Gazi University Journal of Science*, 30(2), 173–186.
- [5] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., & Erzincanlı, F. (2019). Influence of Different Cooling Methods on Tool Life, Wear Mechanisms and Surface Roughness in the Milling of Nickel-Based Waspaloy with WC Tools. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(9), 7979–7995.
- [6] Nouioua, M., Yaltese, M. A., Khettabi, R., Belhadi, S., Bouhalais, M. L., & Girardin, F. (2017). Investigation of the performance of the MQL, dry, and wet turning by response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2017 93:5, 93(5), 2485–2504.
- [7] Elbah, M., Laouici, H., Benlahmidi, S., Nouioua, M., & Yaltese, M. (2019). Comparative assessment of machining environments (dry, wet and MQL) in hard turning of AISI 4140 steel with CC6050 tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(5–6), 2581–2597.
- [8] Masoudi, S., Mohammad, E. J., Farshid, J., & Seyed, M. A. (2019). Comparison the effect of MQL, wet and dry turning on surface topography, cylindricity tolerance and sustainability. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1–13.
- [9] Sarıkaya, M., Şirin, Ş., Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., & Gupta, M. K. (2021). Performance evaluation of whisker-reinforced ceramic tools under nano-sized solid lubricants assisted MQL turning of Co-based Haynes 25 superalloy. *Ceramics International*, 47(11), 15542–15560.
- [10] Yücel, A., Yıldırım, Ç. V., Sarıkaya, M., Şirin, Ş., Kıvak, T., Gupta, M. K., & Tomaz, İ. V. (2021). Influence of MoS<sub>2</sub> based nanofluid-MQL on tribological and machining characteristics in turning of AA 2024 T3 aluminum alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 1688–1704.
- [11] Touggui, Y., Uysal, A., Emiroglu, U., Belhadi, S., & Temmar, M. (2021). Evaluation of MQL performances using various nanofluids in turning of AISI 304 stainless steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(11–12), 3983–3997.
- [12] Babu, M. N., Anandan, V., Muthukrishnan, N., & Gajendiran, M. (2018). Experimental process to evaluate the minimum quantity lubrication technique using copper nanofluids in turning process. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 20(6), 497–512.
- [13] Yıldırım, Ç. V., Şirin, Ş., & Kıvak, T. (2019). Waspaloy Süper Alaşımının Frezelenmesinde Nanopartikül Katkılı Yağlamanın Takım Aşınması Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 466–476.
- [14] Iturbe, A., Hormaetxe, E., Garay, A., & Arrazola, P. J. (2016). Surface integrity analysis when machining Inconel 718 with conventional and cryogenic cooling. *Procedia CIRP*, 45, 67–70.
- [15] Yıldırım, Ç.V. (2020). Investigation of hard turning performance of eco-friendly cooling strategies: Cryogenic cooling and nanofluid based MQL. *Tribology International*, 144, 106127.
- [16] Şirin, E., & Şirin, Ş. (2021). Investigation of the performance of ecological cooling/lubrication methods in the milling of AISI 316L stainless steel. *Manufacturing Technologies and Applications*, 2(1), 75–84.
- [17] Yıldırım, Ç. V. (2019). Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625. *Tribology International*, 137, 366–378.
- [18] Gupta, M. K., Song, Q., Liu, Z., Sarıkaya, M., Jamil, M., Mia, M., Kushvaha, V., Singla, A. K., & Li, Z. (2020). Ecological, economical and technological perspectives based sustainability assessment in hybrid-cooling assisted machining of Ti-6Al-4 V alloy. *Sustainable Materials and Technologies*, 26, e00218.
- [19] Shokrani, A., Al-Samarrai, I., & Newman, S. T. (2019). Hybrid cryogenic MQL for improving tool life in machining of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 43, 229–243.
- [20] ISO, E. (1997). 4287–Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Terms, Definitions and Surface Texture Parameters. *International Organization for Standardization*: Geneva, Switzerland.
- [21] Yıldırım, Ç. V., Sarıkaya, M., Kıvak, T., & Şirin, Ş. (2019). The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625. *Tribology International*, 134, 443–456.
- [22] Akincioglu, S., & Şirin, Ş. (2021). Evaluation of the tribological performance of the green hBN nanofluid on the friction characteristics of AISI 316L stainless steel. *Industrial Lubrication and Tribology*, 73(9), 1176–1186.
- [23] Şirin, Ş., Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., & Sarıkaya, M. (2021). Performance of cryogenically treated carbide inserts under sustainable cryo-lubrication assisted milling of Inconel X750 alloy. *Sustainable Materials and Technologies*, 29, e00314.
- [24] Şirin, E., Kıvak, T., & Yıldırım, Ç. V. (2021). Effects of mono/hybrid nanofluid strategies and surfactants on machining performance in the drilling of Hastelloy X. *Tribology International*, 157, 106894.
- [25] Chuangwen, X., Jianming, D., Yuzhen, C., Huaiyuan, L., Zhicheng, S., & Jing, X. (2018). The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration. *Research Article Advances in Mechanical Engineering*, 10(1), 1–14.
- [26] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., Sarıkaya, M., & Şirin, Ş. (2020). Evaluation of tool wear, surface roughness/topography and chip morphology when machining of Ni-based alloy 625 under MQL, cryogenic cooling and CryoMQL. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2079–2092.



## A COMPARATIVE AERODYNAMIC ANALYSIS OF NACA AND NREL AEROFOILS FOR DARRIEUS TURBINES USING CFD

Yunus Celik<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Hakkari University, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

The selection of the aerofoil plays a crucial role in achieving optimum power output, especially for the inherently low-efficient turbines, such as the Darrieus wind turbine. For this purpose, different aerofoils belonging to NACA and NREL families have been investigated in terms of the aerodynamic performance, comparatively. Although NREL aerofoils are mainly utilised for the Horizontal Axis Wind Turbines, in the present study, their effect on the Darrieus type Vertical Axis Wind Turbine has been examined. In this point of view, the influence of the various aerofoils and their thickness on the turbine performance in different operating ranges have been evaluated using Computational Fluid Dynamics (CFD). Furthermore, by considering the low and high tip speed ratios, the instantaneous blade torque coefficient, and the contours of the pressure coefficient for the selected aerofoils have been analysed to provide further understanding. The research findings show that the conventional aerofoils, such as NACA0015 and NACA0021, illustrate better power output at optimum and high tip speed ratios, while the NREL aerofoils, such as S814 and S825, are able to increase the torque generation at the relatively low tip speed ratio regions. Even though this situation makes the NREL aerofoil more desirable to design a self-starting Darrieus turbine, NREL aerofoils lost their advantages due to the higher efficiency loss at the higher tip speed ratios. In addition to this, the thicker aerofoils, such as NACA0021 and S814, yield more power output at the low tip speed ratio compared to their counterpart profiles as a result of the high pressure difference achieved between their suction and pressure sides.

**Keywords:** Darrieus turbine, NACA aerofoil, NREL aerofoil, computational fluid dynamics.

### 1 Introduction

As a result of the increase in energy demand, renewable energy systems have been gaining more attention compared to the past. For this reason, various types of renewable energy systems, including wind, solar, hydropower, etc., have been utilized in the production of clean energy in recent years. Among these systems, the wind energy is gaining more popularity due to its sustainability [1]. Wind energy is generally exploited using wind turbines, which are mainly classified as either Horizontal Axis Wind Turbines (HAWTs) or Vertical Axis Wind Turbines (VAWTs). Despite the fact that HAWTs dominated the wind energy sector, recent studies have focused on VAWTs due to their inherent advantages, such as cheap maintenance, no yaw mechanism required, easy fabrication, etc. [2]. The most preferred VAWT type is Darrieus turbines, this is because of the straight-blade design and higher performance output compared to the other types of VAWTs. In order to enhance the performance output of the Darrieus wind turbines, particularly at low tip speed ratios, numerous studies have attempted to optimise various types of design parameters [3]. Among the design parameters, types of aerofoils employed in the Darrieus turbines, which significantly

affect the performance, have been examined in a great number of experimental and numerical studies.

The NACA aerofoil profiles have been commonly utilized in the early investigations of the Darrieus type of VAWTs. The available data that covers a wide range of the conditions for these aerofoil profiles assists in the well understanding of their aerodynamic characteristics. An experimental investigation has been carried out by Elkhoury et al. [4] to examine the performance of the different NACA aerofoils, such as NACA0018, NACA0021, and NACA634221. The findings illustrate that the NACA0018 has been found to be superior performance for the VAWT applications. Masson et al. [5] demonstrated that for the 17m Sandia VAWT, the SAND0015/47 could only improve the performance slightly at high tip speed ratios compared with the NACA0015 baseline. The static lift and drag coefficients illustrated that the SAND0015/47 was the better at low angles of attack; however, the NACA0012 aerofoil showed better performance at a high angle of attack due to the early stall of the SAND0015/47. El-Samanoudy et al. [6] investigated different aerofoils, including symmetrical and asymmetrical aerofoils, employed in the H-type VAWTs, and it has been found that the symmetrical aerofoil NACA0024 is able to produce

\* Corresponding author

E-mail address: yunuscelik@hakkari.edu.tr (Y. Celik)

Received 18 February 2022; Received in revised form 11 April 2022; Accepted 09 May 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1075684>

higher power output compared to the asymmetrical aerofoils NACA4420 and NACA4520.

On the other hand, S-series aerofoils belonging to the NREL aerofoil families, such as S814, S815, S825, and S826 are generally used in HAWTs, therefore, a limited number of studies have been encountered in the literature for the VAWT applications. Mohamed et al. [7] has numerically examined various numbers of symmetrical and asymmetrical aerofoils, which are including the series of NACA, S-series, A-series, and FX-series. S815 aerofoil achieved a  $C_p$  value with an increase of 26.83% when compared to the symmetrical NACA aerofoils. Sengupta et al. [8] has also investigated the contribution of the blade camber and curvature signatures in terms of the performance enhancement of the VAWT having asymmetrical aerofoils, including EN0005 and S815. The aerodynamic performance of S815 aerofoil has been found to be superior to that of EN0005 aerofoil.

According to the above literature review concerning the aerofoil profile of Darrieus type VAWTs, it can be concluded that even though symmetrical NACA00XX aerofoils are commonly used for numerical and experimental investigations, asymmetrical aerofoils, such as NREL aerofoils may also be employed due to their potential to increase the torque generation at the low tip speed ratios for Darrieus type VAWTs. For this purpose, the widely employed NREL aerofoils for the HAWTs, such as S814 and S825, have been selected in order to examine their aerodynamic performances in comparison with NACA aerofoils, such as NACA0015 and NACA0021. The present study will not only be carried out for the aerodynamic performance comparison of the different aerofoils belonging NACA and NREL families on the Darrieus turbine performance but also examine the effect of the thickness of the selected aerofoils considering both low and high tip speed ratios. Moreover, the flow characteristics in terms of the contours of pressure coefficient at the vicinity of the turbine blades at the various complete revolutions will also be analyzed to provide a more comprehensive understanding.

## 2 Numerical Modelling

The impact of the NACA and NREL aerofoils having different thicknesses on the performance of the Darrieus wind turbine considering low and high tip speed ratios have been analysed using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The CFD method is one of the most popular research tools that has been employed in the numerical studies by the researchers for not only the investigations of the wind turbine aerodynamics but also for different purposes, such as in many fluid and heat transfer studies [9][10][11].

Since the main aim of the present study is to obtain the accurate power coefficients ( $C_p$ ) to compare the performance of the aerofoils for the Darrieus wind turbine applications, obtaining an accurate CFD modelling is the crucial part of the numerical simulations. For this reason, the details of the present CFD model have been given in the following sub-sections, then the final CFD model that has been used for future analyses has been compared with the published experimental and numerical data in order to observe its reliability.

## 2.1 Model Geometry and Computational Settings

The turbine used as a reference in the present study was chosen according to experimental study conducted by Castelli et al. [12]. The geometrical specifications and operating conditions are given in Table 1.

**Table 1.** The main geometrical specifications of the turbine.

Name	Value	Unit
Blade type	NACA0021	-
Blade number	3	-
Rotor Radius (R)	0.515	m
Chord length (c)	0.0858	m
Wind speed ( $V_\infty$ )	9	m/s

SIMPLE algorithm for pressure-velocity coupling has been employed in the present study. The 2D transient flow has been conducted to take into account the physics of the rotational effects of the turbine by employing the Sliding Mesh Method. Furthermore, in order to ensure that the solutions were converged, two main convergence criteria have been considered to obtain accurate results. The first one is depending on the residuals, which must be lower than  $10^{-5}$  for every time step. On the other hand, the second one is depending on the torque coefficient ( $C_t$ ) which must be a difference of less than 1% between successive two complete revolutions. For this reason, every simulation has been run 20 complete revolutions in order to achieve convergence criteria. Power coefficients have been calculated by averaging the results of the last revolution.

Since the selection of the turbulence model is another important part of the numerical simulations of the Darrieus turbines, an extensive critical literature review has been carried out. It has been found that two-equation turbulence models, namely Realizable  $k - \varepsilon$  and SST  $k - \omega$  are the turbulence models that are commonly employed [13]. The Realizable  $k - \varepsilon$  model is an improvement over the standard  $k - \varepsilon$  model. In this model, new formulations for the dissipation rate and new eddy viscosity are introduced to the standard  $k - \varepsilon$  model and this makes the model more consistent with the turbulent flow physics, and hence the name realizable [14]. On the other hand, the SST  $k - \omega$  turbulence model was introduced, which combines the  $k - \omega$  and  $k - \varepsilon$  models to form a hybrid model and it becomes more popular than the standard  $k - \omega$  model [15]. The  $k - \omega$  model is employed for the near wall region and the  $k - \varepsilon$  is used away from the wall. In order to assess the applicability of these two turbulence models for the Darrieus wind turbine simulations, these turbulence models have been used in the current research for the CFD model verification studies and compared with the experimental data.

## 2.2 CFD Model Verification and Validation

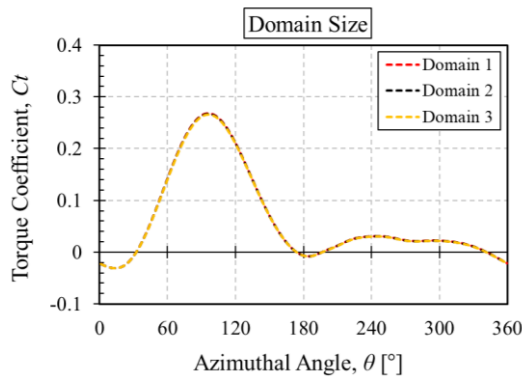
The computational domain has been divided into two zones, namely the rotating domain and the stationary domain. To ensure that the flow field remains continuous between the zones, interface conditions has been used to contact these two zones. The constant freestream velocity, which is perpendicular to the inlet, is defined as  $V_\infty =$

9m/s based on the experimental data [12]. In order to choose the appropriate domain size in terms of the high computational accuracy and low computational cost, an independency study for the domain size was conducted using three different domain sizes and the results were compared each other considering the instantaneous blade torque coefficient at the optimum tip speed ratio of 2.65, where the turbine produces the higher power coefficient. The domain sizes investigated has been provided in Table 2.

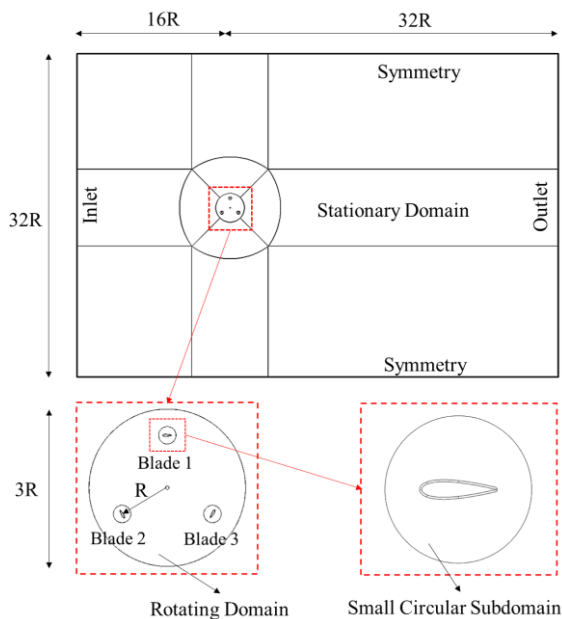
**Table 2.** Computation domains considered for validation study.

Domain Size	Vertical side	Horizontal side
Domain 1	32R	48R
Domain 2	64R	96R
Domain 3	128R	192R

Figure 1 illustrates the effect of the different domain sizes on the instantaneous blade torque coefficient versus the azimuthal angle. The results indicate that Domain 1 has been found to be fairly large for the computational domain since there is no significant difference obtained between other computational sizes. Therefore, Domain 1 will be employed in future studies for reducing the computational cost. The final computational domain having the values has been illustrated in Figure 2.

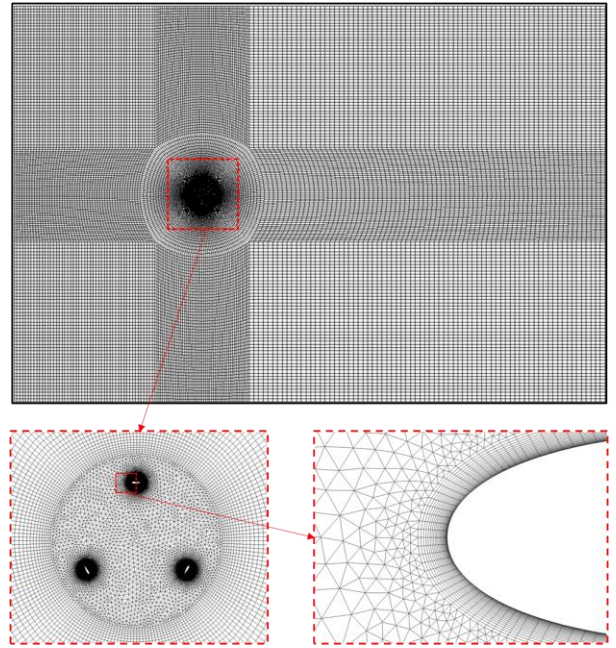


**Figure 1.** Effect of the different domain sizes on accuracy of the numerical solution at  $\lambda=2.65$ .



**Figure 2.** Computational domain and boundary conditions.

On the other hand, the meshing strategy is another important factor that affects the numerical results. Therefore, the computational domain has been meshed using the hybrid mesh technique, as shown in Figure 3, due to the fact that it is the most appropriate mesh type for reducing the total mesh element number of the computational domain [16]. In the current investigation, 25 mesh layers with the first cell height of about  $2.5 \times 10^{-5}$ m has been used to achieve a maximum non-dimensional wall distance  $y^+$  value of 2.25 and average  $y^+ < 1$ . Thus, the appropriate calculation of the aerodynamic forces in the boundary layer can be obtained by preserving these values [17].



**Figure 3.** Mesh distribution for whole computational domain, rotating domain, and leading edge of aerofoil.

A mesh independency study was also carried out to achieve the final mesh that is not affected by changing the mesh number in both the around the aerofoil and the whole computational domain. For this purpose, four different mesh sizes were created by use of the ANSYS Meshing Module and compared to each other by using the instantaneous blade torque coefficient. The number of mesh around the aerofoil and its corresponding mesh number in the computational domain are given in Table 3.

**Table 3.** Mesh sizes considered for validation study.

Mesh Size	Number of Nodes around aerofoil	Total Mesh number
Mesh 1	90	64320
Mesh 2	180	122508
Mesh 3	400	240640
Mesh 4	1000	525681

Figure 4 demonstrates a plot of the comparison of the torque coefficients versus blade azimuthal angle for various mesh sizes at a tip speed ratio of 2.65. Mesh 3 and 4 have a small difference in torque coefficients throughout all azimuthal angles, as seen in the figure, however, Mesh 1 and Mesh 2 are quite different. As a consequence, the most reasonably accurate and computationally efficient number of nodes around the aerofoil have been



determined to be 400, which is corresponding to around 240640 number of mesh in whole domain, and selected for the further simulations of the Darrieus wind turbine in the present study.

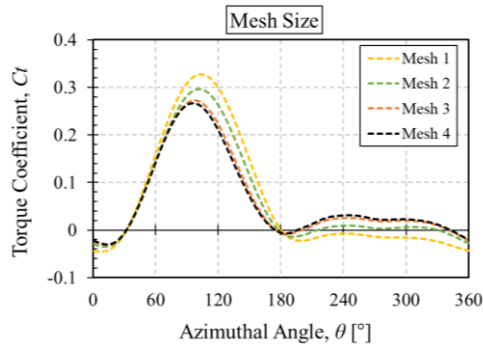


Figure 4. Effect of the different mesh sizes on accuracy of the numerical solution at  $\lambda=2.65$ .

Furthermore, as shown in Table 4, three time steps, which are  $\Delta t_1 = 0.000753748s$ ,  $\Delta t_2 = 0.000376874s$ , and  $\Delta t_3 = 0.000188437s$ , have been selected to examine the influence of the length of time steps on the results at the tip speed ratio of 2.65. The selected time step sizes are corresponding to  $2^\circ$ ,  $1.5^\circ$ , and  $1^\circ$ , respectively. The results, as shown in Figure 5, reveal that there is only a small variation observed between  $\Delta t_2$  and  $\Delta t_3$  with the similar trend in the torque coefficient. Thus, to lower the processing time,  $\Delta t_2 = 0.000376874s$  is chosen for further simulations.

Table 4. Time step sizes considered for validation study.

Time Step Size	Degree ( $^\circ$ )	Second (s)
Time Step 1	$2^\circ$	0.000753748
Time Step 2	$1^\circ$	0.000376874
Time Step 3	$0.5^\circ$	0.000188437

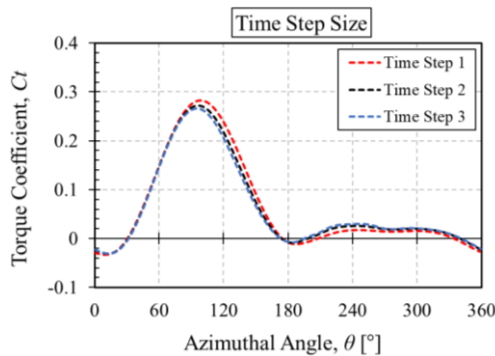


Figure 5. Effect of the different time step sizes on accuracy of the numerical solution at  $\lambda=2.65$ .

The current CFD model, which uses both Realizable  $k - \varepsilon$  and SST  $k - \omega$  turbulence models, is compared to experimental and numerical data acquired by Castelli et al. [12] and results are illustrated in Figure 6. As shown in the figure, the present CFD model with SST  $k - \omega$  turbulence model is capable of accurately predicting turbine performance, especially in the low tip speed ratio regions. Due to these close results achieved from present CFD model compared to author's numerical results, the present model with SST  $k - \omega$  turbulence model can be considered as a reasonable model for predicting the Darrieus turbine performance.

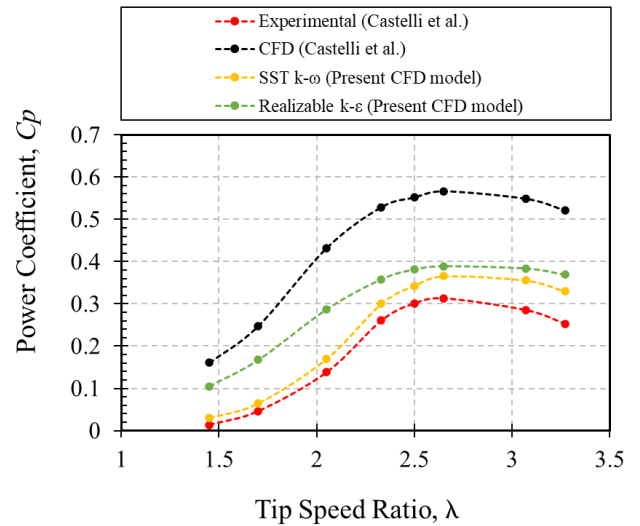


Figure 6. The present CFD model comparison with the experimental and numerical results of Castelli et al. [12].

### 3 Research Findings and Discussions

The power output of the Darrieus wind turbines is generally depending on several important parameters, such as aerofoil profile, solidity, wind speeds, etc. The aim of the present research is to determine how different aerofoil designs impact the ability of the turbine to produce power at varied tip speed ratios. The tip speed ratio range has been determined according to the tip speed ratios tested in the experimental study [12]. For this reason, aerofoils belonging NACA and NREL aerofoil families, namely NACA0015, NACA0021, S814, and S825, have been selected for the present investigation. The schematic of the selected aerofoils is illustrated in Figure 7. NACA0015 and S825 are thin aerofoils while NACA0021 and S814 are relatively thick aerofoils.

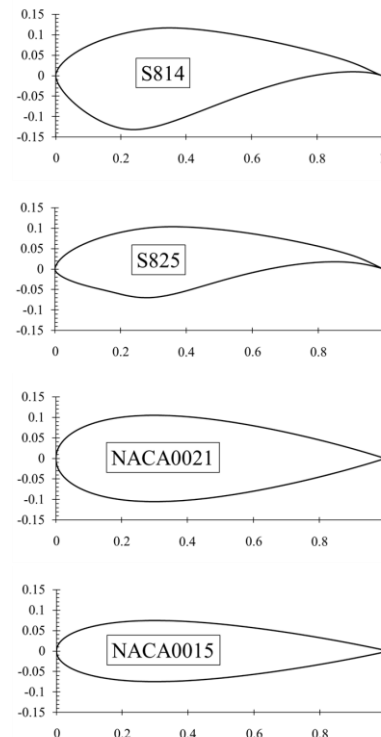
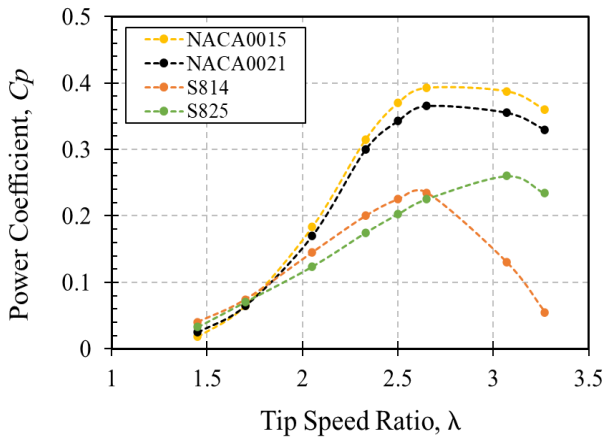


Figure 7. Investigated aerofoil profiles.

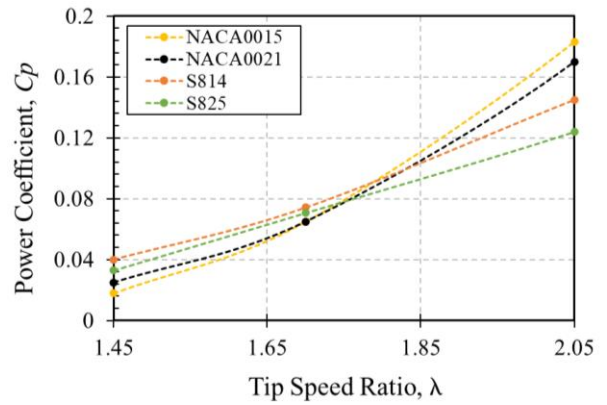
The current study considers a typical operating range of small-scale Darrieus wind turbines: a tip speed ratio varying between 1.45 and 3.27. The reason of selection of the low value of tip speed ratio, such as  $\lambda=1.45$ , is to assess the self-starting ability of the turbine having different aerofoil profiles. On the other hand, high tip speed ratios, such as  $\lambda=3.27$ , assist to further understanding of the effect of the aerofoil profiles on the power output at such high tip speed ratios.

Figure 8 illustrates the power coefficients as a function of the tip speed ratio for the Darrieus wind turbines having different aerofoil profiles. As can be observed in the figure, different aerofoil profiles can cause different effects on the turbine performance at different operating conditions. For instance, when compared the aerofoil from the same families, the thin aerofoils, such as NACA0015 and S825 produce higher power output at the higher tip speed ratio of 3.7, while the thick aerofoils, such as NACA0021 and S814 are able to produce higher power output at the lower tip speed ratio of 1.45.



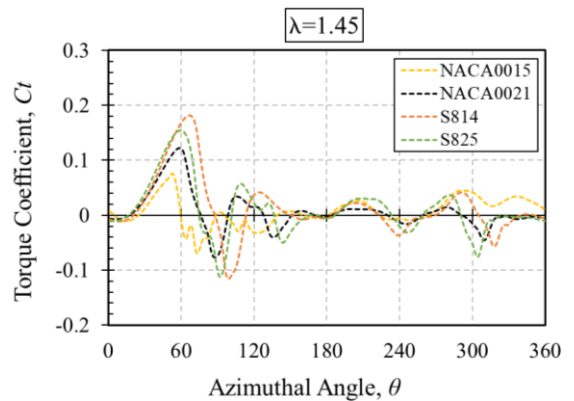
**Figure 8.** The effect of the aerofoil profile on the power coefficient of the Darrieus turbine at different tip speed ratios.

Furthermore, Figure 9 shows the enlarged view of the Figure 8 with more focus on the lower tip speed ratio regions. The reason behind the illustration of the enlarged view of the power coefficient as a function of the tip speed ratio curve is to provide a much closer view of the low tip speed ratio region, which assists in the understanding of the influence of aerofoil types on the turbine self-starting capability. It is observed that although the turbine performance increases with the increase in the aerofoil thickness at the lower tip speed ratio regions, NREL aerofoil families produce more power output compared to the NACA aerofoils. This situation can lead to increase the self-starting ability and these aerofoils can be preferred for the small-scale Darrieus wind turbines owing self-starting deficiency. However, due to the higher efficiency loss at the optimum and higher tip speed ratio values, NREL aerofoils can lose their advantages. Therefore, depending on the purpose, the optimum aerofoil type should be selected.



**Figure 9.** Enlarged view of power coefficient/tip speed ratio curve.

Moreover, the contours of the pressure coefficient have been analysed at the low and high tip speed ratios in order to understand the behaviour of the turbine in contact with the wind and indicate the reason for the power efficiency obtained by applying different NACA and NREL aerofoils. To simplify the analysis, only two tip speed ratios, namely  $\lambda=1.45$  and  $\lambda=3.27$  have been considered since the turbines investigated indicated different performance at selected tip speed ratios. In addition to the pressure contours, the variation of instantaneous torque versus azimuthal angles for the aerofoils at both tip speed ratios was also examined. Figure 10 illustrates a plot of the instantaneous blade torque coefficients versus the azimuthal angle for the aerofoils investigated. In the upstream part of the turbine, where the azimuthal angle ( $\theta$ ) varies between  $0^\circ$  and  $180^\circ$ , the NREL aerofoils illustrates better aerodynamic performance compared to the NACA aerofoils. In addition to this, the thicker NREL aerofoil, which is S814, produces higher torque coefficient when compared to thin S825 aerofoil. This situation can be also observed in Figure 11, where the contours of the pressure coefficients are illustrated. The pressure difference between the suction and pressure sides of the S814 aerofoil is higher than the S825, and this causes a higher torque generation. In contrast, when the performance of the aerofoils assessed in the downstream part of the turbine, where the azimuthal angle ( $\theta$ ) varies between  $180^\circ$  and  $360^\circ$ , since there is no significant difference observed between the suction and pressure sides, an about similar value of the torque coefficients has been obtained.



**Figure 10.** Instantaneous blade torque coefficient versus the azimuthal angle for aerofoils investigated at  $\lambda=1.45$ .

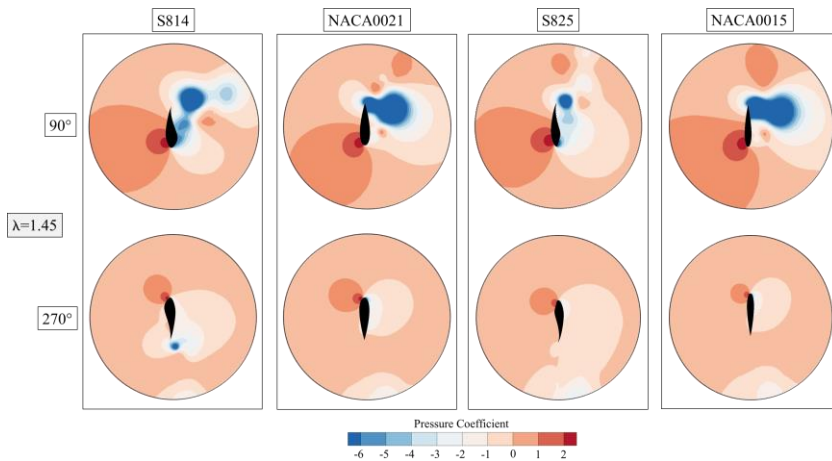


Figure 11. The contours of pressure coefficient at the tip speed ratio of 1.45 for the aerofoils investigated considering azimuthal angle of 90° and 270°

Furthermore, the change in the instantaneous blade torque coefficient versus the azimuthal angle has been also examined for the aerofoils at  $\lambda=3.27$  (see Figure 12). On the contrary of the  $\lambda=1.45$ , the better performance can be achieved in the upstream part of the turbine when the NACA aerofoil families are employed at  $\lambda=3.27$ , as seen in the figure. However, while the thin aerofoil NACA0015 produces a higher torque generation in the upstream part of the turbine, NREL aerofoils are able produce a higher torque coefficient in the downstream part of the turbine. This situation can be clearly observed in the contours of the pressure figures illustrated in Figure 13. The higher pressure difference between the suction and pressure sides of the NACA0015 than that of other aerofoils leads to higher torque generation in the upstream part of the turbine. Additionally, when the downstream part of the turbine is considered, since the pressure difference between the suction and pressure sides of S825 is much

obviously higher at the  $\theta=270^\circ$  compared to the other aerofoils, the instantaneous torque coefficient of S825 is higher.

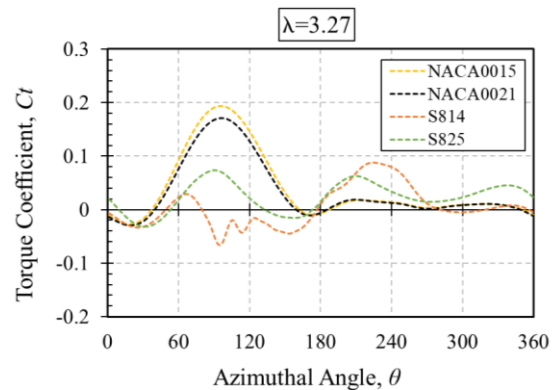


Figure 12. Instantaneous blade torque coefficient versus the azimuthal angle for aerofoils investigated at  $\lambda=3.27$ .

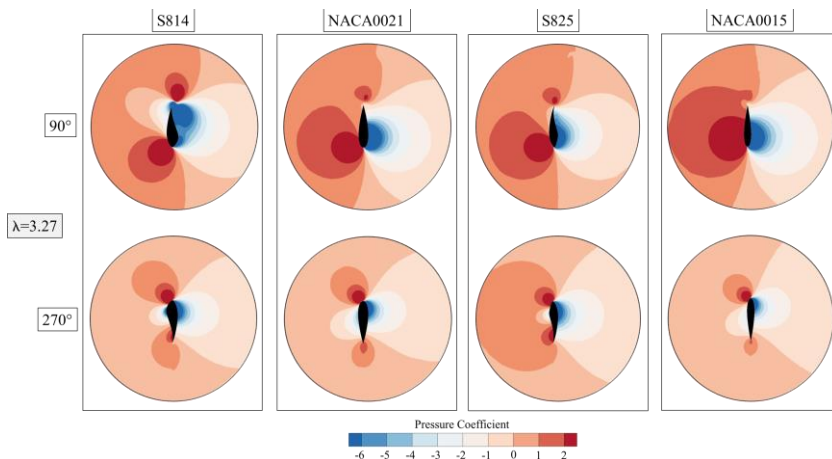


Figure 13. The contours of pressure coefficient at the tip speed ratio of 3.27 for the aerofoils investigated considering azimuthal angle of 90° and 270°.

#### 4 Conclusion

The present CFD model, which was extensively validated with the experimental and numerical results, has been employed to investigate the impact of the various aerofoil profiles belonging to the NACA and NREL families on the power performance of the Darrieus wind turbine considering the low and high operating ranges. The aerofoils investigated, namely NACA0015, NACA0021, S814, and S825, have been selected by considering having a different thickness. The results

obtained in the present study show that NACA aerofoils are more advantageous at high  $\lambda$  values while NREL aerofoil can be utilized due to higher power output at relatively low  $\lambda$  values, which may assist turbine self-starting ability. Furthermore, the thicker aerofoils, such as NACA0021 and S814, produce a higher power output at  $\lambda=1.45$  compared to their counterpart profiles. On the other hand, at  $\lambda=3.27$ , the thinner aerofoils, such as NACA0015 and S825, are able to produce more power output. Consequently, NACA aerofoils can be still

preferable due to their advantages of the higher torque output at high  $\lambda$  values, but NREL aerofoils are surprisingly producing more power at lower  $\lambda$  values, which makes them more desirable to overcome the self-starting issue of the Darrieus wind turbine.

### Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper. Ethics committee approval is not required.

### References

- [1] Kaya, M. N., Kose, F., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2018). Aerodynamic performance of a horizontal axis wind turbine with forward and backward swept blades. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, 166-173.
- [2] Celik, Y., Ma, L., Ingham, D., & Pourkashanian, M. (2020). Aerodynamic investigation of the start-up process of H-type vertical axis wind turbines using CFD. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 204, 104252.
- [3] Celik, Y. (2021). *Aerodynamics and Self-Starting of Vertical Axis Wind Turbines with J-Shaped Aerofoils* (Doctoral dissertation, University of Sheffield).
- [4] Elkhoury, M., Kiwata, T., & Aoun, E. (2015). Experimental and numerical investigation of a three-dimensional vertical-axis wind turbine with variable-pitch. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 139, 111-123.
- [5] Masson, C., Leclerc, C., & Paraschivoiu, I. (1998). Appropriate dynamic-stall models for performance predictions of VAWTs with NLF blades. *International Journal of Rotating Machinery*, 4(2), 129-139.
- [6] El-Samanoudy, M., Ghorab, A. A. E., & Youssef, S. Z. (2010). Effect of some design parameters on the performance of a Giromill vertical axis wind turbine. *Ain Shams Engineering Journal*, 1(1), 85-95.
- [7] Mohamed, M. H. (2012). Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes. *Energy*, 47(1), 522-530.
- [8] Sengupta, A. R., Biswas, A., & Gupta, R. (2016). Studies of some high solidity symmetrical and unsymmetrical blade H-Darrieus rotors with respect to starting characteristics, dynamic performances and flow physics in low wind streams. *Renewable Energy*, 93, 536-547.
- [9] Yadav, A. S., Shukla, O. P., Sharma, A., & Khan, I. A. (2022). CFD analysis of heat transfer performance of ribbed solar air heater. *Materials Today: Proceedings*.
- [10] Zhao, Y., Akolekar, H. D., Weatheritt, J., Michelassi, V., & Sandberg, R. D. (2020). RANS turbulence model development using CFD-driven machine learning. *Journal of Computational Physics*, 411, 109413.
- [11] Lye, K. O., Mishra, S., & Ray, D. (2020). Deep learning observables in computational fluid dynamics. *Journal of Computational Physics*, 410, 109339.
- [12] Castelli, M. R., Englaro, A., & Benini, E. (2011). The Darrieus wind turbine: Proposal for a new performance prediction model based on CFD. *Energy*, 36(8), 4919-4934.
- [13] Song, C., Zheng, Y., Zhao, Z., Zhang, Y., Li, C., & Jiang, H. (2015). Investigation of meshing strategies and turbulence models of computational fluid dynamics simulations of vertical axis wind turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(3), 033111.
- [14] Pouraria, H., & Park, W. G. (2010, September). Comparison of different two equation turbulence models for studying the effect of cold outlet diameter on cooling performance of vortex tube. In *2010 International Conference on Mechanical and Electrical Technology* (pp. 304-308). IEEE.
- [15] Celik, Y., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2022). Design and aerodynamic performance analyses of the self-starting H-type VAWT having J-shaped aerofoils considering various design parameters using CFD. *Energy*, 251, 123881.
- [16] Almohammadi, K. M., Ingham, D. B., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2013). Computational fluid dynamics (CFD) mesh independency techniques for a straight blade vertical axis wind turbine. *Energy*, 58, 483-493.
- [17] Elsakka, M. M., Ingham, D. B., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2019). CFD analysis of the angle of attack for a vertical axis wind turbine blade. *Energy Conversion and Management*, 182, 154-165.



## EFFECT OF BONE ASH AND COMPATIBILIZER ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PP/PA6 MATRIX COMPOSITES

Lemiye Atabek Savaş<sup>\*1</sup>, Yusuf Uzunoğlu<sup>2</sup>, Soner Savaş<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Millî Savunma Bakanlığı, 2'nci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye

### Abstract

Original scientific paper

In this study, the effects of bone ash and maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) additives used in polypropylene (PP)/polyamide 6 (PA6) blends on the mechanical and tribological properties of the composites were investigated. Bone powder is a waste material especially in food industry. The use of bone powder in polymer matrix composites is important because of the reduction of petroleum-based content in the composites and its biodegradable characteristic. The composites were produced using a twin-screw extruder by melt blending method and then molded to sample sizes to be used in mechanical and tribological tests by injection molding. Tensile test, three-point bending test, Shore D hardness test and ball-on-disc sliding wear tests were carried out on the composites and the results were compared with respect to the composite composition. When the results were examined, it was found that the bone ash additive was more effective on the hardness and the compatibilizer additive was more effective on the tensile and bending strength. The highest hardness values were achieved with 20% and 30% bone ash additives. It has been found that bone ash is also very effective in reducing the friction coefficients, especially when used with compatibilizer it reduces the wear rates significantly (up to 98%). In summary, PP/PA6 matrix composites obtained with the synergistic effect of bone ash and MAPP are promising for applications requiring mechanical and wear resistance.

**Keywords:** Bone ash, maleic anhydride, mechanical properties, polyamide 6, polypropylene.

## KEMİK KÜLÜ VE UYUMLAŞTIRICININ PP/PA6 MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, polipropilen (PP)/poliamid 6 (PA6) karışımlarında kullanılan kemik külü ve uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit aşıllı polipropilen (MAPP) katkısının kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kemik tozu özellikle gıda sektöründe atık bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Kemik külünün polimer matris içinde kullanımı, petrol bazlı içeriğin azaltılması ve biyo-bozunurluk özelliği sunmasından dolayı önem arz etmektedir. Kompozitler ergiyik harmanlama yöntemi ile bir çift vidalı ekstrüder makinesi kullanılarak üretilmişlerdir ve ardından enjeksiyon kalıplama ile mekanik ve tribolojik testlerde kullanılacak numuneler şeklinde kalıplanmışlardır. Kompozitlere çekme testi, üç-nokta eğme testi, Shore D sertlik testi ve ball-on-disk kayma aşınma testleri uygulanmış ve sonuçlar kompozit bileşimine göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kemik külü katkısının sertlik üzerinde, uyumlaştırıcı katkısının ise çekme ve eğme mukavemeti üzerinde daha etkili olduğu bulunmuştur. %20 ve %30 kemik külü katkısında en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Kemik külünün sürtünme katsayılarını düşürmede de çok etkili olduğu, özellikle uyumlaştırıcı ile birlikte kullanıldığında aşınma miktarını önemli miktarda (%98'e kadar) azalttığı bulunmuştur. Özetle, kemik külü ve MAPP sinerjik etkisi ile elde edilen PP/PA6 matrisli kompozitler mekanik ve aşınma direnci gerektiren uygulamalar için ümit vadetmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kemik külü, maleik anhidrit, mekanik özellikler, poliamid 6, polipropilen.

### 1 Giriş

Mühendislik plastiklerinin özellikle bitki ve hayvanlardan elde edilen doğal takviye malzemeleri ile güçlendirilmesi özellikle son yıllarda önemi artan bir araştırma konusudur. Bu tür kompozitlerin düşük

maliyetlerde üretilebilmesi, çevreci ve biyo-bozunur olmaları, ayrıca sentetik takviyeli rakipleri ile kıyaslanabilir mekanik ve fiziksel özellikler sunabilmeleri önemli avantajlarından [1-3]. Polipropilen (PP) bir çeşit poliolefin olup, her bir zincir birimine bağlı bir metil grubu (-H<sub>2</sub>C-CRH-)n vardır. PP, kimyasal ve boyutsal

\* Corresponding author.

E-mail address: atabekl@erciyes.edu.tr (L. Atabek Savaş)

Received 29 January 2022; Received in revised form 06 April 2022; Accepted 17 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1065103>

kararlılık, uygun maliyet, yüksek aşınma ve alev direnci gibi özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv, inşaat, biyomedikal, spor, vb. endüstriyel uygulamalarda doğal takviye malzemeleriyle birlikte matris malzemesi olarak yaygın kullanılan bir polimerdir [4,5]. Poliamid 6 (PA6) ise yüksek sertlik ve mekanik dayanım özellikleri ile öne çıkan bir mühendislik plastiğidir. PP/PA6 karışımları, PP'nin kolay işlenebilmesi, neme dayanıklı oluşu, PA6'nın ise sağladığı termomekanik ve oksijen bariyeri özellikleri sebebiyle son yıllarda önem kazanmış bir malzeme olup, özellikle ambalaj ve otomotiv sanayi parçalarında kullanım alanı bulmaktadır [6]. Ayrıca farklı özellikler kazandırmak amacıyla PP/PA6 karışımları karbon nanotüp [7], karbon fiber [8], doğal talk [9] ve organo-kil (nano-kil) [10-13] gibi takviye elemanları ile birlikte de kullanılabilir. Benzer çalışmalarda ara yüzey bağ direncini iyileştirmek için uyumlaştırıcı kullanımı dikkat çekmektedir.

Literatürde karbonize edilmiş (kül) ve edilmemiş (partikül) formlarda kemik tozunun takviye malzemesi olarak kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur [14-17]. Asuke ve ark. [18] yaptıkları çalışmada, her iki formda kemik tozunu PP matris içerisinde kullanmışlar ve karbonize edilen kemik tozu ile daha yüksek mekanik özelliklere ulaşılmıştır. %25 (ağırlıkça – ağı.) kemik tozu takviyesinde en yüksek mekanik özellikleri (sertlik, çekme ve eğme mukavemeti) yakalamışlar ve bunun sert partikül yapısının sünek PP matrisin özelliklerini iyileştirmesine dayandırmışlardır. Vignesh ve ark. [19] çalışmalarında hindistan cevizi lifi ve kemik tozunu belirli oranlarda polyester matrisle karıştırmışlar ve mekanik özellikler üzerine farklı parametrelerin etkilerini Taguchi yöntemi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak, kullandıkları en yüksek değerler olan %20 (ağı.) toz içeriğinde ve 120 µm partikül boyutunda mekanik özelliklerin en üst düzeye ulaştığını tespit etmişlerdir. Oladele ve ark [20,21], polyester matris kullandıkları çalışmalarında, %8 (ağı.) kemik tozu takviyesinin çekme mukavemetinde, %8 (ağı.) kemik külü takviyesinin ise eğme mukavemetinde olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Polyester matrisin kullanıldığı bir başka çalışmada ise 106 µm partikül boyutuna sahip %6 (ağı.) kemik külü ile en yüksek sertlik değerine (87.8 HV) ulaşılmıştır [22]. Oladele ve ark. [23] bir başka çalışmalarında epoksi matrisi kullanmışlar ve kemik tozunu 400 °C'de ısıtılarak tabi tutarak içerdiği proteini ortadan kaldırmışlardır. %16 (ağı.) toz içeriğinde optimum mekanik ve aşınma direnci özelliklerine ulaşılmıştır. Biyo-esaslı epoksi reçine ile yapılan bir başka çalışmada [24], %2 (ağı.) nano boyutlara indirgenmiş kemik külü ilavesi ile eğme mukavemeti ve modülünde sırasıyla %41,25 ve %34,56'lık artış elde edilmiştir. Krithiga ve ark. [25] kemik külü/yumurta kabuğu tozu/jelatin karışımı ile elde ettikleri kompozitlerde kemik külü (3 g), yumurta kabuğu (7 g) stokiometrik oranında en iyi mekanik özelliklere ulaşılmıştır. Ayrıca öğütülmüş balık kılıcı (0,15-0,42 µm) ile de PP matrisli kompozitlerin çekme, eğme ve darbe mukavemeti özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir [26].

PP/PA6 karışımları ve kemik külü (HAP) (%ağı. 5-10-20-30) takviyeli kompozitler ergiyik harmanlama yöntemi ile üretilmiş olup, karışma verimini dolayısıyla mekanik ve aşınma direnci özelliklerini geliştirmek amacıyla MAPP kopolimeri kullanılmıştır. MAPP'ın özelliği yüzeydeki hidroksil (-OH) grupları ile reaksiyona girerek kovalent

veya hidrojen bağları oluşturmak, bu sayede takviye ile matris malzemeleri arasındaki bağ mukavemetini arttırmaktır. PP ile PA6 arasındaki bağın ve ayrıca mekanik özelliklerin de MAPP ile geliştiği birçok çalışmayla kanıtlanmıştır [27-30]. MAPP, PA6'nın amin uç grupları ile ergiyik harmanlama prosesi esnasında reaksiyona girebilmektedir [6]. Kompozitler için de benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Literatürde ayrıca, maleik anhidrit aşıllı stiren-etilen-bütülen-stiren blok kopolimeri (SEBS-g-MAH) ve maleik anhidrit aşıllı polietilen-okten elastomeri (POE-g-MA) gibi farklı uyumlaştırıcılar ile de yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir [29,31]. Gerekli MAPP miktarını belirlemek için literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Kopolimer miktarı tüm bileşimler için sabit tutulabilmesine rağmen, kopolimer ve takviye fazı arasındaki oran, gerekli uyumlaştırıcı miktarını belirlemek için önerilen diğer bir yöntemdir [32]. Bu çalışmada kullanılan her bir ağırlıkça kemik külü konsantrasyonunun %5'i kadar uyumlaştırıcı kullanımı tercih edilmiştir (%0,25-1,5 aralığında). Enjeksiyon kalıplamanın ardından numunelere çekme testi, üç-nokta eğme testi, Shore D sertlik testi ve ball-on-disk kayma aşınma testleri uygulanmış, sonuçlar konsantrasyona göre değerlendirilmiş, ayrıca aşınma mekanizmaları optik mikroskop görüntüleri ile yorumlanmıştır. Literatür incelendiğinde, PP/PA6 karışımlarına kemik külü takviyesi ile elde edilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamış olup, çalışmadan elde edilecek sonuçların farklı kullanım alanlarına ışık tutması hedeflenmiştir. Ayrıca bir atık malzeme olan kemiğin kompozit yapıda değerlendirilebilecek olması hem çevresel hem de ekonomik açıdan önem arz etmektedir.

## 2 Malzeme ve Metot

### 2.1 Kullanılan Malzemeler

Polipropilen (PP), pelet formda Hellenic Petroleum (Yunanistan) şirketinden temin edilmiştir. PP, 12 g/10 dak (230 °C/2,16 kg yükte, ASTM D1238) ergiyik akış hızına, 0,90 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa (ASTM D792) ve 122 °C ergime sıcaklığına (DSC) sahiptir. Kullanılan poliamid 6 (PA6), 35 g/10 dak (230 °C/2,16 kg yükte, ASTM D1238) ergiyik akış hızına 1,14 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa (ASTM D1505) ve 220°C ergime sıcaklığına sahip olup Emaş Plastik (Türkiye)'den alınmıştır. Maleik anhidrit aşıllı polipropilen (MAPP) kopolimeri Sigma-Aldrich Co. (USA) şirketinden satın alınmıştır. MAPP, %ağı. 8-10 maleik anhidrit içeriğine, 0,93 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve 156 °C'lik bir ergime sıcaklığına sahiptir. Kemik tozu yerel bir firmadan temin edilen sığır kemiklerinin Herzog HSM 100H (Almanya) marka bir değirmende 60 sn boyunca öğütülmesiyle elde edilmiş olup, öncesinde ilik, kıkırdak, yağ gibi yumuşak doku bir bıçak yardımıyla temizlenmiştir. Tozlar, 200 °C'de 1 saat süre ile elektrikli fırında ön kalsinasyona tabi tutularak organik yapının uzaklaşması sağlanmıştır. Ardından 4 saat boyunca 900 °C'de tutularak istenilen apatit yapılı kemik külü haline getirilmiş, 140 µm elekten geçirilmiş ve karışım öncesine kadar plastik poşetlerde saklanmıştır.

## 2.2 Kompozitlerin Üretimi

PA6/PP karışımları ve PA6/PP/HAP/MA kompozitleri  $D=12$  mm vida çaplı ve 24 uzunluk/çap ( $L/D$ ) oranlı, vidaları aynı yönde dönmeyen çift vidalı bir ekstrüder (Gülner, Türkiye) ile ergiyik harmanlama tekniği ile üretilmiştir. Bileşim oranları Tablo 1’de verilmiştir. PA6’nın mekanik özellikler üzerindeki etkisi daha fazla olduğundan HAP ve MAPP’ın kullanıldığı bileşimlerde PA6 %80 (ağ.) oranında kullanılmıştır. Karıştırmadan önce PP ve PA6 peletleri ile diğer malzemeler 24 saat 80 °C’deki bir etüvde önceden kurutulmuştur. Ekstrüderin altı bölgesinin sıcaklık profili besleme bölgesinden ısıtma bölgelerine

doğru sırasıyla 35, 205, 215, 225, 215 ve 210 °C’de ayarlanmıştır. Ekstrüze edilen malzeme çubuk formunda kalıptan çıkarılmış, bir fan yardımıyla katılaştırıldıktan sonra bir granülatör kullanılarak pelet haline getirilmiştir. Ardından 80 °C’de bir etüvde tekrar 12 saat kurutulmuştur. Daha sonra peletler 12 ml’lik bir mikro enjeksiyon kalıplama cihazı (Xplore IM 12, Hollanda) kullanılarak çekme, eğme ve aşınma testi için gereken standart numune şekillerine kalıplanmıştır. Enjeksiyon cihazının kovan ve kalıp sıcaklıkları sırasıyla 210 ve 25 °C, enjeksiyon basıncı 7 bar seçilmiştir. Saf PP ve PA6 kontrol numuneleri de aynı şartlardan geçirilerek üretilmiştir.

**Tablo 1.** Numunelerin kimyasal bileşimi.

Numune Kodu	PA6 (ağ.%)	PP (ağ.%)	HAP (ağ.%)	MA (ağ.%)
Saf PA6	100	0	0	0
Saf PP	0	100	0	0
80PA6/20PP	80	20	0	0
50PA6/50PP	50	50	0	0
20PA6/80PP	20	80	0	0
80PA6/20PP-5HAP	80	20	5	0
80PA6/20PP-10HAP	80	20	10	0
80PA6/20PP-20HAP	80	20	20	0
80PA6/20PP-30HAP	80	20	30	0
80PA6/20PP-5HAP-0,25 MA	80	20	5	0,25
80PA6/20PP-10HAP-0,5 MA	80	20	10	0,50
80PA6/20PP-20HAP-1 MA	80	20	20	1,0
80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA	80	20	30	1,5
80PA6/20PP-0,25 MA	80	20	0	0,25
80PA6/20PP-0,5 MA	80	20	0	0,50
80PA6/20PP-1 MA	80	20	0	1,0
80PA6/20PP-1,5 MA	80	20	0	1,5

## 2.3 Mekanik Testler

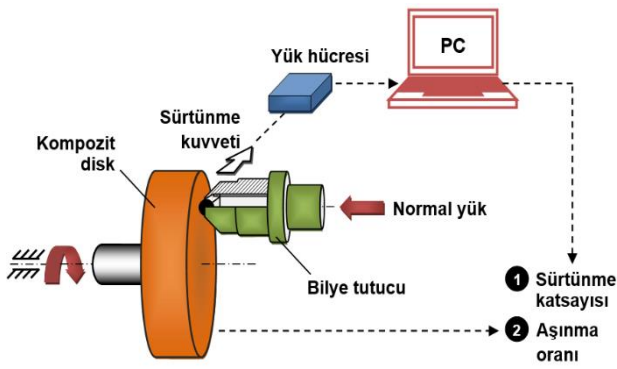
Numunelere mekanik test olarak çekme, 3-nokta eğme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Çekme testleri ASTM D638 standardına uygun şekilde tip-V numune ölçüleri kullanılarak, 5 kN yüklem kapasiteli bir çekme-basma test cihazında (Devotrans GP/R/DNN/CKS III, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Çekme hızı 5 mm/dak olarak ayarlanmıştır. 3-nokta eğme testleri ASTM D790 standardına uygun olarak yapılmış ve aynı cihaz basma modunda kullanılmıştır. Kullanılan dikdörtgen kesitli numune ölçüleri 12.7 mm x 125 mm x 3.2 mm olup, mesnetler arası mesafe 55 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğme hızı tüm testler için 1 mm/dak olarak seçilmiştir. Testler  $25 \pm 2$  °C’lik sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olup en az 3 ölçümün ortalaması alınarak sonuçlar grafik halinde sunulmuştur. Kompozit sertlikleri dijital bir Shore D sertlik ölçüm cihazı (Bareiss HPE II, Almanya) kullanılarak ASTM D2240 standardına uygun şekilde ölçülmüştür. Numunelerin farklı bölgelerinden 12 ölçüm alınarak ortalamaları alınmış ve bileşime göre değişimleri grafik halinde verilmiştir.

## 2.4 Aşınma Testleri

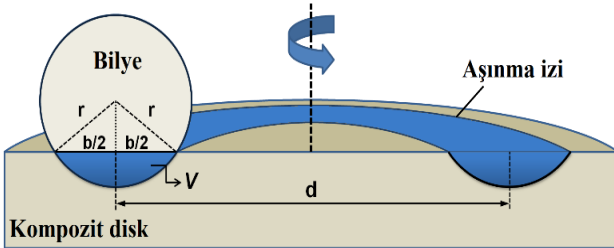
Aşınma testleri özel üretim bir ball-on-disk aşınma test cihazı kullanılarak kuru kayma şartlarında ASTM G99

standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi test numunelerinin yüzeyleri yere dik olarak konumlandırılmış ve yüklem ise yere paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde aşınma ürünlerinin aşınma yolu üzerinde kalmaması ve üçüncü eleman olarak abrazyon etkide bulunmasının azaltılması amaçlanmıştır. Benzer şekilde çalışan aşınma test sistemlerine literatürde rastlamak mümkündür. 30 mm çap ve 8 mm kalınlığa sahip silindirik şeklindeki test numuneleri enjeksiyon kalıplama ile üretilmiştir. Numunelerin aşınma testine tabi tutulacak yüzeyleri  $R_a \approx 0,20$  µm pürüzlülüğe ulaşıncaya kadar su zımparasında kademeli olarak parlatılmıştır. Çalışmada yüksek sertlik ve kimyasal kararlılık avantajlarından dolayı 05 mm silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ) bilyeler aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Bilyeler, Şekil 1’de görüldüğü gibi bir tutucuya bağlanmış ve temas esnasında dönmeleri engellenmiştir. Bu şekilde kayma sürtünmesi elde edilebilmiştir. Tutucuya dik olarak bağlanan bir yük ölçer ile sürtünme kuvvetleri anlık olarak kaydedilmiş ve kararlı hal sürtünme rejimi içerisindeki sürtünme kuvvetlerinin ortalaması alınarak ve bu değer uygulanan dik kuvvete bölünerek her bir numune için sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Testlerde kullanılan dik yük 5 N ve kompozit disklerin dönüş hızı 1100 dev/dak olarak seçilmiştir. Dönüş hızı kayma yolu içerisinde yaklaşık olarak 0,7 m/s kayma hızına karşılık gelmektedir. Aşınma testleri yaklaşık 420 m kayma mesafesinde sonlandırılmış

olup bu mesafe her bir numune için 10 dak'lık test süresinde elde edilmiştir. Numunelerin aşınma yolu iz merkezleri dikkate alınarak hesaplanan ortalama aşınma izi çapı yaklaşık olarak 12 mm'dir. Aşınma testleri  $25 \pm 2$  °C'lik sıcaklığa sahip atmosferde ve yaklaşık %25-30 nemli ortamda tamamlanmıştır. Testlerden önce numune ve bilye yüzeyleri alkolle silinmiş ve dikkatlice kurutulmuştur. Aşınma test geometrisi şematik olarak Şekil 2'de görüldüğü gibidir. Burada,  $V$  ( $\text{mm}^3$ ) aşınma hacmi,  $K$  ( $\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$ ) aşınma oranı olup, formül (1) ve (2)'den hesaplanmaktadır. Formüllerdeki,  $b$  ve  $d$  sırasıyla aşınma iz genişliği ve çapı (mm),  $r$   $\text{Si}_3\text{N}_4$  bilyenin yarı çapı (mm),  $F$  dik kuvvet (N) ve  $S$  bilyenin kayma mesafesi (m)'dir. Ortalama aşınma iz genişlikleri "trapezoidal area model" ile hesaplanmış olup detaylarına [33] no'lu referanstan ulaşılabilir. Aşınma testlerinin ardından numune yüzeyleri optik mikroskop ile incelenmiş ve aşınma mekanizmaları bileşime göre yorumlanmıştır.



Şekil 1. Ball-on-disk aşınma test düzeneği.



Şekil 2. Aşınma test geometrisinin şematik gösterimi.

$$V = \left[ \frac{\pi r^2}{180} \arcsin\left(\frac{b}{2r}\right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \pi d \quad (1)$$

$$K = \frac{V}{FS} \quad (2)$$

### 3 Bulgular ve Değerlendirme

#### 3.1 Mekanik Test Sonuçları

Şekil 3a ve b'de 80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA, Şekil 3c ve d'de ise 80PA6/20PP-30HAP numunelerine ait sıvı azotta bekletilip kırıldıktan sonra elde edilen kırık yüzey SEM fotoğrafları görülmektedir. Uyumlaştırıcı kullanılan numunede partikül dağılımının nispeten daha homojen olduğu dikkat çekmektedir. Uyumlaştırıcı kullanılmayan numunede ise partikül boyutunun koagülasyondan dolayı daha büyük olduğu, ayrıca pembe ve sarı oklarla gösterildiği gibi partikül/matris ara yüzeyinde yetersiz

yapışmadan kaynaklanan boşlukların bulunduğu görülmektedir. Kompozitlerin ve karışımların Shore D sertlikleri, çekme gerilmesi ve eğme gerilmesi grafikleri sırasıyla Şekil 4a, b ve c'de verilmektedir. Shore D sertlikleri incelendiğinde hem HAP hem de HAP+MAPP katkısının kompozit ve karışımların sertliğini arttırdığı görülmektedir. Kemik tozunun PP matrisin sertliğini arttırdığı literatürden bilinmektedir [18]. Bazı dalgalanmalar haricinde sertlikteki artışın bileşimdeki artışla paralel olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerleri HAP ve MAPP'ın birlikte kullanıldığı kompozitlerde elde edilmiş olup, %30 (ağ.) HAP ve %1,5 (ağ.) MAPP içeren kompozitte en yüksek sertlik değeri olan 75,8 Shore D sertlik değerine ulaşılmıştır. Sadece MAPP katkısıyla da 80PA6/20PP karışımından yüksek sertlik değerleri elde edildiği görülmektedir. Asuke ve ark. [18]'nin bulduğu gibi sünek PP'de mekanik özellikler sert kemik tozu takviyesi ile önemli ölçüde iyileşirken, PA6'nın zaten rijit olan yapısı nedeniyle farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Şekil 4b'deki çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde en yüksek çekme gerilmesinin saf PA6'ya ait olduğu görülmektedir. 80PA6/20PP karışımına göre sadece MAPP katkılı numunelerin en yüksek çekme gerilmesi değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Özellikle %20 (ağ.) ve üzerindeki HAP konsantrasyonlarında uyumlaştırıcı olsun ya da olmasın saf karışımdan daha yüksek çekme gerilmesi değerlerine ulaşılmıştır. Benzer durum, Şekil 4c'deki eğme gerilmesi grafiğinde de kendini göstermektedir. %10 (ağ.) HAP konsantrasyonu için eğme ve çekme gerilmesi değerlerinin katkısız 80PA6/20PP karışımından daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun, %10 (ağ.) HAP konsantrasyonunda karışım veriminin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 80PA6/20PP karışımları için en yüksek çekme gerilmesine 80PA6/20PP-1 MA numunesinde ulaşıırken, en yüksek eğme gerilmesi 80PA6/20PP-0,25 MA numunesinde gözlenmiştir. 80PA6/20PP numunesinin eğilme mukavemeti saf PA6'dan daha yüksektir. PA6 yüksek mukavemete sahip bir polimer iken sünekliği saf PP'ye göre nispeten daha düşüktür. Eğme deneyinde gevrek tarzda hasara uğradığı görülmektedir. PP ilavesi ile birlikte gevrek kırılma yerini sünek kırılmaya bırakmıştır. Takviyesiz karışımlar içerisinde bu konsantrasyonun (%20 ağ. PP) eğme mukavemeti için optimum olduğu görülmektedir. Artan PP oranı ile eğilme mukavemetinde de çekme mukavemetinde olduğu gibi azalma görülmektedir. PP konsantrasyonundaki artış ile çekme mukavemetindeki azalma PA6/PP/MAPP/karbon fiber kompozitlerde de elde edilmiştir [8]. Zhou ve ark. [34] poli(L-laktik) (PLLA)/öğütülmüş kemik tozu kompozitlerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında kemik tozu miktarının artmasıyla kompozitlerin eğilme mukavemeti ve kesme mukavemeti değerlerinin azalırken, eğilme modülü değerlerinin arttığını bulmuşlardır. Kompozitlerin kırılma şeklinin ise, artan kemik tozu içeriğiyle birlikte sünek kırılmadan gevrek kırılmaya dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, kemik külü katkısının sertlik üzerinde, uyumlaştırıcı katkısının ise çekme ve eğme gerilmesi üzerinde daha etkili olduğu bulunmuştur. Bu durum saf polimerden daha yüksek rijitliğe sahip olan kemik külünün kompozit sertliğini arttırmasına dayandırılmıştır. %20 ve %30 kemik külü katkısında en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.

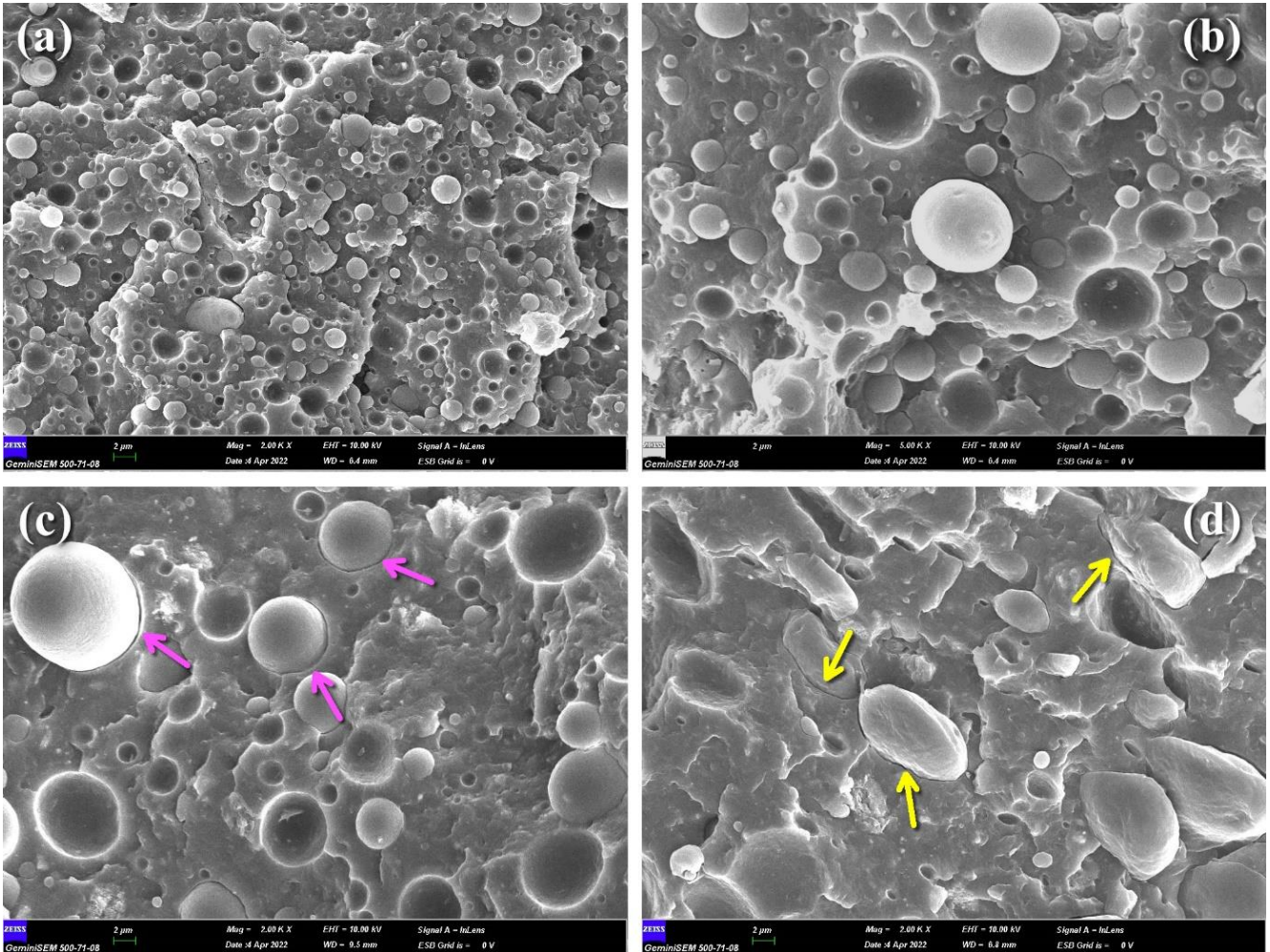


Uyumlaştırıcı kullanımı ise polimer bileşenler arasında oluşturduğu bağ yapısından dolayı mekanik özelliklere katkı sağlamıştır. Kemik külünün matris malzemeleri ile yeterli yapışma verimine sahip olmaması ve çentik etkisi oluşturmasının çekme ve eğme gerilmelerinin artmasına ve sonuçta kompozit mukavemetin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Kısa fiber takviyeli kompozitlerde karşılaşılan her bir fiber ucunun oluşturduğu etkiye benzer şekilde, partikül takviyeli kompozitlerde de yetersiz yapışma verimi ve ara yüzeyde bulunabilen mikro çatlaklar mekanik özellikleri kötüleştirilmektedir. Mevcut çatlaklar ve hataların bulunduğu kısımlarda çekme gerilmesi artmakta ve dayanım azalmaktadır. Eğme deneyinde de hem çekme hem basma gerilmeleri olduğu için benzer bir sonuçla karşılaşmıştır. %20 ve %30 kemik külü içeren numunelerde uyumlaştırıcı ilavesi ile eğme mukavemetinin düştüğü görülmektedir. Bu durum yukarıda bahsedildiği gibi artan takviye oranı ile hata ihtimalinin artması ve kullanılan uyumlaştırıcı miktarının yeterli olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. HAP içermeyen kompozitlerde ise eğilme mukavemeti uyumlaştırıcı içeriği artmıştır. Bu durumun, uyumlaştırıcı kullanımının daha önce ifade edildiği gibi polimer bileşenler arasındaki bağ verimini iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

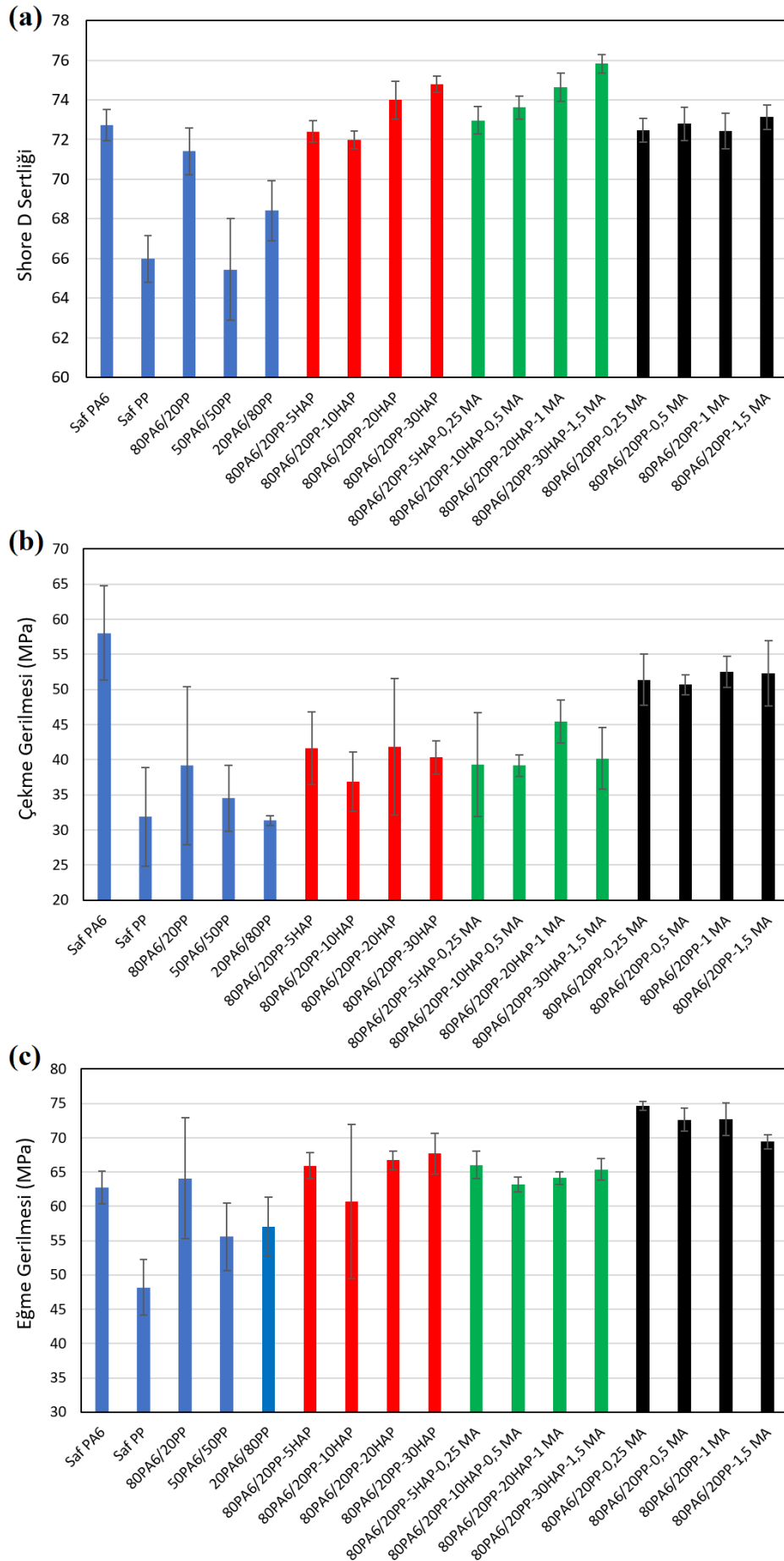
Benzer durum, çekme deneyi sonuçlarında da görülmektedir.

### 3.2 Aşınma Test Sonuçları

“Trapezoidal area model” [33] yaklaşımında izlerin tam dairesel oluşmamasından kaynaklanan hatalar en aza indirilmeye çalışılır (Şekil 5). Bu durum genellikle polimer karışımlarda veya kompozitlerde yapının homojen olmaması ve farklı segmentlerde aşınmaya karşı direncin değişmesinden kaynaklanmaktadır. İki boyutlu olarak aşınma iz genişliklerinin ölçülmesinde şu şekilde bir yaklaşım izlenir: İzlerin optik mikroskop görüntüleri alındıktan sonra iz iç ve dış hatları özel bir yazılım vasıtasıyla belirlenir. Bu uzunluklar ile alanlar yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Değerler formül (3)'te yerine konularak ortalama iz genişliğine ulaşılır. Burada  $b_a$  ortalama iz genişliği (mm),  $A_w$  iç ve dış çizgiler arasında kalan alan ( $mm^2$ ),  $l_o$  ve  $l_i$  sırasıyla aşınma izinin dışında ve içinde kalan çevre çizgileridir (mm).  $b_a$  ortalama iz genişliğinin bulunmasından sonra bu değer denklem (1)'de aşınma hacminin hesaplanması için kullanılır ve ardından aşınma oranı hesabına (formül 2) geçilir. Numunelerin yazılım ile belirlenen aşınma izi geometrik değerleri Tablo 2'de özetlenmektedir.



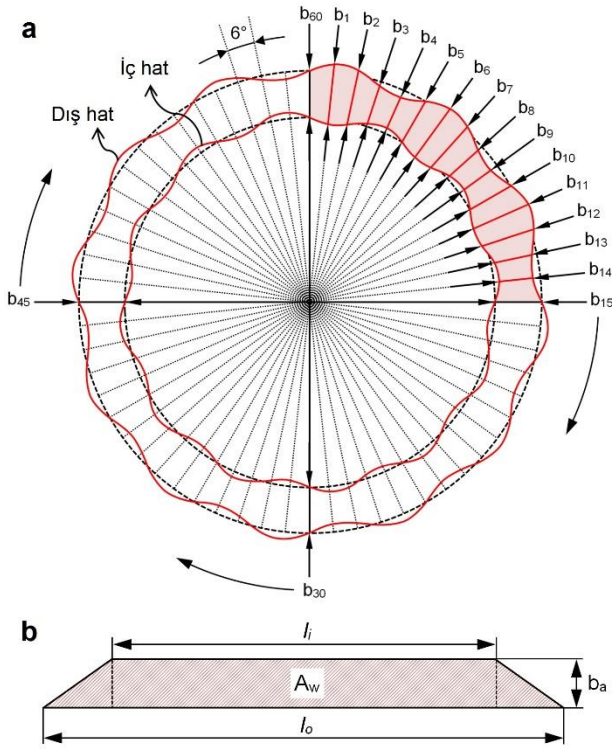
Şekil 3. (a), (b) 80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA, (c), (d) 80PA6/20PP-30HAP numunelerinin sıvı azot ortamında bekletilip kırılması ile elde edilen kırık yüzey SEM fotoğrafları.



Şekil 4. Kompozitlerin ve karışımların (a) Shore D sertliklerinin, (b) çekme gerilimesi değerlerinin, (c) eğme gerilimesi değerlerinin bileşime göre değişimi.

**Tablo 2.** Numunelerin yazılım ile belirlenen aşınma izi geometrik ölçüleri.

Numune Kodu	"Trapezoidal area model" yaklaşımı için değerler				
	Alan 1 (mm <sup>2</sup> )	Alan 2 (mm <sup>2</sup> )	Dış çevre, $l_o$ (mm)	İç çevre, $l_i$ (mm)	$b_a$ (mm)
Saf PA6	120,405	100,346	38,910	35,522	0,539
Saf PP	132,972	108,241	40,890	36,893	0,636
80PA6/20PP	148,059	94,782	43,422	34,660	1,365
50PA6/50PP	129,345	94,901	40,415	34,614	0,918
20PA6/80PP	120,037	102,475	38,851	35,897	0,470
80PA6/20PP-5HAP	124,874	106,941	39,626	36,671	0,470
80PA6/20PP-10HAP	127,616	110,936	40,058	37,349	0,431
80PA6/20PP-20HAP	120,030	104,410	38,850	36,233	0,416
80PA6/20PP-30HAP	129,084	112,578	40,289	37,625	0,424
80PA6/20PP-5HAP-0,25 MA	120,757	105,167	38,967	36,365	0,414
80PA6/20PP-10HAP-0,5 MA	122,142	106,843	39,192	36,653	0,403
80PA6/20PP-20HAP-1 MA	118,574	104,640	38,613	36,275	0,372
80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA	116,602	103,191	38,291	36,022	0,361
80PA6/20PP-0,25 MA	128,082	108,114	40,132	36,871	0,519
80PA6/20PP-0,5 MA	123,235	101,947	39,365	35,803	0,566
80PA6/20PP-1 MA	122,868	102,641	39,306	35,926	0,538
80PA6/20PP-1,5 MA	121,548	101,046	39,095	35,645	0,549

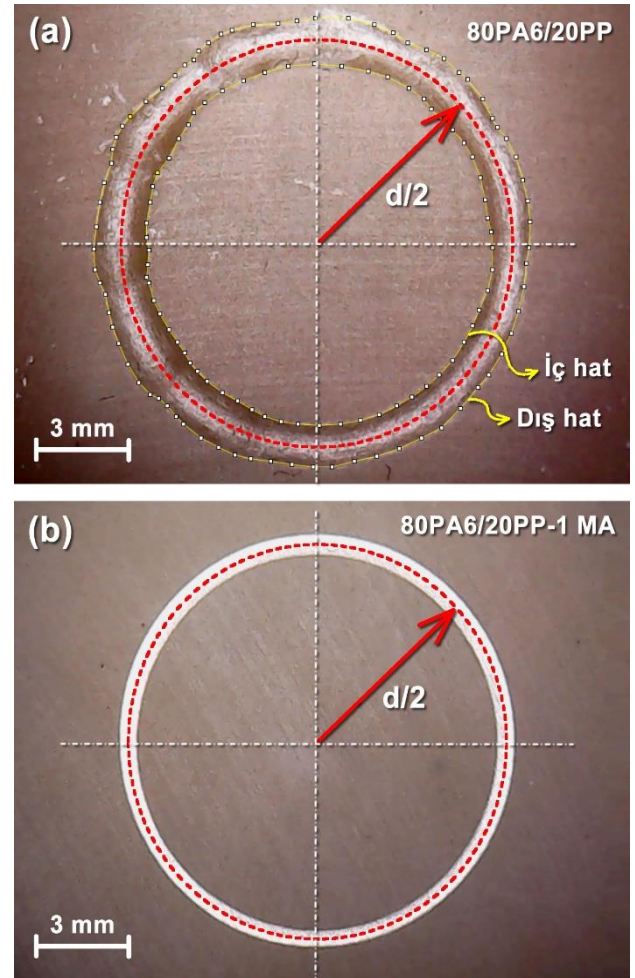


Şekil 5. (a) Homojen genişliğe sahip olmayan bir aşınma izinde veri toplamının zorluğunu gösteren şematik diyagram, (b) alternatif "trapezoidal area model" yaklaşımı için alan hesabı.

$$b_a = 2 \frac{A_w}{(l_o + l_i)} \quad (3)$$

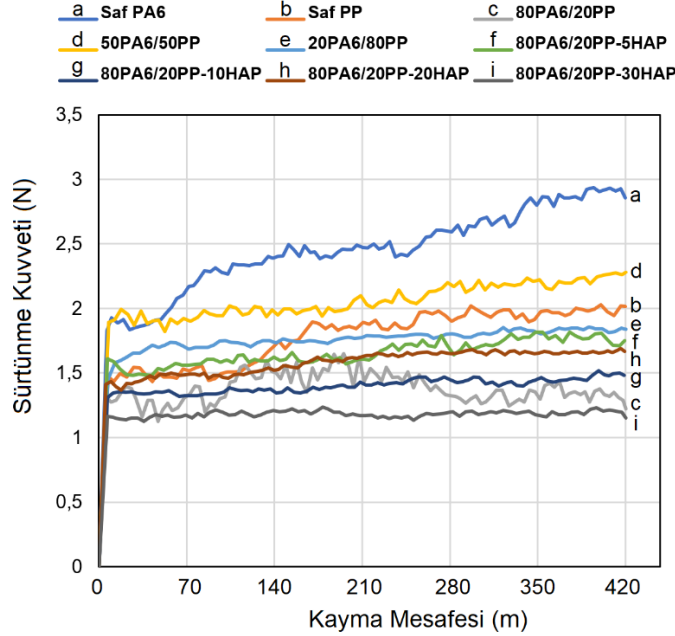
Numunelerin aşınma izi profilleri incelendiğinde yalnızca 80PA6/20PP ve 50PA6/50PP numunelerinin homojen aşınma izi profiline sahip olmadığı görülmüştür. Bu durum, uyumlaştırıcı kullanılmadığında PA6 ve PP'nin karışım veriminin düşük olmasından ve aşınma izinde farklı oranlarda aşınan segmentlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 6a'da, 80PA6/20PP numunesinin aşınma testi sonrası aşınma profili optik mikroskop fotoğrafı görülmektedir. Yazılımla toplam aşınma alanının belirlenmesinde kullanılan iç ve dış hatlar sarı çizgi ile gösterilmiştir. Bahsedilen numuneler

dışındaki diğer numunelerde MAPP kullanımı veya PP oranının yüksek olmasından dolayı nispeten daire şeklinde düzgün aşınma izi profilleri elde edilmiştir (Şekil 6b). Bu numunelerde iç ve dış hatlar tam daire şablonu kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 6. (a) 80PA6/20PP numunesinin homojen genişliğe sahip olmayan aşınma izi optik mikroskop görüntüsü ve yazılımla toplam aşınma alanının belirlenmesinde kullanılan iç ve dış hatlar, (b) 80PA6/20PP-1 MA numunesinin uyumlaştırıcı kullanımı ile genişliği nispeten homojen oluşan aşınma izi optik mikroskop görüntüsü.

Polimer kompozitlerin mekanik özellikleri ile kayma aşınma direnci arasında genellikle yakın bir ilişki vardır. Polimerlerin mukavemeti ve çekme modülü takviye malzemeleri ile artırılırsa, aşınma direncinde de iyileşme beklenmesi doğaldır [35]. Bununla birlikte, doğal malzeme takviyeli kompozitlerin aşınma mekanizmaları ile ilgili literatür oldukça kısıtlıdır. Bu tür takviyeli polimer kompozitlerin aşınma direnci, takviye ile matris arasındaki iyi bir ara yüzey bağı ile gelişirken, takviye ve matris tipine bağlı olarak takviye hacim oranı ile de



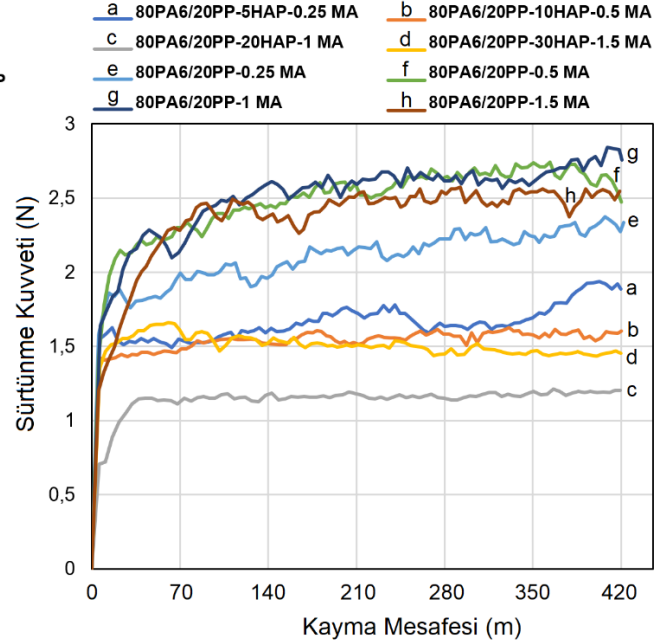
Şekil 7. Kompozitlerin ve karışımların sürtünme kuvvetlerinin kayma mesafesine göre değişimi.

Bununla birlikte 80PA6/20PP numunesinin sürtünme kuvveti eğrisinin nispeten daha dalgalı olduğu dikkat çekmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi uyumlaştırıcı kullanılmayan numunede karışma verimi düşük olduğundan değişken bir profil gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı kullanılmayan numunelerde karışımı oluşturan polimerler farklı segmentler meydana getirmekte ve dalgalı bir aşınma izi profili oluşmaktadır [33]. Bu durum aşınma oranlarında konsantrasyona bağlı lineer bir değişim meydana getirmekle birlikte, sürtünme katsayılarında dalgalı ve değişken bir profil oluşturabilmektedir.

Kompozitlerin ve polimer karışımların sürtünme katsayılarının bileşime göre değişimini veren Şekil 8'deki grafik incelendiğinde sürtünme katsayılarının HAP ve HAP+MAPP içeren kompozitlerde oldukça düşük seviyede seyrettiği anlaşılmaktadır. Ayrıca yüksek konsantrasyondaki kemik küllü içeriğinin sürtünme katsayısını azaltıcı yönde etki gösterdiği görülmektedir. Kemik küllünün içerdiği karbon bileşimi ile yağlayıcı etki göstermesinin, ayrıca MAPP ile birlikte sinerjik etki göstererek yapışma veriminin iyileşmesinin bu artıştaki ana etkenler olduğu düşünülmektedir.

En düşük sürtünme katsayısı olan  $\mu=0,23$ 'e 80PA6/20PP-30HAP ve 80PA6/20PP-20HAP-1 MA kompozitlerinde ulaşılmıştır. Sadece MAPP içeren karışımların ise en yüksek  $\mu$  değerlerini verdiği tespit edilmiştir.

değişebilir. Ayrıca polimerler, viskoelastik yapıları ve kolay malzeme transferine izin vermeleri nedeniyle metallere ve seramiklere farklı aşınma özelliklerine sahiptirler [36]. Polimer kompozitlerde takviye malzemeleri de bu olaya dahil olduğunda kayma koşullarına bağlı olarak aşındırıcı etki görülebilmektedir. Şekil 7'de kompozitlerin ve karışımların sürtünme kuvvetlerinin kayma mesafesine göre değişimi görülmektedir. Sürtünme kuvvetleri belirli bir kayma mesafesi sonunda nispeten stabil kalmaktadır.



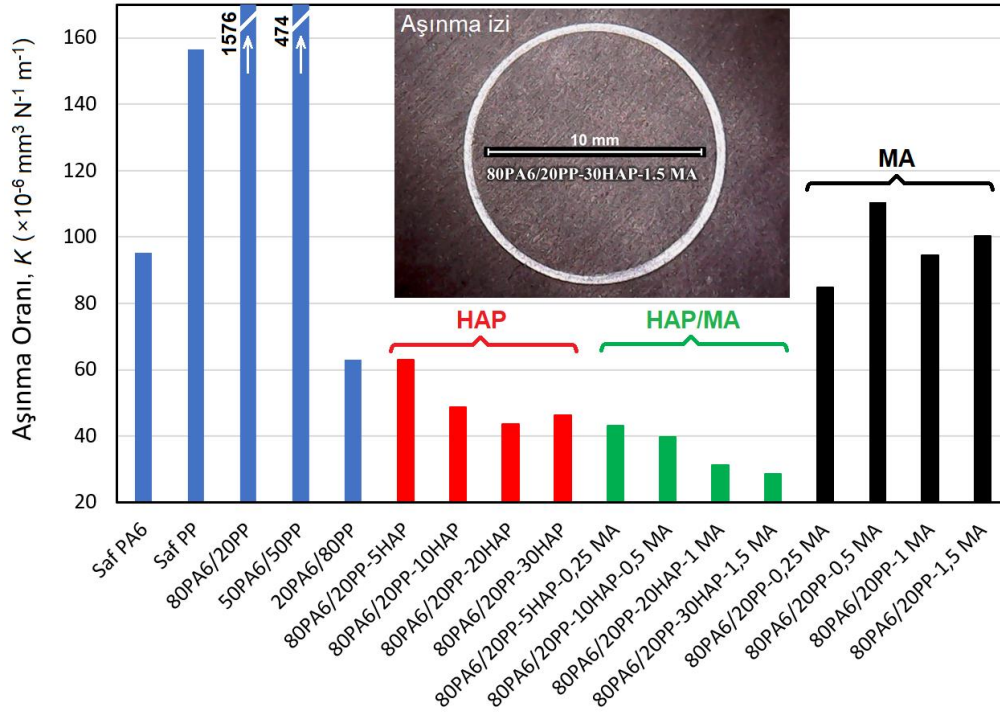
Şekil 8. Kompozitlerin ve karışımların sürtünme katsayılarının bileşime göre değişimi.

Buradan kemik küllünün içerdiği karbon bileşimi ile yağlayıcı etki göstermesi ile birlikte, uyumlaştırıcı kullanımının polimer bileşenlerden ziyade takviye fazı ile matris fazı arasında karışım verimini artırarak sürtünme ve aşınma özellikleri üzerinde daha etkili olduğu

sonucuna ulaşılabilir. Sonuç olarak kemik külü düşük sürtünme ve aşınma oranları üzerinde baskın rol oynamıştır. Daha önce belirtildiği gibi uyumlaştırıcı içermeyen kompozitler için %30 (ağ.) HAP konsantrasyonunda, uyumlaştırıcı içeren kompozitlerde ise %20 (ağ.) HAP konsantrasyonunda optimum sürtünme katsayısına ulaşılmıştır. Takviye fazı içermeyen numunelerde ise sürtünme katsayıları genel olarak saf PA6 ile saf PP arasında olacak şekilde değişmiştir. Kompozitlerin ve karışımların aşınma oranlarının bileşime göre değişim grafiği Şekil 9'da verilmektedir. Saf PA6, saf PP'ye göre daha rijit olmasından dolayı yüksek aşınma direnci göstermiştir. Poliamidin diğer polimerlere nazaran çeliğe karşı kayma aşınma direncinin yüksek olduğu da bilinmektedir [37]. Bununla birlikte uyumlaştırıcı içermeyen karışımlarda PP'nin konsantrasyonunun artmasıyla aşınma oranının azaldığı görülmektedir. 80PA6/20PP numunesi ile en yüksek aşınma oranı olan  $K = 1576 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  değeri elde edilmiştir.

Grafik incelendiğinde HAP ve HAP+MAPP içeren kompozitlerin aşınma oranlarının oldukça düşük, dolayısıyla aşınma dirençlerinin yüksek olduğu

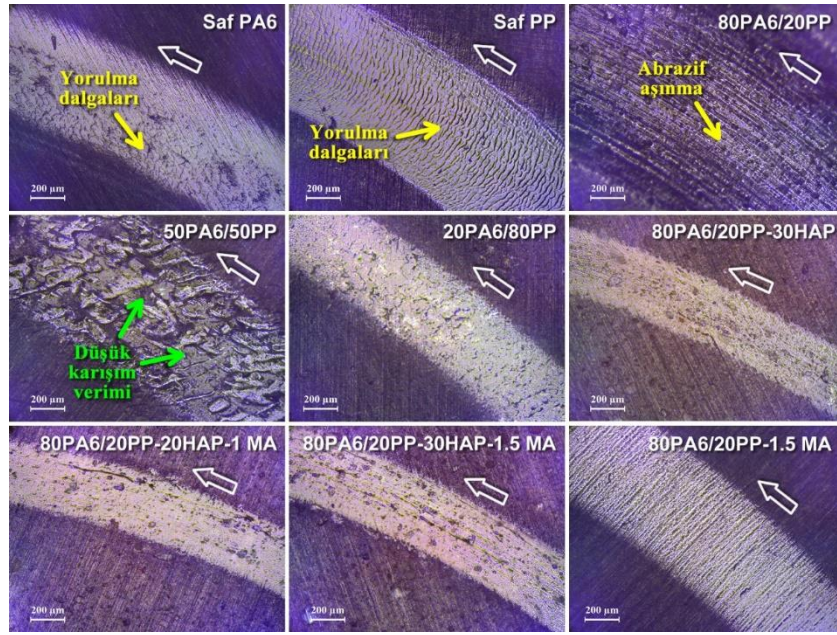
görülmektedir. Kemik külü konsantrasyonuna bağlı olarak da aşınma oranlarının azalması dikkat çekicidir. Uyumlaştırıcı kullanımı ile bu oran daha da azalmış ve 80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA içeren kompozitte en düşük aşınma oranı olan  $K = 28,5 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  değerine ulaşılmıştır. Bu oran 80PA6/20PP numunesi ile elde edilen aşınma oranının yaklaşık %2'si kadardır. Uyumlaştırıcı ve kemik külü içermeyen 80PA6/20PP ile birlikte 50PA6/50PP numunesinde de oldukça yüksek aşınma oranı gözlenmiştir. Sadece MAPP kullanımı ile de aşınma oranlarının ciddi oranlarda iyileştiği grafikten görülebilmektedir. Fakat bu değerler kemik külü kullanılan numunelerin çok gerisinde kalmaktadır. Asuke ve ark. [38] PP/kemik külü kompozitlerde kemik külü konsantrasyonunun artması ile (%0-15) abrazyif aşınma direncinin de iyileştiğini bulmuşlardır. Ayrıca PP/PA6/nano-kil (%7,5) kompozitlerle yapılan bir çalışmada da [13] kayma aşınması şartlarında benzer düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerine nano-kil takviyesi ile ulaşılmıştır. Sonuç olarak, kemik külü ve MAPP sinerjik etkisi ile elde edilen PP/PA6 matrisli kompozitlerde oldukça yüksek aşınma direnci değerlerine ulaşılacağı bu çalışmayla kanıtlanmıştır.



Şekil 9. Kompozitlerin ve karışımların aşınma oranlarının bileşime göre değişimi.

Farklı numunelere ait aşınma izi optik mikroskop görüntüleri Şekil 10'da verilmektedir.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  bilyelerde bilyelerin sahip olduğu yüksek aşınma direncinden dolayı belirgin bir aşınma izine rastlanılmamıştır. Numunelerde genel olarak adeziv ve abrazyif aşınma mekanizmalarının baskın olduğu görülmektedir. Homojen aşınma iz genişliğine sahip olmayan 80PA6/20PP ve 50PA6/50PP numunelerinin sırasıyla abrazyif ve düşük karışım veriminden dolayı segmentli aşınma bölgeleri içerdiği görüntülerden de anlaşılmaktadır. Bu yüzden en yüksek aşınma oranlarına uyumlaştırıcı içermeyen bu numunelerde rastlanmıştır. Kemik külü içeren kompozitlerde ise belirgin bir aşınma mekanizmasının hâkim olmadığı görülmektedir. Polimer kompozitlerde

adeziv ve abrazyif aşınma mekanizmalarından başka "yorulma dalgaları veya kırıkları" adı verilen bir başka aşınma mekanizması da görülebilmektedir. Bu tür bir hasar genellikle aşındırıcı malzeme üzerindeki bir çıkıntının veya pürüzün aşınan malzeme yüzeyi üzerinde tekrarlı çevrimler sonucu oluşturduğu yorulma aşınmasının bir sonucu olarak görülmektedir. Yorulma aşınması ayrıca numunedeki gerilme veya kusur konsantrasyonuna bağlı olarak da artış gösterebilmektedir [39]. Yorulma dalgaları saf PP'de daha yoğun olmak üzere saf PA6'da da rastlanmıştır. HAP, MAPP ve HAP+MAPP içeren kompozitlerde bu belirtiler görülmemektedir.



Şekil 10. Kompozitlerin ve karışımların aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüleri (içi boş oklar bilyenin kayma yönünü göstermektedir).

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, PP/PA6 karışımlarına kemik külü ve uyumlaştırıcı olarak MAPP katkısının kompozitlerin mekanik ve ayrıca tribolojik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Hem HAP hem de HAP+MAPP katkısının kompozitlerin sertliğini arttırdığı bulunmuştur. Bu durum, kemik külünün polimerlere nazaran yüksek rijitliğe sahip olmasına dayandırılmıştır. Çekme ve eğme gerilmelerinde uyumlaştırıcı kullanılan karışımların kemik külü içerenlere göre daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir. Kemik külü içeren numuneler ise (%10 hariç) içermeyenlerden genel olarak yüksek değerlere sahip olup, %20 ve %30 kemik külü katkısında en yüksek mekanik özelliklere ulaşılmıştır. Kemik külü ve uyumlaştırıcının etkisi en çok sürtünme katsayısı ve aşınma direnci özelliklerinde kendini göstermiştir. HAP ve HAP+MAPP içeren kompozitlerde oldukça düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerine ulaşılmıştır. Kemik külü konsantrasyonuna bağlı olarak lineer bir iyileşme gözlenirken, 80PA6/20PP-30HAP-1,5 MA içeren kompozitte en düşük aşınma oranı olan  $K = 28,5 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  değerine ulaşılmıştır. Bu oran 80PA6/20PP numunesi ile elde edilen aşınma oranının yaklaşık %2'si kadardır. Kemik külünün içerdiği karbon bileşimi ile yağlayıcı etki göstermesinin, ayrıca MAPP ile birlikte sinerjik etki göstererek yapışma veriminin iyileşmesinin bu artıştaki ana etkenler olduğu düşünülmektedir. MAPP ve HAP içeren kompozitlerde ayrıca abrazif aşınmanın düşük olduğu da tespit edilmiştir. Yorulma dalgaları da bu kompozitlerde görülmemektedir. Sonuç olarak, PA6/PP/HAP/MA kompozitleri mekanik ve aşınma direnci gerektiren uygulamalar için ümit vadetmekte olup, PA6/PP karışımlarında olduğu gibi özellikle ambalaj ve otomotiv sanayi parçalarında kullanım potansiyeline sahiptir.

#### Teşekkür

Millî Savunma Bakanlığı, 2'nci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü'ne katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] Karimah, A., Ridho, M. R., Munawar, S. S., Adi, D. S., Ismadi, Damayanti, R., Subiyanto, B., Fatriasari, W., & Fudholi, A. (2021). A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: Characteristics, and utilizations. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 2442-2458.
- [2] Pickering, K. L., Aruan Efendy, M. G., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A – Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.
- [3] Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., & Leite, M. (2018). Natural fibre composites and their applications: A review. *Journal of Composites Science*, 2(4), 66.
- [4] Ayrilmis, N., & Ashori, A. (2016). Alternative solutions for reinforcement of thermoplastic composites. *Natural Fiber Composites*, CRC Press, 65-92.
- [5] Shubhra, Q. T. H., Alam, A. K. M. M., & Quaiyyum, M. A. (2011). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(3), 362-391.
- [6] Rocha, J. A., Steffen, T. T., Fontana, L. C., & Becker, D. (2021). Effect of maleic anhydride and oxygen functionalized carbon nanotube on polyamide 6 and polypropylene blend properties. *Polymer Bulletin*, 78, 5623-5639.
- [7] Kang, D. H., Hwang, S. W., Jung, B. N., & Shim, J. K. (2019). Characterization and morphological development of polypropylene/polyamide 6 blends using polyamide 6 powder and single-walled carbon nanotube. *Journal of Composite Materials*, 53(16), 2197-2207.
- [8] Do, V.-T., Nguyen-Tran, H.-D., & Chun, D.-M. (2016). Effect of polypropylene on the mechanical properties and water absorption of carbon-fiber-reinforced-polyamide-6/polypropylene composite. *Composite Structures*, 150, 240-245.

- [9] Jha, N. S., Rathod, P., Wagh, S. M., & Pande, S. A. (2018). Investigation on the mechanical, thermal properties of polyamide 6/polypropylene blends with natural talc as filler. *Proceedings of the International Conference on Multidimensional Role of Basic Science in Advanced Technology - ICMBAT 2018*, 2104, 020019-1-020019-10.
- [10] Chow, W. S., Mohd Ishak, Z. A., Karger-Kocsis, J., Apostolov, A. A., & Ishiaku, U. S. (2003). Compatibilizing effect of maleated polypropylene on the mechanical properties and morphology of injection molded polyamide 6/polypropylene/organoclay nanocomposites. *Polymer*, 44, 7427-7440.
- [11] Gahleitner, M., Kretschmar, B., Pospiech, D., Ingolic, E., Reichelt, N., & Bernreitner, K. (2006). Morphology and mechanical properties of polypropylene/polyamide 6 nanocomposites prepared by a two-step melt-compounding process. *Journal of Applied Polymer Science*, 200, 283-291.
- [12] Chow, W. S., Ishak, Z. A. M., Ishiaku, U. S., Karger-Kocsis, J., & Apostolov, A. A. (2004). The effect of organoclay on the mechanical properties and morphology of injection-molded polyamide 6/polypropylene nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 175-189.
- [13] Mimaroglu, A., Unal, H., & Yetgin, S. H. (2018). Tribological properties of nanoclay reinforced polyamide-6/polypropylene blend. *Macromolecular Symposia*, 379, 1700022.
- [14] Deshpande, S., & Rangaswamy, T. (2016). Sliding wear characteristics of bone powder filled hybrid fiber reinforced epoxy composites. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(1), 68-78.
- [15] Omah, A. D., Okorie, B. A., Omah, E. C., Ezema, I. C., Aigbodion, V. S., & Offor, P. O. (2017). Measurement of dielectric properties of polymer matrix composites developed from cow bone powder. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, 325-335.
- [16] Bhuiya, A. W., Hu, M., Sankar, K., Keane, P. F., Ribero, D., & Kriven, W. M. (2021). Bone ash reinforced geopolymer composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 104, 2767-2779.
- [17] Younesi, M., & Bahrololoom, M. E. (2010). Effect of molecular weight, particle size and ringer's solution on mechanical properties of surface-treated polypropylene-hydroxyapatite biocomposites. *Journal of Composite Materials*, 44(24), 2785-2799.
- [18] Asume, F., Aigbodion, V. S., Abdulwahab, M., Fayomi, O. S. I., Popoola, A. P. I., Nwoyi, C. I., & Garba, B. (2012). Effects of bone particle on the properties and microstructure of polypropylene/bone ash particulate composites. *Results in Physics*, 2, 135-141.
- [19] Vignesh, K., Ramasivam, G., Natarajan, U., & Srinivasan, C. (2016). Optimization of process parameters to enhance the mechanical properties of bone powder and coir fiber reinforced polyester composites by Taguchi method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(2), 1224-1231.
- [20] Oladele, I. O. (2013). Development of bone ash and bone particulate reinforced polyester composites for biomedical applications. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 22, 15-26.
- [21] Oladele, I. O., Daramola, O. O., & Adewole, A. T. (2014). Comparative study of the reinforcement efficiency of cow bone and cow bone ash in polyester matrix composites for biomedical applications. *Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering*, 7(4), 27-34.
- [22] Adewole, T., & Oladele, I. (2015). Effect of cow bone ash particle size distribution on the mechanical properties of cow bone ash-reinforced polyester composites. *Chemistry and Materials Research*, 7(3), 40-46.
- [23] Oladele, I. O., & Isola, B. A. (2016). Development of bone particulate reinforced epoxy composite for biomedical application. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 1(1), 35-40.
- [24] Uddin, M.-J., Kodali, D., & Rangari, V. K. (2021). Effect of bone ash fillers on mechanical and thermal properties of biobased epoxy nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 138:e50046, 1-13.
- [25] Krithiga, G., & Sastry, T. P. (2011). Preparation and characterization of a novel bone graft composite containing bone ash and egg shell powder. *Bulletin of Materials Science*, 34(1), 177-181.
- [26] Igwe, I. O., & Onuegbu, G. C. (2012). Studies on properties of egg shell and fish bone powder filled polypropylene. *American Journal of Polymer Science*, 2(4), 56-61.
- [27] Roeder, J., Oliveira, R. V. B., Gonçalves, M. C., Soldi, V., & Pires, A. T. N. (2002). Polypropylene/polyamide-6 blends: Influence of compatibilizing agent on interface domains. *Polymer Testing*, 21, 815-821.
- [28] Yoon, B. S., Joang, J. Y., Suh, M. H., Lee, Y. M., & Lee, S. H. (1997). Mechanical properties of polypropylene/polyamide 6 blends: Effect of manufacturing processes and compatibilization. *Polymer Composites*, 18(6), 757-764.
- [29] Zeng, N., Bai, S. L., G'Sell, C., Hiver, J.-M., & Mai, Y. W. (2002). Study on the microstructures and mechanical behaviour of compatibilized polypropylene/polyamide-6 blends. *Polymer International*, 51, 1439-1447.
- [30] Zhou, X., Zhang, P., Jiang, X., & Rao, G. (2009). Influence of maleic anhydride grafted polypropylene on the miscibility of polypropylene/polyamide-6 blends using ATR-FTIR mapping. *Vibrational Spectroscopy*, 49, 17-21.
- [31] Holsti-Miettinen, R., Seppälä, J., & Ikkala, O. T. (1992). Effects of compatibilizers on the properties of polyamide/polypropylene blends. *Polymer Engineering and Science*, 32(13), 868-877.
- [32] El-Sabbagh, A. (2014). Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour. *Composites Part B – Engineering*, 57, 126-135.
- [33] Savaş, S., & Al-Obaidi, A. Y. (2018). Influence of PP-g-MA compatibilization on the mechanical and wear properties of polypropylene/thermoplastic polyurethane blends. *Tribology Transactions*, 61(4), 754-764.
- [34] Zhou, Z., Liu, X., Liu, L., & Yi, Q. (2009). Fabrication and properties of composite biomaterials composed of poly(L-lactide) and bovine bone. *Designed Monomers and Polymers*, 12, 57-67.
- [35] Morioka, Y., Tsuchiya, Y., & Shioya, M. (2015). Correlations between the abrasive wear, fatigue, and tensile properties of filler-dispersed polyamide 6. *Wear*, 338-339, 297-306.
- [36] Österle, W., Dmitriev, A. I., Wetzel, B., Zhang, G., Häusler, I., & Jim, B. C. (2016). The role of carbon fibers and silica nanoparticles on friction and wear reduction of an advanced polymer matrix composite. *Materials & Design*, 93, 474-484.
- [37] Ravi Kumar, B. N., Suresha, B., & Venkataramareddy, M. (2009). Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites. *Materials and Design*, 30, 3852-3858.
- [38] Asume, F., Abdulwahab, M., Aigbodion, V. S., Fayomi, O. S. I., & Aponbiede, O. (2014). Effect of load on the wear behaviour of polypropylene/carbonized bone ash particulate composite. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1), 67-70.
- [39] Myshkin, N. K., Petrokovets, M. I., & Kovalev, A. V. (2005). Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer. *Tribology International*, 38, 910-921.



## PARENTS' VIEW ON ACCESSIBLE SCHOOL DESIGN FOR INDIVIDUALS WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER (ASD)

Merve Kavaz<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı, Ankara, Türkiye

### Abstract

*Original scientific paper*

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a developmental difference that is common today and it affects individuals' behavior and their communication. It does not only affect individuals with ASD, but also it affects their immediate surrounding such as their families and teachers. Education has great importance in order to cope with the effects of ASD that continues throughout their lives. For this reason, the suitability of educational places for individuals with ASD is significant, as it may affect their education positively or negatively. The reason to choose ASD and educational environment as a research topic is because of the significant gap in the discipline of architecture about this topic. In this study, families who have children with ASD in the 5-11 age group and who are constant observer, are evaluated school designs according to various spatial criteria. Evaluation of the suitability of schools that provide basic education to individuals with ASD, may indicate new opinion for school designs in future. Furthermore, this research is a step for filling the important gap related to ASD and architecture. This research is done according to quantitative research methods. Surveys are gained by case study model of research and observation is done by field research model. According to survey answers, some deficiencies of place were noticed as classroom safety is not fully provided, spatial sequencing is inadequate, not enough escape space and the sensory differences of individuals with ASD were ignored. By rectification of these deficiencies, more effective and suitable education for individual with ASD can be provided.

**Keywords:** Autism, autism and school, school design, place.

## OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU (OSB) OLAN BİREYLER İÇİN ERİŞİLEBİLİR OKUL TASARIMINDA AİLE GÖRÜŞÜ

### Özet

*Orijinal bilimsel makale*

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB) günümüzde sıklıkla görülen, davranışları, iletişimi etkileyen gelişimsel bir farklılıktır. OSB den sadece birey değil aynı zamanda aileler, öğretmenler gibi OSB li bireylerin yakın çevresi de etkilenmektedir. Yaşam boyu devam eden OSB nin etkileriyle baş etmek için eğitim büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, OSB li bireylerin eğitim mekanlarının kendilerine uygunluğu eğitimlerini olumlu ya da olumsuz olarak etkileyebildiğinden dolayı büyük önem taşımaktadır. OSB ve eğitim mekanlarının araştırma konusu olarak seçilmesinin nedeni bu konu ile ilgili mimarlık disiplininde önemli bir boşluğun bulunmasıdır. Bu çalışmada, 5-11 yaş grubundaki OSB li bireylerin aileleri, OSB li bireyleri sürekli gözlemleyebildiği için okul tasarımlarını çeşitli mekan ölçütlerine göre değerlendirmiştir. Temel seviye eğitimin alındığı okulların OSB li bireylere uygunluğunun değerlendirmesi, ileriki okul tasarımları için yeni bir görüş belirtir. Ayrıca, OSB ve mimarlık ile ilgili önemli boşluğun doldurulabilmesi için bu çalışmada bir adımdır. Araştırma, nicel araştırma yöntemine göre yapılmıştır. Anketler örnek olay tarama modeliyle elde edilirken, gözlem ise alan araştırması modeliyle temellendirilmiştir. Anket yanıtlarına göre sınıf güvenliğinin tam olarak sağlanamaması, mekan diziliminin yetersizliği, bireylerin rahatlamasını sağlayacak kaçış alanlarının bulunmaması, duyuşal farklılıkları olan OSB li bireylerin göz ardı edilmesi gibi mekan eksiklikleri fark edilmiştir. Bu eksiklerin ileriki okul tasarımlarında giderilmesiyle, daha etkin bir eğitim sağlanarak, OSB li bireylere uygun okullar tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otizm, otizm ve okul, okul tasarımı, mekan.

### 1 Giriş

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB) erken çocukluk döneminde başlayan ve bireyi yaşam boyu etkileyen gelişimsel bir farklılıktır. OSB; iletişimi, sosyal ilişkileri,

bilişsel gelişimi etkilemektedir. OSB li bireyler göz kontağı kurmakta güçlük, sohbeti başlatmak ve sürdürmekte zorlanmalar, kalıplaşmış tekrar eden konuşma ve davranışlar gibi çeşitli davranışları sergileyebilir. OSB; kısıtlı, düzensiz, tekrar eden

\* Corresponding author.

E-mail address: mervekavaz1@gmail.com (M. Kavaz)

Received 16 August 2021; Received in revised form 18 November 2021; Accepted 21 February 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.983686>



davranışların ve iletişim ile toplumsal becerilerdeki yetersizliklerin görüldüğü davranış bozukluğudur [1].

Yaygın gelişimsel bozukluk olarak tanımlanan OSB nin tanımlanabilmesi için sosyal iletişimde belirgin ve sürekli bozulmanın bulunması, sınırlı ve stereotipik davranışların veya yatkınlığın olduğunun görülmesi gerekmektedir [2]. Bu nedenle, OSB nin ne olduğu ve bireyi nasıl etkilediği anlaşılmalıdır. OSB nin tam olarak anlaşılmadığı durumlarda, tasarlanan ürün, bina ve kentsel çevre OSB li bireyin ihtiyaçlarını yeterli olarak karşılayamaz. Bu durumda, birey yaşadığı farklılıkların güçlükleriyle mücadele ederken, diğer yandan da yapı çevrenin zorlayıcı özellikleriyle de mücadele etmek durumunda kalır. Bu nedenle, mekan ve çevre OSB li bireye göre tasarlanmalıdır. Aslında, mekan tasarımı belirli kişiyi ve grubu hedef almadan herkes için tasarlanmalıdır. Mekanın ve çevrenin herkese göre tasarlanması, kapsayıcı tasarımın da esasıdır. Kapsayıcı tasarımla elde edilen tasarımlar, sürdürülebilir bir yaşamında elde edilmesine aracılık eder. OSB ve mimarlık ile ilgili var olan çalışmalar, tasarlanacak yapılar için kılavuzdur.

OSB li bireylerin sıklıkla zaman geçirdiği eğitim mekanları gibi günlük yaşamın parçası olan mekanlar, bireylerin gelişimlerini destekleyecek olan eğitimlerinde büyük önem taşır. Okulların OSB li bireylere göre tasarlanmaması, eğitimlerini destekleyecek nitelikte olmaması, sürdürülemeyen bir eğitime sebep olabilir. Dolayısıyla, bireylerin temel hakkı olan eğitim hakkı olumsuz etkilebilir. Erken teşhis konulabilen OSB li bireye verilecek en büyük destek eğitimidir. Tohum Otizm Vakfı tarafından yazılan *Ötizm Spektrum Bozukluğu El Kitabı* nda çocukluk çağından erken dönemdeki (3 yaştan önce, en fazla 5 yaştan önce) eğitimin kesintisiz, yoğun ve bire-bir olarak yürütülmesi, bireyin gelişimi için büyük önem taşıdığı belirtilmiştir [3]. Eğitimde özel müfredat uygulanırken, bireylerin sosyal etkileşim becerilerini ve dikkatlerini artırıcı içerikte eğitimler verilir. OSB li bireylerin, eğitimleri belirli yetileri kazandıkça gelişime daha açık hale gelir. Erken çocukluk dönemindeki eğitimi takiben ilköğretim döneminde, iletişim ve günlük yaşam becerilerini, motor becerilerini geliştirebilecek eğitim alınır [4]. Eğitim, aileler ve öğretmen işbirliği ile gerçekleşen yaşam boyu öğrenme sürecidir. OSB li bireylerin tüm süreçlerini gözlemleyen ebeveynlerin görüşleri, mekan tasarımı yapma aşamasında mimarlar için yol göstericidir. Bu nedenle, eğitim mekanları tasarlanmadan önce OSB li bireylerin ailelerinin görüşünün alınması önemlidir.

## 2 OSB ve Mimarlık

OSB ve mimarlık ile ilgili önemli çalışmalardan biri Magda Mostafa'nın yaptığı çalışmadır. Mostafa'nın OSB li bireylere yönelik geliştirdiği tasarım kriterleri ASPECTSS olarak tanımlanmıştır. ASPECTSS in açılımı Akustik (Acoustics), Mekansal Dizilim (Spatial Sequencing), Kaçış Alanı (Escape Space), Bölümlenme (Compartmentalization), Geçiş Alanı (Transition Space), Duyumsal Bölgeleme (Sensory Zoning), Güvenlik'tir (Safety). Bu kriterler, OSB li bireye yapılan tasarımda dikkat edilen unsurların formülünü tarif eder niteliktedir. ASPECTSS, OSB ile ilgili dünyada ilk deneysel tasarım

yöntemine dayalı kriterler bütünüdür. Bu araştırma, özel ihtiyacı olan çocukların eğitimine yönelik UNESCO/Emir of Kuwait ödülünü almıştır. ASPECTSS kriterleri, Architecture for autism: Built environment performance in accordance to the autism ASPECTSS™ design index isimli makalede, Magda Mostafa tarafından aşağıda belirtildiği üzere tanımlanmıştır [5]:

**Akustik (Acoustics):** ASPECTSS kriterler bütünü oluşturulan 'Akustik' kriteri OSB li bireyleri mekanda çok etkileyen unsurdur. Akustik konfor, iç ve dış mekan kaynaklı gürültüyü azaltmaya yönelik; boşluklu duvarların, ses yutulmasını sağlayan malzemelerin, yankıyı azaltan sistemlerin kullanılmasıyla elde edilir.

**Mekansal Dizilim (Spatial Sequencing):** Mekan kullanıcısının günlük aktivitesine göre, mekanların organizasyonudur. Bir mekandan diğer mekana geçişin yumuşaklığı, duyumsal olarak rahatsız edici olmaması esasına dayalıdır.

**Kaçış Alanı (Escape Space):** Bu kriter, alan olarak küçük ve tanımlı, bireyleri duyumsal olarak nötrleyen çevrelerin sağlanmasıyla ilgilidir. Kaçış alanı, mekanda küçük bir oyun alanı ya da tek başına kalınacak bir oturma alanı olabilir. Kaçış alanlarının amacı, OSB li birey duyumsal anlamda güçlük yaşadığında, herhangi kaygı veya rahatsızlık durumunda sığındığı duyumsal bir limandır. Ayrıca bu mekanlarda, duyumsal özellikleri yeniden düzenleyecek çeşitli aletler veya yardımcı elemanlar da kullanılabilir.

**Bölümlenme (Compartmentalization):** Bu kriterin amacı, mekanların tekil fonksiyonu içerdiği bölümlerdir. Bu bölümlerde, tek aktivite ve az sayıda kullanıcı bulunur. Bu kriter, evrensel açık plan prensibine karşıttır. Bu yöntemle, OSB li bireyin duyumsal ve sosyal yükünün azaltılması hedeflenir. Bu bölümler, bölücü duvarların, değişken seviyelerde mobilyaların konumlanması ve minimal renk, doku ve bitiş malzemelerinin kullanımıyla tanımlanır.

**Geçiş Alanı (Transition Space):** Geçiş alanlarının tasarımı, mekansal dizilim ve duyumsal bölgeleme kriterleri ile iş birliği içerisinde yapılır. Geçiş alanlarıyla, duyumsallığın bir seviyeden diğerine ayarlanması sağlanır. Böylece, ani duyumsal geçiş engellenmiş olur. Diğer bir deyişle, geçiş alanları bir fonksiyondan diğer bir fonksiyona geçiş için hazırlayıcı mekanlardır.

**Duyumsal Bölgeleme (Sensory Zoning):** Mekanların fonksiyonlarına göre gruplanması, benzer fonksiyonları ve duyumsal özellikleri taşıyan mekanların bir arada organize edilmesiyle duyumsal bölgeleme elde edilir. Örneğin, yüksek sesli alanların yakın olarak gruplandırılması ve sessiz alanların bir arada gruplandırılması gibi.

**Güvenlik (Safety):** OSB li çocukların, mekansal organizasyona, derinliğe karşı değişmiş algıları bulunmaktadır. Ayrıca, duyumsal uyarıcılara ihtiyaç duyabilirler. Bu uyarıcılar, onların yaranmasına neden olabilen zararlı etkenleri ortadan kaldırarak, sallanma, su tüketimi, su ile oynama gibi diğer birçok aktiviteyi gerçekleştirirken güvenliği sağlamak üzere kullanılır. Güvenlik tedbirleri; bina sistemleri, malzeme seçimi, engelleyici bariyerlerin, mobilya ve donatıların kullanılması ile alınır. Güvenlik tedbirlerinin alınmasıyla, çocuklar için her zaman erişilebilir ve güvenli mekanlar sağlanır.

OSB ve Mimarlık ile ilgili sunulan ilk kriterler bütünü ASPECTSS'in yanı sıra, Dr. Shireen Kanakri'nin de araştırması sonucu birçok önemli sonuç elde edilmiştir. Shireen Kanakri, OSB ve akustik ilişkisini inceleyerek çeşitli çalışmalarda edindiği bilgileri paylaşmıştır. 2017 yılında yayınlanan Spaces Matters: Classroom Acoustics and Repetitive Behaviors in Preschool Children with Autism isimli makalede akustik ve OSB li bireylerin tekrarlayan davranışları ilişkisi araştırılmıştır.

Dr. Shireen Kanakri, dört farklı okulda davranışlar üzerine gözlemlerde bulunarak araştırmayı sürdürmüştür. Bu okullar, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü'nün (ANSI) belirlediği 35 desibel (dB) ve üzerindeki ses seviyelerinin gürültülü, 35 dB'den düşük seviyedeki seslerin sessiz olarak tanımlanmasına göre, incelenen sınıflar sessiz ve gürültülü olarak tanımlanmasıyla ayrılmıştır. 12 saatlik pilot çalışmayla devam eden araştırmada bazı davranış modelleri belirlenmiştir [6]:

- Tekrar eden hareketler: Ellerin, bacakların tekrar eden hareketleri, dönme, sallanmak gibi hareketlerdir.
- Tekrar eden konuşmalar: Bu davranış tekrar eden ve devamlı herhangi bir konuşmayla ilgilidir. Belirli kelimeler tekrar edilir.
- Kulakları kapatmak: Tek kulağın veya iki kulağın kapatılmasıdır. Bu davranış, kaygıyla ilişkilendirilebilir. Bireyin, hoşlanmadığı sesleri duyunca veya korktuğunda gerçekleştirdiği bir eylemdir.
- Vurmak: Kendilerini veya herhangi objeyi bir yere vurmaya veya fırlatmaya tepkisidir.
- Yüksek sesler çıkartmak: Anlaşılır ve anlaşılmayan kelimelerle yüksek sesler çıkartmaktır.
- Göz kırpmak: Bir aktiviteyle meşgul olmadığında veya aktiviteye dahil olmadığında gerçekleştirdiği davranıştır.
- Şikayet etmek: Öğretmen ve ebeveynler tarafından tanımlanan aktivitenin, OSB li birey tarafından yapılmak istenmediğinde gösterdikleri tepkidir.

Yukarıda gözlemlenen davranışlar, ses seviyeleriyle ilişkilendirilmiştir. Genel olarak, şikayet etmek, tekrarlayıcı konuşmalar, yüksek sesler çıkartmak gibi davranışlar, 70 dB ve üzeri ses seviyelerinin bulunduğu sınıflarda görülmüştür. Bu araştırma, ses seviyeleri ve tekrarlayıcı davranışlar arasındaki ilişkiyi açık şekilde belirtmektedir. Gürültülü ve ses seviyesinin yüksek olduğu yerlerde, tekrarlayıcı davranışların arttığı görülmektedir. Özellikle, sınıf gibi eğitim mekanlarında akustik tasarım büyük önem taşımaktadır. Araştırma sonucunda, çevresel uyarıların azaltılması ile, dikkat süreçleri ve sinir sistemiyle alakalı özellikler yeniden işlevlenmiş ve OSB li bireyler daha az tekrarlayıcı davranışlarda bulunmuşlardır [6].

### 3 OSB'li Bireylerin Eğitim Mekanlarının İç Mekan Tasarımı

Eğitim mekanlarının tasarımı tüm bireyler için öğrenimi destekleyici şekilde olmalıdır. Fakat, özel bireyleri kapsayan OSB li öğrenciler için eğitim

mekanları, ancak onların özelliklerini ve yaşamlarını anlayarak tasarlanabilir. Tasarım aşlında bireylerin yaşam döngüsünü gözlemleyebilmek, o döngüyü tanıyıp beklenen yaşamın gerçekleşmesine zemin hazırlayabilmektir. Bu anlamda, özel gereksinimi olan OSB gibi farklılıklara sahip olan kişilere tasarım yapılırken empati kurarak tasarım yapabilmek, esas olmalıdır. OSB li bireylerin eğitim mekanlarının tasarlanması, mimarlar ve araştırmacılar tarafından sınıf ölçeğinden okul ölçeğine kadar işlenmiş ve OSB li bireye uygun eğitim mekanlarının nasıl olması gerektiğiyle ilgili bazı sonuçlar elde edilmiştir.

*Okulda Özel Eğitim İhtiyacı ve Engeli olan Bireyler için Tasarım (Designing for People with Special Educational Needs and Disabilities in Schools)* isimli makalede, bazı tasarım özellikleri paylaşılmıştır [7]:

- Eğitim mekanlarında, binaların iç mekan planlarının anlaşılır olması gerekirken düzeni, netliği ve yön bulmada işaretlemeyi iyi bir şekilde yansıtması gerekir
- Bireyler mekanlara farklı hassasiyet gösterebilir: açık veya büyük mekanlarda korku, küçük ve kapalı mekanlardan kaçınma gibi davranışlar sergileyebilir. Bu nedenle, farklı ölçülerde (büyük ve küçük) mekanlar sağlanmalıdır.
- Düşük uyaran özelliği taşıyan mekan çevrelerinin tasarlanması, endişeyi ve stresi azaltır
- Orantılı, sade, yalın duvarlarla ve yumuşak renklerle tasarlanan mekanlar, öğretmenlerin belirli uyarılarına tanıtımlarını sağlar (duvarda bir sunum yapabilmek, bilgi vermek).
- Sınıfların, farklı öğretim metodlarına uygun olması gerekir. Sınıflar, bireysel veya grup çalışması yapılmasına uygun olarak tasarlanmalıdır.
- Tasarım yapılırken, dolaylı (endirekt) aydınlatma, gürültüden kaçınma ve diğer dikkat dağıtıcı unsurlar (dominant manzara, perde kordon ip v.s) göz önünde bulundurulmalıdır.
- Mekanlarda, dayanıklı ve sağlam malzemeler kullanılmalıdır. Kapılarda, pencerelerde, cam malzemesinin kullanımında, çeşitli tesisat malzemelerin (boruların) kullanımında malzemeye güvenlik açısından dikkat edilmelidir.
- Güvenlik ve özgürlük arasındaki denge, günlük nesnelere, özel ekipmanlar ve malzemelerle elde edilebilir.
- Basit ve azalan detaylar, değişkenler takıntılı davranış olasılığını azaltabilir.

Bu konuda dikkat çeken bir başka çalışma ise, araştırmacı ve mimar Ian Scott'un yaptığı çalışmadır. Bu çalışma, mimarların araştırmalarının OSB li bireylerin mekanla ilgili yaşadığı zorluklara nasıl cevap verdiğini gösterir. Araştırma için dört farklı okul belirlenmiştir. Bu okullar ziyaret edilerek, literatürdeki bilgilerin okulda işlenip işlenmediği gözlemlenmiştir. Seçilen okullar: New Struan, Scotland Netley Primary School ASD Unit, London, Whitton School ASD Unit, Richmond LA, Mossbrook Special Primary School, Sheffield. Araştırmaya göre, bazı okullarda sınıflar 6 kişiye kadar

öğrenci alınıp, onlara bireysel çalışma imkanı sunar. Bireysel alanlar, cam panellerle ayrılarak görsel bütünlük sağlanmıştır [8]. Ziyaret edilen diğer okulda ise, öğrencilerin sınıflara geçişi özel bir avludan yapılmaktadır. Yetişkinlerin geçişi ise sokak kısmından yapılır. Sınıflarda her öğrenciye daha fazla alan tanımlanmıştır. Diğer bir okulda ise, sınıfların yolunu bulabilmek için koridor panolarında çeşitli görsel ipuçları verilmiştir ve sınıflarda esneklik için bölücü duvarlar kullanılmıştır [8].

Bahsedilen bu uygulamaların yanı sıra, belirli odak noktası oluşturmak bireyleri huzurlu hissettirir. Örneğin, girişte danışma alanıyla bir odak noktasının oluşturulması öğrenciler için güne başlamadan bir geçiş alanı olurken, öğrencileri okula bırakan aileler için ise çalışanlarla konuşmak için bir alan olmuş olur. Binaya girişlerde hangi alanla karşılaşıldığı, iç mekan malzemesinin ve renginin ne olduğu aslında bireylerin mekanda ne hissedeceğine dair ilk izlenimi oluşturur. Bu etkinin OSB li bireylerde olumlu olabilmesi için, dış mekanda yapılan uygulamaların bireyleri davet eder yapıda tasarlanması olumlu olabilir. Örneğin, dış mekanda ahşap, boyalı kompozit panel kullanımıyla girişlerin öğrenciler tarafından daha olumlu karşılandığı belirtilmiştir [9].

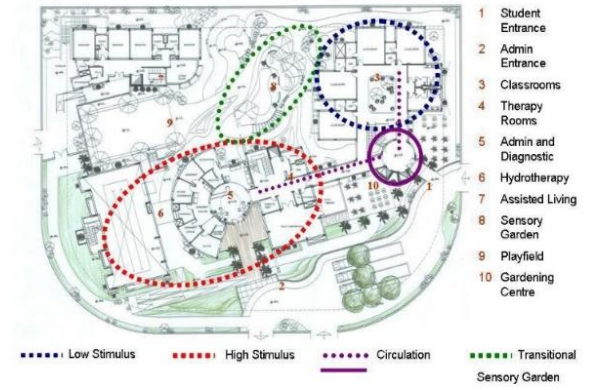
Mekanların dışarıdan içeriye doğru yönlendirilmesinin nasıl kurgulandığı, mekan kullanıcılarını zihinsel olarak etkilemektedir. Farklı tercihlere yönelik sınıf düzenlemeleri, akademik başarıyı destekler [10]. Daha önce belirtildiği gibi, mekan içinde kolayca yönlenmek için, iç mekanda bazı düzenlemeler yapılabilir. Örneğin, belirli sınıflarda belirli rengin, dokunun veya desenin sınıfın ayırt edilebilmesi için kullanılması bir yöntem olabilir.

OSB li bireyler, zaman zaman endişeli ve sıkıntılı olabilirler. Bu nedenle, sessiz bir alan (rahatlama alanı) ararlar. Özellikle, ders esnasında yaşanabilecek rahatlama isteği için, sınıflarda bireysel alanların önerilmesi, bireylerin eğitimine devam edebilmesi için motive edici olabilir. Rahatlama alanı önerisi, rahat bir sandalyenin sınıfın belirli kısmına, öğrencilere o alanın özel bir sebeple tasarlandığı belirtilerek konulması, olabilir [11]. Böylelikle bu alanlar, öğrenciler için diğer kişilerden uzaklaştığı güvenli alanlar olarak tanımlanır. OSB li bireylerin, endişesini ve kaçınma davranışını azaltmaya yardımcı olacak başka öneri ise, mekan kurgusunun mekan aktivitesine göre yapılmasıdır. Örneğin, iç mekan aktivitelerinin bölgelere göre konumlanması ve gruplanması, Dr. Magda Mostafa'nın Kahire'de özel ihtiyaçları olan çocukların becerilerini geliştirmek için tasarladığı okulda görülmektedir. Bu okulda, mekan kurgusu fonksiyonların niteliğine göre yapılmıştır. Yüksek uyarıcı bölgede, terapi odalarının bulunması, düşük uyarıcı bölgede sınıfların konumlandırılması duyulara göre bölgelendirme örneğidir. Ayrıca, yüksek ve düşük uyarıcı bölgelerin birbirine geçiş bölümüyle bağlandığını ve bu alanda bahçenin olduğunu görmekteyiz (Şekil 1). Bu sayede, OSB li bireyler mekanda duymal anlamda güçlüğü az seviyede yaşar ve etkin bir eğitim sağlanabilir.

OSB li bireyler için eğitim mekanlarının tasarımında, tasarlanan yapının fiziksel ve psikolojik etkisinin incelenmesi önemlidir. Fiziksel etki; iç ve dış mekan fonksiyonlarının planlanması, iç ve dış mekânın

bağlantısı, geçiş mekânları, iç hava kalitesi, ısı, akustik, malzeme renk, aydınlatma gibi pek çok alt konuyu içerir. Mekanın psikolojik yönü ise, mekanın fiziksel özelliklerinden beslenerek bireyi etkileyebilmesidir. Mekanın tasarım dili (çok renklilik, karmaşıklık, sadelik), OSB li bireye uygun renk ve malzeme kullanılması, duymal yükün azaltılması (ses yalıtımı, mekan kurgusunun doğru yapılması) gibi özellikleri kapsar.

### Sensory Zoning and Circulation Schemes



Şekil 1. Magda Mostafa, duymal bölgeleme dolaşım şeması [12].

## 4 Yöntem

Bu çalışmada, nicel araştırma yönteminden yararlanılmıştır. Araştırma konusu net, kesin bilgilerin ve cevapların araştırılmasına dayalıdır. Bu nedenle, ilgili araştırma araçları genel olarak nicel verilerin ölçülmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Araştırma aracı ankettir.

Anket soruları hazırlanırken, ilk Otizm ve Mimarlık kriterler bütünü olan ASPECTSS kriterlerinden yararlanılmıştır. Anket, OSB ve eğitim mekânlarının iç mimarisi yönünden değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. OSB'nin birey üzerindeki etkisi, bireyin davranışlarında ve ruh halinde zaman zaman oluşabilecek değişikliklerden dolayı, anket OSB li bireylere uygulanmamıştır. Ayrıca, anket uygulayıcısı psikoloji disipliniyle ilgili olsa da, psikoloji disipliniinde yetkin değildir. Bu nedenle, anket sorularının OSB li bireyi herhangi bir şekilde etkilememesi gerekmektedir. Mekan kriterlerinin tutarlı olarak değerlendirilmesi ve OSB li bireyin sağlığı göz önünde bulundurulduğundan, anketin katılımcı grubu OSB li bireyler değildir. Anketin katılımcı grubu; OSB li bireylerin aileleridir. Aileler, OSB li bireyin yaşamını ve eğitimini aktif olarak gözlemlemektedirler. Bu nedenle, mekan kriterlerinin değerlendirilmesinde, aile görüşü önemlidir. Anketin uygulanacağı örneklem gruplarında katılımcılar bazı özelliklere göre seçilmektedir. Bu katılımcılar, OSB li bireylerle yaşayan, bakım veren veya bu bireylerle yakın ilişkide bulunan kişiler olmalıdır. Ayrıca katılımcılar 5-11 yaş grubundaki OSB li bireylerin yakını olmalıdır. Araştırmaya katılım, gönüllülük esasına dayanmaktadır.

Ankete OSB li bireylerin ailelerini içeren yaklaşık 30 kişi katılmıştır. OSB sadece bireyi etkilemez, aynı zamanda aileleri de maddi ve manevi yönden büyük oranda etkilemektedir. Yaşam boyu devam eden OSB nin etkileriyle baş etmek, özellikle aileler için ruhen yıpratıcı olabilmektedir. Ankete katılım için görüşülen ailelerin bazıları, verilerin güvenliği, OSB li bireylerin isminin ifşa

edilebileceği gibi çeşitli endişelere sahip oldukları nedenleriyle katılımında çekimserdiler. Ayrıca, bazı aileler ise bu konunun hassasiyeti sebebiyle, konuyla ilgili görüşmede isteksizdirler. Endişeleri çözümlenmek adına gerekli bilgilendirme yapılsa da, ankete katılım daha önce belirtildiği üzere gönüllük esasına dayanmaktadır. Bu nedenle, katılan 30 kişi araştırmaya katılmakta gönüllü kişilerdir. Belirli katılımcı sayısı ile araştırma yapmak, konunun hassasiyeti sebebiyle, araştırmanın limitlerini de vurgulamaktadır. Anket uygulanmadan önce, araştırma amacı ve ASPECTSS kriterleriyle ilgili genel bilgi verilmiştir. Ayrıca, gerekli ön bilgi anket sorularının öncesinde, yazılı olarak sunulmuştur. Anket soruları kapalı uçlu soruları ve likert ölçeğine göre sıralama sorularından oluşmaktadır. Anketin tamamlanma süresi yaklaşık 25 dakikadır.

Elde edilen veri sonuçları; akustik, mekan dizilimi, kaçış alanları, rahatlatma alanları gibi ölçütlerin anket yanıtlarına göre sorgulanması sonucunda elde edilir. İç mekan kriterlerinin sorgulanmasıyla oluşan bulgular, yapılacak yeni mekan önerilerinin geliştirilmesine katkıda bulunur. Elde edilen bulgular, OSB li bireyler için eğitim mekanı tasarlanırken dikkat edilecek unsurları ortaya çıkarırken, mekansal olarak eksik olan yönlerin belirlenmesini de sağlamaktadır. Bu sayede, eğitim mekanının fiziksel ve psikolojik konfor unsurları yeniden tanımlanır ve yeni tasarım önerileri geliştirilir.

#### 4.1 Anket Soruları

Anket soruları; sıralama, kapalı uçlu soru tiplerinden oluşmaktadır. Bu soru tipleri; kesin verilerin elde edilebilmesi, farklı görüşlerin katkısıyla, yapılacak çalışmaların geliştirilebilmesi amacıyla kurgulanmıştır. OSB ve mimarlık ile ilgili ASPECTSS kriterleri, terminolojik olarak ilk ve kapsamlı olması sebebiyle, araştırmanın kılavuzudur. ASPECTSS belirtildiği üzere UIA tarafından Uluslararası Araştırma Ödülü'ne layık görülmesiyle de, konuyla ilgili yeterli ve tanınır kriterler bütünüdür. Ayrıca, OSB ve mimarlık konusu yapısı gereği, nicel verilerle desteklendiğinde, OSB li bireye daha uygun mekanlar tasarlanmasını sağlar. Bu nedenle, bu araştırmada eğitim mekanlarındaki var olan durumun analizinin yapılması ve somut bilgiye ulaşmak amacıyla ASPECTSS kriterleri kullanılmıştır.

Anket sorularında, ASPECTSS kriterlerine göre sorular yöneltilmiştir. Sorular; okulların güvenliği, mekan dizilimi, kaçış alanları, duymasal alanlar, geçişler, akustik gibi kriterleri kapsayan sorulardır. Anket sorularını, OSB li bireyleri gözlemleyen öğretmenler yanıtlamıştır. Ankette Likert Ölçeği'ne göre tasarlanmış sorular (1 = Kesinlikle Katılmıyorum, 2 = Kısmen Katılmıyorum, 3 = Nötr, 4 = Kısmen Katılıyorum, 5 = Kesinlikle katılıyorum) ve açık uçlu sorular yer almaktadır. Böylece, konunun gelişimiyle ilgili yönlendirilme sağlanır. Aynı zamanda Likert Ölçeği ile kesin sonuçlar elde edilir.

##### 4.1.1 Likert Ölçeği İfadeleri/Soruları

###### Akustik:

- Ders işlerken, yankı gibi akustik problemler yaşanmıyor.

- Sınıf dışındaki arka plan gürültüsü dersin işleyişini olumsuz anlamda etkiler.
- Ders işlerken, ses öğrencilere geç iletiliyor.

###### Mekan Dizilimi:

- Okulun genel mekan planlaması kullanıma elverişlidir.
- Dolaşım alanları ve koridorlarda her hangi engel bulunmaz.

###### Güvenlik:

- Okulda OSB li öğrencinin güvenliğini tehdit edecek herhangi fiziksel etken bulunmamaktadır.
- Okul giriş- çıkışları güvenlidir.
- Sınıfları, OSBli öğrenciler için fiziki olarak güvenli buluyorum.

##### 4.1.2 Kapalı Uçlu Sorular (Evet/ Hayır Cevabı)

###### Kaçış Alanları:

- Sınıflarda, OSB'li öğrenci sıkıldığında küçük bir rahatlatma (kaçış alanı) mevcuttur.
- Okul içerisinde bireyin rahatlamasına yönelik alanlar var mıdır?

###### Duyumsal Bölgeleme:

- Sınıfta OSB'li bireyi fiziksel ve psikolojik olarak rahatsız eden etkenler mevcuttur.
- Sınıflar, OSB'li öğrencinin duyularına hitap ederek, onların tepkilerini artırabiliyor mu?
- Sınıflar, aşırı duyarlı OSB'li bireyin sakinleşmesine olanak tanır mı?

###### Mekan Geçişleri:

- Mekan Geçişleri OSB'li bireyin yeni mekana uyumunda duymasal olarak yardımcıdır.

#### 4.2 Bulgular

OSB li bireylerin ebeveynlerinden oluşan örneklem grubunda, anket çalışmasına 30 kişi katılmıştır. Katılımcıların, % 85.7' i kadın, %14.3' ü ise erkektir. Katılımcıların % 70.3'ü 40 yaş ve üzeri yaş grubundadır. Hazırlanan anket soruları, iç mekanda OSB li bireyler için bulunması gereken belirli kriterlere göre tasarlanmıştır. Tablo 1' de görülen yüzdelerle göre, okul güvenliği ile ilgili ifade (okulda öğrencilerin güvenliğini tehdit edecek unsur bulunmamaktadır) % 16.7 katılımcı 1 seviyesinde (1: Kesinlikle Katılmıyorum anlamındadır). % 26.6 katılımcı ise 2 seviyesinde katılmadığını belirtmiştir. % 16.7 katılımcı sorulan ifadeyi 4 seviyesinde değerlendirirken, % 16.7 katılımcı ise ifadeyi 5 seviyesinde (Kesinlikle Katılıyorum) değerlendirmiştir. Sınıf güvenliğiyle ilgili yöneltilen, 'Sınıfları, OSB li öğrenciler için fiziki olarak güvenli buluyorum' ifadesidir. Sınıf güvenliğiyle ilgili ifade, % 50 katılımcı tarafından 1 (% 30) ve 2 (% 20) seviyelerinde değerlendirilmiştir. % 13 katılımcı ifadeyi 4 seviyesinde, % 16.7 katılımcı ise 5 seviyesinde değerlendirmiştir.

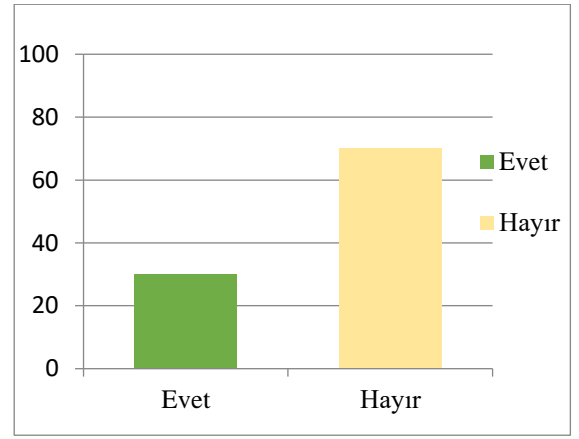
Mekan tasarımı ve OSB li bireylerin konforuyla ilgili olan önemli kriterlerden biri de mekan dizilimi kriteridir. Ankette, ‘Okuldaki genel mekan planlaması kullanıma elverişlidir’ ifadesinin değerlendirilmesi istenmiştir. Bu ifadeyi, 39.9 katılımcı 1 (%23.2) seviyesinde ve 2 (%16.7) seviyesinde değerlendirmiştir. %33.4 katılımcı ise 4 (%16.7) ve 5 (%16.7) seviyesinde değerlendirmiştir. OSB li bireyleri büyük oranda etkileyen akustik kriteri, mekan tasarımında değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir. Ankette, ‘Ders işlenirken, yankı gibi akustik problemler yaşanmıyor’ ifadesi sorulmuştur. Yaşanan yankı ve sesin iletilmesindeki sorunlar, akustik ile ilgili yaşanan problemlerdir. Bu problemler, bahsedilen ifadenin, 1’den 5’ e kadar olan seviyelerde değerlendirilmesiyle belirtilmiştir. % 33.4 anket katılımcısı akustik problemlerini 1 (%16.7) seviyesinde ve 2 seviyesinde değerlendirirken, %10 katılımcı 4 ve % 26.6, 5 seviyesinde değerlendirmiştir.

**Tablo 1.** Anket Cevapları/ Ebeveyn Görüşü.

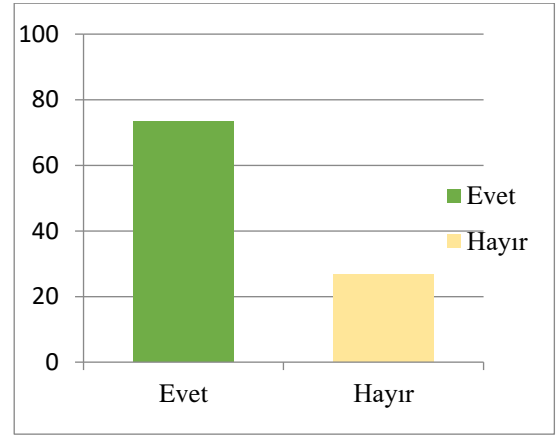
OSB li Bireylerin Ebeveynlerinin Cevaplarının Yüzdesi (%100)					
	1	2	3	4	5
Güvenlik/ Okul	% 16.7	%26.6	%23.3	% 16.7	%16.7
Güvenlik/Sınıf	%30	%20	%20.3	% 13	% 16.7
Mekan Dizilimi	%23.2	% 16.7	%26.7	% 16.7	% 16.7
Akustik	% 16.7	% 16.7	%30	% 10	%26.6

OSB li bireylerin yaşadığı endişe durumlarında rahatlayacakları alanlar olan kaçış alanlarının, eğitim mekanlarında bulunması daha etkin bir eğitimi destekler. Şekil 2’de kaçış alanlarının var olup, olmadığı sorusuna yanıt olarak katılımcıların % 30 u evet cevabıyla okullarda kaçış mekanlarının olduğunu belirtirken, % 70 i ise hayır cevabıyla kaçış mekanlarının bulunmadığını belirtmiştir.

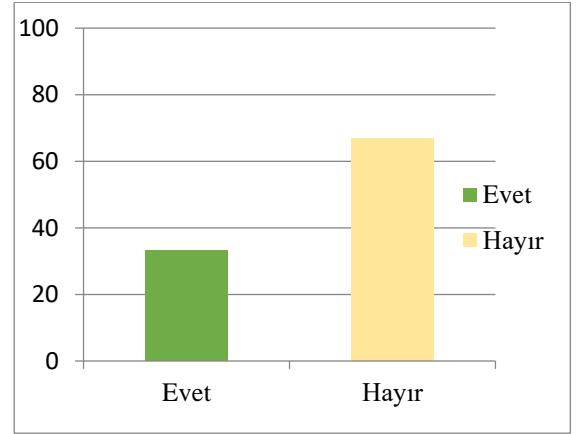
OSB nin bireyler üzerindeki farklı özelliklerinin de incelendiği ankette, Hiposensitivite özelliği gösteren bireyler için sorulan ‘Sınıflar, OSB li öğrencinin duyularına hitap ederek onların tepkilerini artırabiliyor mu?’ sorusuna % 73.3 katılımcı evet, % 26.7 katılımcı hayır yanıtını vermiştir (Şekil 3). Hipersensitivite özelliği gösteren OSB li bireyler ile ilgili olan Şekil 4’ de ise, ‘Sınıflar, aşırı duyarlı OSB’li bireyin sakinleşmesine olanak tanır mı?’ sorusu katılımcılara yöneltilmiştir. Bu soruya verilen cevabın grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 4). Şekil ’deki yanıtlara göre katılımcıların % 66.7 si hayır, 33.3’ü ise evet yanıtını vermiştir. Ölçülen bir başka kriter ise, Mekan Geçişleri kriteridir. Mekan geçişleri, OSB li öğrencinin yeni mekana uyumunda duyumsal olarak yardımcı mıdır? Sorusuna yanıtların sonucu yüzde olarak grafikteki gibidir (Şekil 5). % 40 katılımcı yöneltilen bu soruya evet, % 60 katılımcı ise hayır cevabını vermiştir.



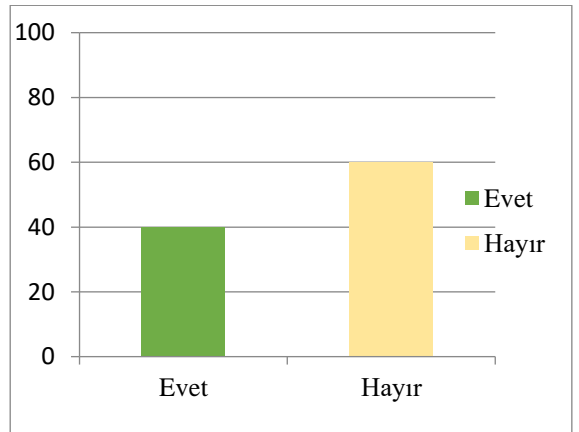
**Şekil 2.** Kaçış alanları/yanıtı.



**Şekil 3.** Duyumsallık/yanıtı.



**Şekil 4.** Duyumsallık/yanıtı.



**Şekil 5.** Mekan geçişleri/yanıtı.

### 4.3 Bulguların Değerlendirilmesi

Mekan kriterlerinin, OSB li aile görüşlerine göre değerlendirildiği ifadeler, okullardaki iç mekan kalitesini açıkça tanımlamaktadır. Örneğin, okul güvenliği ile ilgili yöneltilen ilk ifade de: “Okulda öğrencilerin güvenliğini tehdit edecek unsur bulunmamaktadır”. Katılımcıların yaklaşık % 43’ü katılmamıştır. Aynı ifade sınıf ölçeğinde değerlendirildiğinde, yaklaşık % 50 katılımcı “Sınıfları, OSB li öğrenciler için fiziki olarak güvenli buluyorum” ifadesine katılmamıştır. Veri sonuçları incelendiğinde sınıf güvenliğini etkileyen iç mekan malzemeleri, mekansal tasarım gibi mekan öğelerinin yeteri kadar etkin olmadığı kanısına varılabilir. Katılımcılar, okul güvenliği konusuna sınıf güvenliğinden daha olumlu yaklaşmaktadırlar.

Mekan dizilimini ölçümleyen “Okuldaki genel mekan planlaması kullanıma elverişlidir” ifadesine yaklaşık % 40 katılımcı katılmamıştır. % 26.7 katılımcı 3 seviyesinde, bir başka deyişle kısmen katılıyor kısmen katılmıyorum şeklinde değerlendirmesi, katılımcıların yarısından fazlasının okulların mekan diziliminin OSB li bireye uygun olmadığını göstermektedir.

Akustik kriterinin ölçüldüğü “Ders işlenirken, yankı gibi akustik problemler yaşanmıyor” ifadesine 4 ve 5 seviyelerinde katılan % 36.6 katılımcı, mekanların akustik açıdan olumlu olarak değerlendirmiştir. Yaklaşık %32 katılımcı bu ifadeye katılmamıştır. Fakat, ifadeye katılma oranı daha yüksektir.

Şekil 2’de incelenen kaçış alanları yönünden, tasarımın zayıflığı dikkat çekicidir. % 70 katılımcı mekanların kaçış alanlarından yoksunluğuna dikkat çekmektedir. Hiposensitivite özelliği gösteren bireyler için sorulan ‘Sınıflar, OSB li öğrencinin duyularına hitap ederek onların tepkilerini artırabiliyor mu?’ sorusuna, Şekil 3’de görüldüğü üzere % 73.3 katılımcı evet, % 26.7 katılımcı hayır yanıtını vermiştir. Bu yanıt, sınıfların hiposensitivite özelliği gösteren OSB li bireylere uygun olduğu görüşünü vurgulamaktadır. Fakat, hipersensitivite özelliği gösteren OSB li bireylerin değerlendirildiği, ‘Sınıflar, aşırı duyarlı OSB’li bireyin sakinleşmesine olanak tanır mı?’ ifadesine % 66.7 katılımcı katılmayarak, sınıf tasarımlarının hipersensitiv OSB li bireye uygun olmadığını belirtmektedir. Şekil 5’de yanıtı yüzdesel olarak ifade edilen “Mekan geçişleri, OSB li öğrencinin yeni mekana uyumunda duyuşsal olarak yardımcı mıdır?” sorusuna % 60 katılımcı hayır cevabını vererek, mekan geçişlerinin OSB li bireye uygun olarak tasarlanmadığını ifade etmektedir.

## 5 Tartışma

Anket sonucunda elde edilen bulgulara göre, okulların, OSB li bireylerin mekansal ihtiyacını karşılaması anlamında bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Öte yandan, okulların fiziksel bazı özellikleri ise bireylerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Okulların olumlu fiziksel özelliği; okul güvenliğinin sağlanması ve OSB li öğrencilerini duyularına uygun olarak onların tepkilerini artırabildiği, akustik anlamda yankı gibi herhangi bir problemle sıklıkla karşılaşmadığı gibi özelliklerdir.

Fakat, anket verilerine göre, gelecek okul tasarımlarında göz önüne alınması gereken bazı

eksiklikler dikkat çekmektedir. Bu eksikliklerden ilki, sınıf güvenliğinin tam olarak sağlanamamasıdır. Bu konuyla ilgili bir katılımcı, sıraların sabit olmaması durumunda öfke nöbeti geçiren OSB li bireylerin kendilerine ve çevrelerine zarar verebileceğinden bahsetmiştir. Ayrıca bir başka katılımcı ise pencerelerin alçak seviyede tasarlanmasından dolayı öğrencilerin güvenliğiyle ilgili bazı sıkıntılar yaşadığından bahsetmiştir.

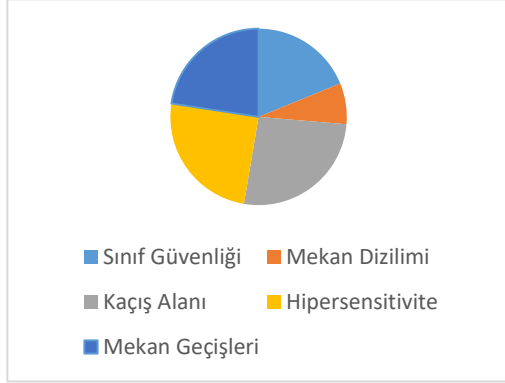
İkinci eksiklik ise mekan dizilimi açısından. İlgili mekanların bir arada gruplandırılması esasına dayalı olan bu ölçüt, mevcut okul tasarımlarında yeterli değildir. %23.2 kişi okulların mekan planlamasının kullanıma elverişli olmadığını düşünmektedir. Bu noktada, gürültü seviyesi yüksek olan fonksiyonlar birbirine yakın, diğer sessiz alanlarda kendi içlerinde birbirine yakın olarak konumlandırılırsa daha elverişli hale gelebilir. Bir katılımcı mekanlarla ilgili sınıfların, OSB li bireylerin aktivitelerine yeterli geniş alanı tanımadığından yakınmıştır. Bu açıdan, sınıf ölçüleri tekrar değerlendirilebilir.

Bulgulara göre geliştirilmesi gereken bir başka ölçüt ise, sınıf veya okul genelinde gereken kaçış alanlarının bulunmamasıdır. Daha önce bahsedildiği üzere, OSB li bireyler öfke nöbeti gibi ani duyguları yoğun şekilde yaşayabilmektedir. Bu anlarda, ders ve aktiviteye odaklanamayacağından bulunduğu ortamdan kısa süreli uzaklaşabileceği ve sakinleşeceği bir alana ihtiyaç duyar. Kaçış alanı, oturma alanı veya salıncağın bulunduğu rahatlatıcı bir fonksiyonla tasarlanan alanlardır. Anket verilerine göre, kaçış alanları sınıf veya okullarda bulunmamaktadır. Bir katılımcı bu konuyla ilgili ‘Kesinlikle duyuşsal olarak rahatlayacakları ikinci bir sınıf tasarlanmalıdır, bu imkan yoksa bile ders gördükleri sınıfta ayakkabı ile girilmeyen yerde oyun oynayacakları alanlar tasarlanmalıdır’ şeklinde bu ihtiyacın eksikliğini vurgulamıştır.

OSB li bireylerin hepsi aynı duyuşsal özelliklere sahip değildir. Bazıları aşırı duyarlı (hipersensitiv) bazıları ise az duyarlı, hiposensitivite özelliği göstermektedir. Elde edilen verilere göre, hipersensitivite özelliği gösteren bireylere göre sınıf tasarımı yapılmadığı görülmektedir. Hipersensitiv bireylere göre yapılan sınıf tasarımı, bu bireylerin sakinleşmesini sağlayabilir. Hipersensitivite özelliği gösteren OSB li öğrenciler için salıncağ bulundurulması, parlak ışıkların kullanılmaması, görüş açısının dışında depolama ünitelerinin kullanılması bireyleri sakinleştirebilir [13].

Eğitim mekanlarının tasarımında önemli olan mekan geçişleri ölçütü mevcut okul tasarımında değerlendirildiğinde, bazı eksiklerin var olduğu anket yanıtlarından anlaşılmaktadır. Mekan geçişleri, sıklıkla göz ardı edilen fakat aslında duyuşsal anlamda önemli alanlardır. Özellikle duyuşsal anlamda tipik gelişimli bireylerden farklılık gösteren OSB li bireyler için mekan geçişleri bireylerin yeni mekanı algılamadaki uyumunu destekleyebilir. Bulgulara göre, okullardaki mekan geçişleri bireylerin yeni mekanlara uyumuna yardımcı değildir. Örneğin, sessiz bir alana geçilmek için kullanılan koridorun daha sessiz ya da sakinliği yansıtan mekan öğeleriyle tasarlanması bireylerin yeni mekana uyumunu duyuşsal olarak destekleyebilir.

Şekil 6’da, anket katılımcılarının yanıtlarına göre okullarda ilk olarak düzenlenmesi gereken mekan ihtiyacından, beşinci sıraya kadar olan düzenlenmesi gereken mekan ihtiyacı dairesel grafikte gösterilmiştir. Bu sayede, eksikliğin en çok görüldüğü mekan kriterleri ilk olarak düzenlenerek, yeniden inşası mümkün olmayan mevcut tasarımlarda yeniden işlevlendirme yoluna da gidilebilir.



Şekil 6. Düzenlenecek Mekan İhtiyaç Grafiği.

İsviçre’de bulunan ZMIK tarafından tasarlanan okulun, Şekil 6’da mekan geçişinin çeşitli aktivitelerle ve dinlenme alanlarının eklenmesiyle tasarlandığı görülmektedir. Mekan geçişinin, belirli kısımlarında ise masa ve sandalyenin tasarım diliyle bütünleşerek mekana dahil olduğu görülmektedir (Şekil 8). Böylelikle, bir mekandan diğerine geçiş, alışlagelmiş okul tasarımlarındaki gibi boşlukla tanımlanmamıştır. Ayrıca, kat planındaki tüm mekanların dizilimine göre mekan geçişlerinin kurgusu düzenlenebilir. Örneğin, öğrenci sınıftan beden eğitiminin yapılacağı fonksiyona geçecek ise Şekil 7’de görülen beden hareketini sağlayan alanın beden eğitimi fonksiyonunun yakınında kurgulanması gibi. Örneklerdeki görüldüğü üzere ele alınan mekan geçişleri, mekan diziliminin mantıksallığını da güçlendirmiş olur.



Şekil 7. ZMIK, Lernlandschaften [14].



Şekil 8. ZMIK, Lernlandschaften [14].

Derse odakta zorluk, yalnız kalma ihtiyacı veya endişenin yaşandığı durumlarda ihtiyaç duyulan kaçış alanları, OSB li bireyleri duyuşsal anlamda destekler. Kaçış alanı mekanda bir salıncak, sessiz bir oda veya tek kişinin belirli zamanı geçireceği tanımlı bir alandır. Şekil 9’da The Bancroft School örneğinde, sınıf ile bağlantılı sessiz odalar tasarlanmıştır. Bu oda, OSB li bireyin ortamdan uzaklaşmak isteğinde kullandığı kaçış alanıdır. Koltuğun ve sessiz odanın tasarımlarının, sade ve bireyin konforuna yönelik olması önemlidir.



Şekil 9. KSS Architects, The Bancroft School [15].

Mekanın konforunu, bireyin eğitim kalitesini doğrudan etkileyen mekan dizilimi OSB li bireyler için tasarlanacak okullar için önemli bir ölçüttür. Görsel 1’deki kat planında görüldüğü üzere, okuldaki mekanlar mantıksal sırada organize edilirken, en az kesintiyle tek yönlü bir dolaşım planıyla tasarlanmıştır. Bir işlevden diğerine geçişler, akışkandır. Ayrıca, OSB li bireyler için çok önemli olan duyuşsal düzeylerin az uyaran ve çok uyaran şeklinde tanımlanarak, yerleşim planında gruplandırılması etkili bir yöntemdir. Ayrıca, işlevlerin duyuşsal özelliklerine göre gruplandırılması hipersensitivite ve hiposensitivite özelliği gösteren OSB li bireyler içinde duyuşsal anlamda kolaylık sağlamaktadır.

Veri değerlendirmesine göre, sınıf güvenliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. OSB li bireyler, zorlayıcı duyuşsal bozulma nedeniyle davranışsal bozukluk semptomları gösterebilir. Bazı davranışlar kendilerine zarar vermeyi içeren, başını mobilyaya veya belirli yüzeye vurmaya gibi, davranışlardır. Bu nedenle mobilyaların keskin köşeli olmaması, yüzeylerin daha yumuşak olması güvenlik açısından önemlidir. Ayrıca, herhangi darbe durumunda depolama ünitelerinin duvara

montelenmesi, duvara montelenen açık raf ünitelerine OSB li bireyin çıkabileceği düşünülerek seviyelerinin ayarlanması ve duvara sıkıca montelenmesi gerekir. Oluşabilecek öfke patlamasındaki şiddete karşı, iç mekanda seçilen camların ekstra güçlü (temperli cam v.b) olması, şiddetin oluşabileceği mekanlarda zemin malzemesi olarak halı, linolyum veya beton zemin kaplama malzemeleri tercih edilebilir [16].

## 6 Sonuç

Ülkemizde, iç mimarlık disiplininde yeteri kadar yer almayan, OSB ve eğitim mekanları konusu araştırılmadığı için disiplin içerisinde önemli boşluk oluşmuştur. Bu araştırmayla konu ile ilgili literatür paylaşılıp, OSB li bireylerin yakınlarının görüşleri alınarak eğitim mekanlarının mevcut tasarımı değerlendirilmiştir. OSB ve mimarlık ile ilgili tartışma bölümünde paylaşılan mekan eksilikleri ve olumlu mekan özellikleri açıkça belirtilmiştir. Bireylerin ihtiyaç duyduğu mekansal özellikler sağlandığında, bireyler fiziksel ve psikolojik olarak olumlu etkileneceğinden dolayı eğitime etkin bir şekilde katılım sağlanabilir. Bu bakış açısıyla, ilerideki çalışmalar ve uygulamalar yapılabilir. Sözlü ve sözsüz iletişimde çeşitli etkileri olan ve davranışları tamamıyla etkileyen OSB nin gelişimsel farklılık olarak tanımlanıp, kapsayıcı tasarım konusuna gerçek anlamda dahil edilmesi gerekmektedir.

## Teşekkür

Çalışmaya katılan tüm katılımcılara, OSB ile ilgili bilgi üreten tüm araştırmacılara ve Prof. Dr Meltem Yılmaz'a teşekkür ederim.

## Bilgilendirme

Bu makale, Hacettepe Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Sanat Dalı'nda tamamlanmış olan '5-11 Yaş Grubundaki Otizmli Çocukların Eğitim Mekanlarının Fiziksel ve Psikolojik Konforunun Sağlanması İçin İç Mekan Tasarımı' isimli doktora tezinin verilerinin bir kısmı kullanılarak üretilmiştir.

Bu çalışma, OSB li bireylerin ailelerinin gönüllülük esasına dayalı katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] Arslan, E. (2019). Otizm ve Spor. Kızar O, Altınkök M, Spor Bilimleri Alanında Araştırma Makaleleri-1. *Gece Akademi*, 107-127.
- [2] Atbaşoğlu, E. C. (2020). Otizm Spektrum Bozukluğunun Yetişkinlikteki Teşhisi. *Noro-Psikiyatri Arsivi*, 57(1), 1-2.
- [3] Tohum Otizm Vakfı (2019). *Otizm Spektrum Bozukluğu El Kitabı*. Retrieved January 2, 2019, from <https://www.tohumotizm.org.tr/wpcontent/uploads/2019/07/Otizm-Spektrum-Bozuklugu-El-Kitabi.pdf>

- [4] MEB Özel Eğitim ve Rehberlik Hizmetleri Genel Müdürlüğü (2020). *Otistik Çocuklar Eğitim Programının Uygulanmasında Dikkat Edilecek Hususlar*. Retrieved December 20, 2020, from [https://orgm.meb.gov.tr/alt\\_sayfalar/progrmlar/otistik\\_cocuklar\\_egitim\\_programi.pdf](https://orgm.meb.gov.tr/alt_sayfalar/progrmlar/otistik_cocuklar_egitim_programi.pdf)
- [5] Mostafa, M. (2015). Architecture for autism: Built environment performance in accordance to the autism ASPECTSS™ design index. *Design Principles and Practices*, Vol. 8 (1), 55-71.
- [6] Kanakri, S. (2017). Spaces Matters: Classroom Acoustics and Repetitive Behaviors in Preschool Children with Autism. *American Journal of Pediatrics*, 3(6), 89-94.
- [7] Building Bulletin (2021). *Designing for disabled children and children with special educational needs*. (n.d). Retrieved April 2, 2021, from [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/276698/Building\\_Bulletin\\_102\\_designing\\_for\\_disabled\\_children\\_and\\_children\\_with\\_SEN.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/276698/Building_Bulletin_102_designing_for_disabled_children_and_children_with_SEN.pdf)
- [8] Scott, I. (2009). Designing Learning Spaces For Children On Autism Spectrum, *Good Autism Practice*, Vol.10 (1), 36-51.
- [9] Richardson & Peat (2016). *How Good Design Can Support Inclusion Of Autistic Children In Mainstream Schools*. Retrieved April 10, 2021, from <http://www.richardsonandpeat.com/news-views/good-design-autism.html>.
- [10] Cherry, C., P., & Underwood, L. (2012). The Ideal Home for the Autistic Child: Physiological Rationale for Design Strategies, *Autism Sci Dig J Autismone*, Issue 3, 132-137.
- [11] Block, S., M. (2018). *Classroom Design and its Influence on Students' Performance Within the Autism Spectrum Diagnosis* (Master's dissertation, St. Cloud State University).
- [12] Quirk, V. (2013). *An Interview with Magda Mostafa: Pioneer in Autism Design*. Retrieved May 15, 2021, from [https://www.archdaily.com/435982/an-interview-with-magda-mostafa-pioneer-in-autism-design?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/435982/an-interview-with-magda-mostafa-pioneer-in-autism-design?ad_medium=gallery)
- [13] Felton, L. (2017). *How to create a calming sensory bedroom*. Retrieved May 16, 2021, from <https://www.todayparent.com/family/special-needs/how-to-create-a-calming-sensory-bedroom/>
- [14] Yatzer (2019). *ZMIK Endows a Historic Building in Basel with Playful Learning Space*. Retrieved November 20, 2021, from <https://www.yatzer.com/learning-scapes-zmik/slideshow/1>
- [15] Horne, R. (2018). *How to design spaces for people with autism?* Retrieved November 21, 2021 from <https://www.spectrumnews.org/news/design-spaces-people-autism/>
- [16] Formaspace (2019). *Enhancing Classroom Environments for Students with Autism Spectrum Disorders* (2019). Retrieved November 22, 2021 from <https://formaspace.com/articles/education/classrooms-for-students-with-autism-spectrum-disorders/>





## DETERMINING DISTANCE MEASUREMENT ACCURACY BY PEDOMETER, GNSS AND IMU AND THE NEW DEVELOPED ACCELERATION SENSOR BASED METHOD

Uğur Acar\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geomatic Engineering Department, Istanbul, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Positioning applications have started to become widespread in recent years with the acquisition of the ability of mobile phones to determine location. While generally GNSS and positioning methods are used, as a result of the GNSS system not working efficiently in closed areas, efforts have been made to develop other methods for position determination. The basic working principle of these methods is to establish common local networks and to determine the location by measuring distances with these local networks. For this, Bluetooth, wireless networks and signals with different frequencies, ultrasonic signals, RFID modules working with radio frequencies, etc. systems are used. Both real-time data can be produced and the generated data can be saved and stored on servers and then offered to users. According to the technology used, data with high and medium position accuracy can be obtained. However, due to the high cost of these systems due to the need for networking and the inability to produce results in open areas, IMU-based only distance measuring solutions have been created, especially in sports applications. In the presented article, methods and filters have been developed for obtaining distance measurement, which is the basis of position determination, with high accuracy using only the acceleration sensor. The obtained results have compared with other distance measuring methods and the actual distance. The developed filters have been developed to prevent false step detection, filter static movements, and generally calculate the correct distance by reducing the noise of the acceleration sensor, based on variable stride length detection and distance measurement calculation. The amount of error reached 60% in the distance obtained with the acceleration sensor without using filters, the amount of error decreased below 2% with the developed method. These results clearly showed that the developed method can be used for distance measurement and sub-meter position determination.

**Keywords:** GNSS, IMU, distance measurement, pedometer.

## PEDOMETRE, GNSS VE IMU İLE MESAFE ÖLÇÜM DOĞRULUĞUNUN TESPİT EDİLMESİ VE YENİ GELİŞTİRİLEN İVME SENSÖRÜ TEMELLİ YÖNTEM

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Konum belirleme uygulamaları, son yıllarda mobil telefonlarının da konum belirleyebilmesi kabiliyetini edinmesi ile yaygınlaşmaya başlamıştır. Genel olarak GNSS ile konum belirleme yöntemleri kullanılırken, kapalı alanda GNSS sisteminin verimli olarak çalışmaması neticesinde, konum belirleme için başka yöntemler geliştirilmesi çabası içine girilmiştir. Yaygın olarak yerel ağlar kurmak ve bu yerel ağlar ile mesafeler ölçerek konum belirlemek bu yöntemlerin temel çalışma prensibidir. Bunun için, Bluetooth, kablosuz ağlar ve değişik frekanslara sahip sinyaller, ses ötesi sinyaller, radyo frekansları ile çalışan RFID modülleri vb. sistemler kullanılmaktadır. Hem gerçek zamanlı veriler üretilebilmekte hem de üretilen veriler sunuculara kaydedilerek saklanabilmekte ve daha sonra kullanıcılar hizmetine sunulmaktadır. Kullanılan teknolojiye göre yüksek ve orta konum doğruluğuna sahip veriler elde edilebilmektedir. Ancak bu sistemlerin ağ oluşturma gereksinimi yüzünden yüksek maliyetli olması ve açık alanlarda sonuç üretmemesi yüzünden özellikle spor uygulamalarında IMU temelli sadece mesafe ölçen çözümlerin oluşturulmasına neden olmuştur. Sunulan makalede, konum belirlemenin temeli olan mesafe ölçümünün yüksek doğrulukta sadece ivme sensörü kullanılarak elde edilmesine yönelik yöntem ve filtreler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, diğer mesafe ölçme yöntemleri ve gerçek mesafe ile kıyaslanmıştır. Geliştirilen filtreler, değişken adım uzunluğu tespiti ile mesafe ölçümü hesabına dayalı olarak, yanlış adım tespitini engellemek, statik hareketleri filtrelemek ve genel olarak ivme sensörünün gürültülerini azaltarak doğru mesafeyi hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir. Filtreler kullanılmadan ivme sensörü ile elde edilen mesafede hata miktarı %60'lara ulaşırken, geliştirilen yöntem ile hata miktarı %2'nin altına düşmüştür. Bu sonuçlar, geliştirilen yöntemin mesafe ölçümünde ve metre altı konum belirlemede kullanılabilirliğini açıkça göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, IMU, mesafe ölçme, pedometre.

\* Corresponding author.

E-mail address: uacar@yildiz.edu.tr (U. Acar)

Received 28 February 2022; Received in revised form 27 May 2022; Accepted 16 June 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1079781>

## 1 Giriş

Konum temelli servisler (Location Based Services) günlük yaşantımızın büyük bir parçası olmaya başlamıştır. Kişi konumu, navigasyon, konuma dayalı yoğunluk bilgileri elde etme, reklamcılık, yapay gerçeklik vb. birçok uygulamanın temelini oluşturmaktadır. Konum doğruluğunun miktarı uygulamaların ihtiyaçlarına göre değişmektedir. Ancak son yıllarda konum doğruluğunun beklentisi birçok uygulamada metre altı olarak belirlenmiştir. Kişi konumunun belirlenmesinde, Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS - Global navigation satellite system) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, GNSS sadece açık alanda tatmin edici sonuçlar üretebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan L1 banda sahip GNSS alıcıları üç, beş metrelik bir konum doğruluğu vermektedir. Bu doğruluk miktarı genel olarak yeterli gibi görünse de kapalı alanlarda kişi konumu GNSS ile belirlenmemektedir. Bu nedenle çeşitli sistemler geliştirilmiştir.

Kişi konum belirleme için kullanılan teknolojilerden bir tanesi Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID - Radio frequency identification) kullanan sistemlerdir. Bu sistem çok uygun maliyetli yapısı ile öne çıkmaktadır. Ancak menzil ile ilgili dezavantajları bulunmaktadır. Konum belirleme sistemi Alınan Sinyal Güç Bilgisi (RSSI - (Received Signal Strength Indication) ile yani vericilerden alıcılara ulaşan sinyalin gücüne göre mesafenin tespit edilmesine dayanmaktadır [1, 2]. “Spot-On” ve “LANDMARC” RFID temelli konum belirleme sistemlerinden en önemli iki sistemdir. Ancak her iki sistemde de en büyük sorunu metre üstünde konum doğruluğuna sahip olmalarıdır [3]. RFID gibi radyo frekansını temel alan bir diğer sistem de RADAR kullanılan sistemlerdir [4]. Bu sistemin konum doğruluğu birçok sistem için yetersiz olan iki, üç metre düzeyindedir. Bir diğer radyo frekansı ile çalışan sistem ise Ultra Geniş Bant (UWB - Ultra Wide Band) sistemidir. Bu sistem son yıllarda geliştirilmiş olan konum doğruluğu çok yüksek olan bir sistemdir. Bu sistemin diğer radyo frekansı ile çalışan sistemlerden farkı çok az kullanılan 3,1 GHz ile 5,15 GHz ultra geniş frekansları kullanmasıdır. Bu sayede diğer frekanslarda çalışan birçok cihazdan etkilenmemektedir. Sistemin konum doğruluğu 10 cm'ye kadar düşebilmektedir. Bu sayede birçok uygulama için

çözüm olarak gösterilmektedir. Sistemin pil tüketimi çok düşüktür ve sensörler ucuzdur [5, 6, 7, 8]. Ancak henüz geliştirilmekte olan bir teknolojidir. Bu nedenle uygulamaları henüz yeterince yaygınlaşmamıştır. Ayrıca kullandığı frekans yüzünden sinyaller insan ve duvar gibi objeleri geçememektedir. Diğer taraftan sinyal menzilleri 15 metre civarındadır. Bu da sistemin çok fazla alıcı ihtiyacı olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle iyi bir kapsama alanı elde etmek için alan içerisine çok fazla sayıda alıcı yerleştirme ihtiyacı vardır. Diğer bir sistem ise ultrasonik alıcı teknolojisini kullanan sistemlerdir. Bu sistemlerde daha önce anlatılan sistemlerin aksine aktif sinyal üreten verici, takip edilmek istenen nesne üzerindedir. Bu durum çok fazla alıcının yerleştirilmesi ve her nesne üzerine daha fazla pil tüketen ve maliyeti yüksek olan vericiler yerleştirilmesine neden olmaktadır [9].

En yaygın olarak kullanılan sistem ise Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN - Wireless Local Area Network) (IEEE 802.11 abc, ayrıca Wi-Fi olarak da tanımlanır.) sinyallerini kullanan sistemlerdir [4, 10]. Bu sistemin yaygın olma nedeni, çok yaygın olarak WLAN ağlarının halihazırda kurulu olması nedeniyle düşük maliyetli bir sistem olmasıdır. Ayrıca takip edilmesi istenilen birçok cihaz da WLAN donanımına sahiptir. Sistemin diğer bir avantajı ise, WLAN sinyallerinin uzun mesafeler boyunca iletebilmesidir [11]. Benzer şekilde Bluetooth (Mavidiş) teknolojisi kullanan sistemler de WLAN kullanan sistemler ile aynı avantajlara sahiptir. Her iki sistem de aynı zamanda düşük enerji tüketmektedir. Bluetooth teknolojisi yaygın kullanımda düşük menziller ile çalışsa bile 500 metreye kadar sinyal ulaştırabilen ürünler de mevcuttur [12]. Her iki sistemde de konum belirlemede RFID ile aynı yöntem olan RSSI kullanılmaktadır. Belirtilen avantajların yanı sıra, bu sistemler düşük konum doğruluğuna sahiptir. Ancak hibrit sistemlere uyumlu ve açık olan bu sistem halen en yaygın sistemlerden birisidir.

Bir diğer sistem ise daha önce bahsedilen tüm sistemlerden çok farklı bir teknoloji kullanan, takip edilen kişi üzerine bir kamera yerleştirilmesi ile sağlanan optik kapalı alan konum belirleme sistemidir. Sistem kamera görüntüsü içinde konumları belirli olan objelerin tespit edilmesine dayalı olarak çalışmaktadır [13]. Bu sistem, yüksek maliyeti yüzünden ancak özel projelerde kullanılabilir. Kapalı alanda konum belirleme sistemleri ile ilgili özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Konum belirleme sistemlerinin karşılaştırılması [14].

Sistem	Açık Alan	Kapalı Alan	Gerçek Zamanlılık	Doğruluk	Kapsama Alanı	Sinyal	Veri Hızı	Çalışma Prensipleri	Maliyet
GPS	+		+	1-5m	Tüm Dünya	Radyo Dalgaları	20Hz	TOA, Laterasyon	Yüksek
Active Badge		+	+	7 cm	5m	Kızılötesi	0.1Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Active Bat		+	+	9cm	50m	Ultrasound	75Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Cricket		+	+	2cm	10m	Ultrasound	1Hz	TOA, Laterasyon	Düşük
Dolphin		+	+	2cm	Oda Ölçeği	Ultrasound	20 Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Wave Lan		+	+	3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	4Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
UWB		+	+	10cm	15m	Radyo Dalgaları	1Hz	TOA	Orta
SPOT ON		+	+	3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	2Hz	RSS, Üçgenleme	Düşük
Land Marc		+	+	1-2m	50m	Radyo Dalgaları	70Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
Radar		+	+	2-3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	4Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
Comp Vision		+	+	10cm	Oda Ölçeği	Kamera Fotoğrafı	3.5Hz	Görüntü İşleme	Yüksek
Cep Telefonu	+		+	50m	Açık Alan	Radyo Dalgaları	Değişken	Telefon Bağlantısı	Orta
INS/RFID		+	+	2m	Kapalı Alan	Radyo Dalgaları	100Hz	RSS, INS	Orta
FPM/RFID		+	+	1.7m	Kapalı Alan	Radyo Dalgaları	100Hz	RSS, INS	Orta

Yukarıda anlatılan sistemler çeşitli teknolojiler ile konum üretmektedir. Bazı sistemler, elde edilen sinyal gücünü mesafeye çevirmekte, bazı sistemler sinyalin gidiş geliş zamanı arasındaki farkı ölçmekte Sinyal varış zamanı (TOA - Time of Arrival) [15, 16], bazı sistemler direk mesafe ölçümü yapmakta, bazı sistemler ise açı ölçümü Sinyal Varış Açısı (AOA - Angle of Arrival) [17, 18] yapmaktadır. Elde edilen mesafeler ve açılar ise, trilateration (trilaterasyon), triangulation (üçgenleme) gibi hesaplamalar ile konuma çevrilmektedir.

Konum belirlemenin temeli açı ve mesafenin bilinmesine dayanmaktadır. “Bir A noktasının koordinatları ile diğer bir nokta olan B noktası arasındaki uzunluk ve A noktasındaki semt açısı bilinirse B noktasının koordinatları hesaplanabilir.” ((1) ve (2) denklemleri).

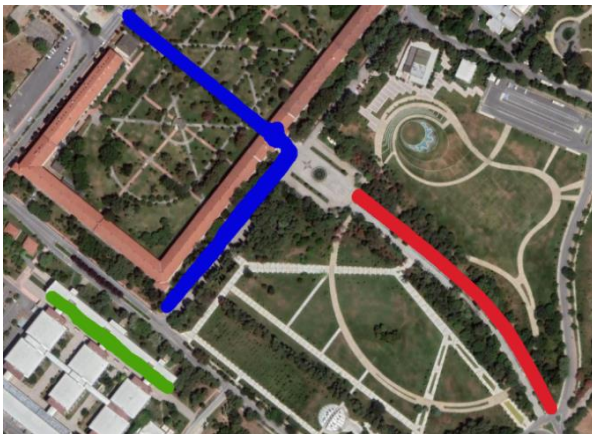
$$Y_b = Y_a + |AB| \cdot \sin(AB) \quad (1)$$

$$X_b = X_a + |AB| \cdot \cos(AB) \quad (2)$$

Konum belirlemenin iki önemli parametresinden mesafenin doğru hesaplanabilmesi bu nedenle çok önemlidir. Sunulan çalışmada, tüketici elektroniğinde kullanılan güncel teknolojilerin mesafe ölçümleri kıyaslanmış (Gerçek Mesafe, GNSS, IMU, Pedometre) ve IMU temelli mesafe ölçme sistemi geliştirilmiştir.

## 2 Çalışma Alanı

Sunulan çalışmada testler, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsünde yer alan üç farklı rotada yapılmıştır (Şekil 1). Testler üç farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Testlerin bir tanesi binaların arasında, bir diğeri bina geçişi olan ağaç yoğunluğu olan bir rotada, sonuncusu da nispeten daha açık bir alanda yapılmıştır. Test alanı seçilirken, konum doğruluğunun test edilebilmesi için GNSS'in iyi çalıştığı, ancak konum kalitesinin zaman zaman zorlanabileceği, fazla eğim olmayan ve fazla yön değiştirme olmayan rotalar seçilmiştir.



Şekil 1. Mesafe doğruluğu testi yapılan rotalar.

## 3 Önerilen Yöntem

Çalışmada mesafe ölçümleri, Telefon GNSS alıcısı (1 HZ L1, L5 Band) (TGPS), veri loglama (veri günlüğü tutma) ile telefona bağlanabilen GNSS alıcısı (5 Hz. L1 Bant) (LGPS), yine telefona bağlanabilen 20 Hz. veri hızına sahip IMU (Inertial Measurement Unit- İnersiyal Ölçme Ünitesi) (ivme ölçer ve jiroskop) (LIMU) ve Cep telefonunda yer alan Huawei Health pedometre temelli mesafe ölçme sistemi ile yapılmıştır (HHP). Sunulan çalışmada geliştirilen yöntem ise GNSS kullanmadan sadece 20 Hz. IMU ile elde edilen veriler üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla aşağıda tanımlanan 3 farklı test gerçekleştirilmiştir.

GNSS cihazlarından alınan koordinatlar, coğrafi koordinat sisteminde elde edildiği için mesafe hesaplanmasında Haversin formülleri ile iki boyutlu olarak hesaplanmıştır. HHP ile ise yazılımda direk mesafe ve adım sayısını vermektedir.

3 farklı güzergahta yapılan ölçümlerin sonuçları aşağıdaki gibidir (Tablo 2).

GNSS alıcıları mobil cihazlarda yüksek miktarda pil tüketmektedir ve maliyetleri yüksektir. Özellikle günlük sağlık ve spor takibi yapılan cihazlarda bu algılayıcının kullanımı bu nedenle daha düşüktür. Ancak spor faaliyetlerinde kullanıcılar koşu, yürüyüş, bisiklet gibi sporlarda ne kadar mesafe kat ettiklerini doğru olarak ölçmeyi istemektedir. Bu nedenle GNSS kullanmadan, daha düşük maliyetli olan ve düşük güç tüketimine sahip ivme ölçer ve jiroskop içeren IMU'lar bu tip aktivitelerin tespit edilmesi için kullanılan cihazlarda yaygın olarak yer almaktadır. Bu cihazlarda mesafe hesaplaması, ivme sensörü üzerinden yüksek frekans ile alınan veriler ile sağlanmaktadır. İvmenin birinci derece integrali ile hız elde edilmesi ve ikinci derece integralinin alınmasıyla yolun elde edilmesi teorik olarak mümkündür. Ancak özellikle düşük maliyetli ivme sensörleri yüksek miktarda gürültüye sebep olduğu için, yapılan bu hesaplamalar ciddi miktarda mesafe (yol) hatasına neden olmaktadır. Test alanlarında, hiçbir filtre kullanılmadan yukarıda belirtilen yöntemle göre hesaplanan mesafeler Tablo 3'de verilmiştir. İvmeden, hızın hesaplanması ve hızdan da yolun hesaplanması yöntemi yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi ciddi miktarda gürültü sebebiyle büyük hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle her bir hareketin tek başına incelenmesi ve böylece sensörde oluşan hataların üst üste eklenerek birikmeden hesaplanması yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemde en yaygın olarak kullanılan yöntem ise adım sayısının hesaplanmasıdır.

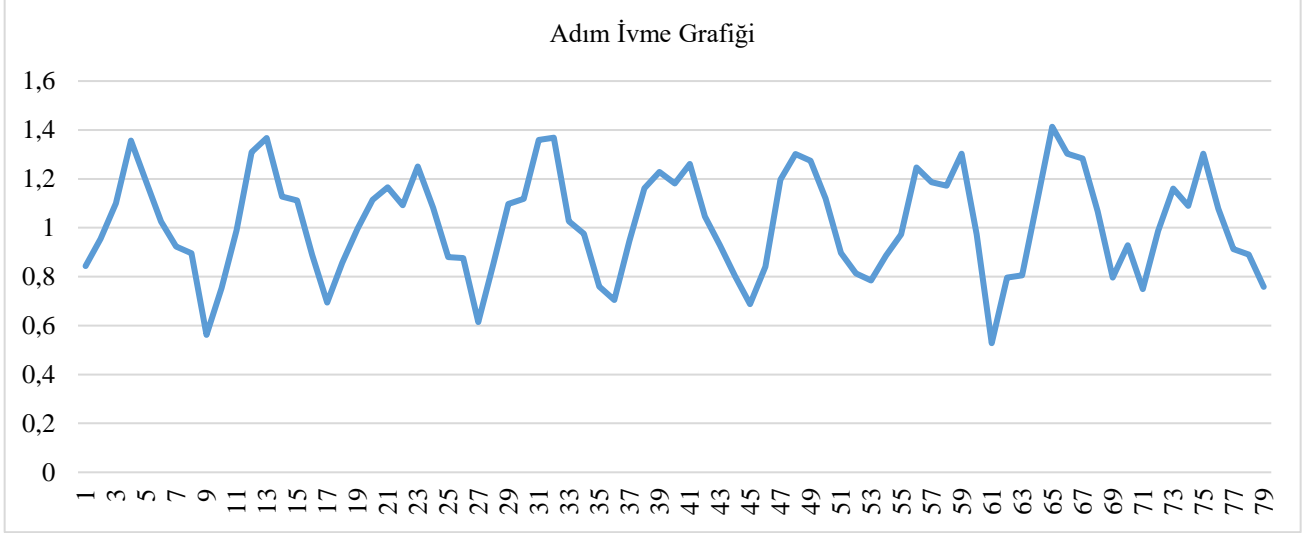
Temel olarak ivme sensöründen elde edilen bir eksene ait hareketlerin incelenmesi yerine, cihazın duruşu değişebileceği için üç eksene ait ivmelerin ortalaması alınır ve hareketleri incelenir [19, 20]. Hareketler incelendiği zaman ortalama ivmenin yükselip alçalma morfolojisinin adım atma hareketi ile paralel olduğu görülmektedir (Şekil 2).

Tablo 2. Üç güzergahta yapılan ölçümler ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	TGPS			LGPS			HH		
		Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %	Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %	Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	561	2	0,36	558	5	0,89	555	8	1,42
Test2	797	824	-27	-3,39	828	-31	-3,89	776	21	2,63
Test3	254	260	-6	-2,36	261	-7	-2,76	229	25	9,84

**Tablo 3.** Üç güzergâhta ham filtresiz ivme sensörü ile yapılan ölçümler ve hata miktarları yapılan ölçümler ve hata miktarları

	Gerçek Uzunluk (m)	LIMU Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	867	-304	-54,00
Test2	797	1135	-338	-42,41
Test3	254	409	-155	-61,02

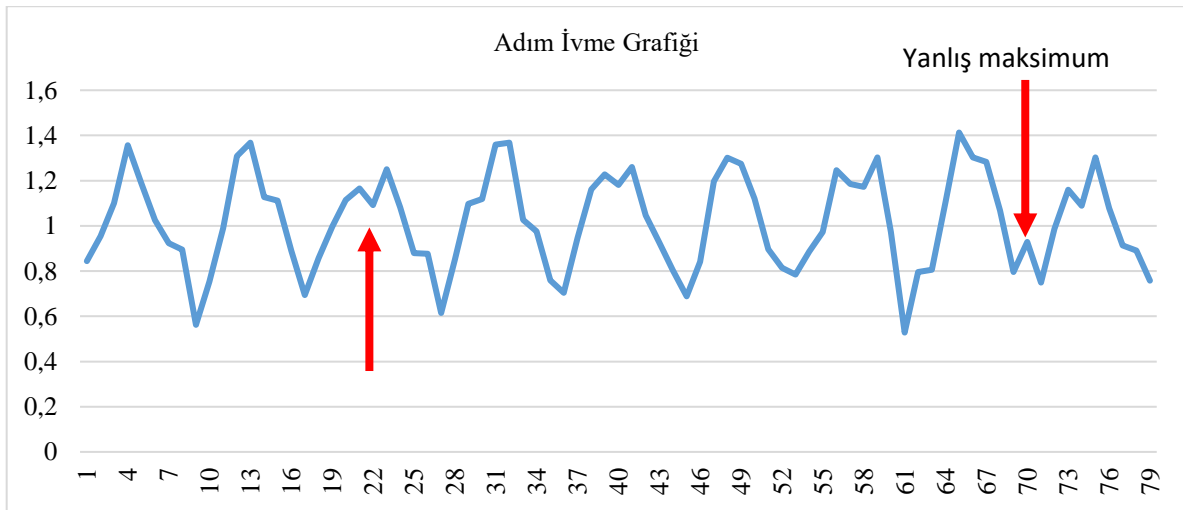
**Şekil 2.** Üç eksene ait ivme ortalamasının yürürken oluşturduğu grafik.

Şekil 2'de de görüldüğü gibi, her bir adımın atılması ile ivme artmakta ve sonraki adımın ileriye atılmasına kadar düşmekte ve tekrar artmaktadır. Doğru mesafenin ölçülmesinde adımın kullanılması, adımın tespit edilmesi ve buna bağlı olarak adım uzunluğunun tespit edilmesi ile mümkündür. İlk uygulamalar sabit adım uzunluğuna dayalı olarak yapılsa bile, doğruluğu düşük olduğu için değişken adım uzunluğu yöntemi kullanılmıştır. Değişken adım uzunluğunu ve yürüme hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$K_{hız} = 0.68 - 0.37 \times V_{adım} + 0.15 \times V_{adım}^2 \quad (3)$$

$$L_{adım} = K_{hız} \times \sqrt[4]{a_{3D,max} - a_{3D,min}} \quad (4)$$

Bu denklemdeki  $a_{3D,max}$  değeri ivme normunun maksimum olduğu değeri, desenin tepe noktasını,  $a_{3D,min}$  değeri ise ivme normunun minimum olduğu değeri, çukur noktasını, temsil etmektedir [10]. Ancak Şekil 3'de de görüldüğü üzere, elde edilen ham ivme verilerinde yanlış maksimum ve minimum değerler yer almaktadır. Bu yanlış değerler de direk olarak adım uzunluğunu hesabında yanlış sonuçlara yol açmaktadır.

**Şekil 3.** Filtrelenmemiş verilerde yanlış maksimum ve minimum değer seçimleri.

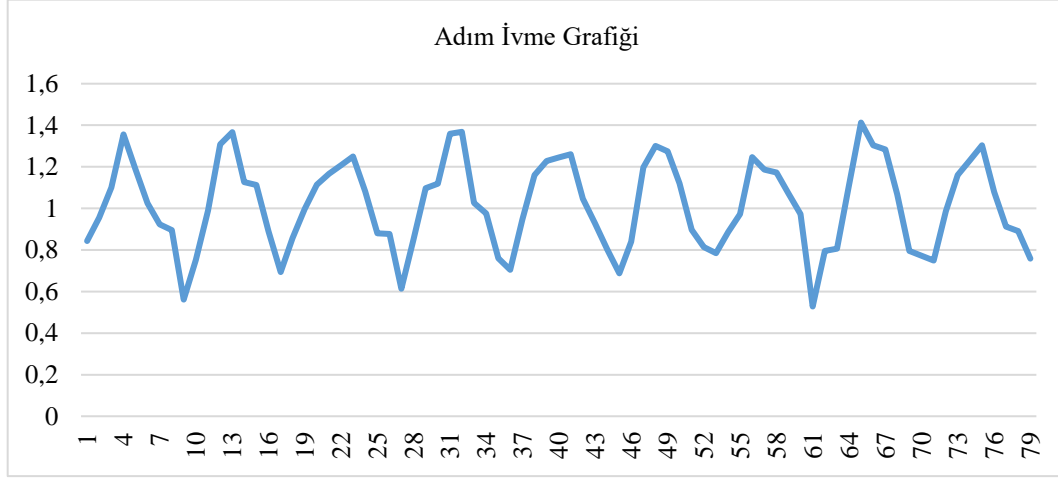
Doğru maksimum ve minimum değerlerinin elde edilmesi için, sunulan çalışmada yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmada ilk önce grafikteki hareketin yönü tespit edilmiştir. Buna göre, hareketler, eğer hareket

yukarı doğru ise 1 yönünde hareket aşağı doğru ise 2 yönünde hareket olarak sınıflandırılmıştır. Sonrasında elde edilen yönlerde geliştirilen filtre kullanılmıştır. Filtre için uygulanan kuralla aşağıdaki gibidir.

- Eğer, mevcut ivmenin hareket yönü 1, önceki ve sonraki hareket yönleri 2 ise, mevcut hareket 2
- Eğer, mevcut ivmenin hareket yönü 2, önceki ve sonraki hareket yönleri 1 ise, mevcut hareket 1

Ayrıca elde edilen yeni yönlerden sonra yeni ivme değerinin belirlenmesi için bir önceki ve bir sonraki ivme

değerinin ortalaması alınmıştır. Uygulanan kurallar sonucunda her bir adım morfolojisinde maksimum ve minimum veriler net olarak belirlenebilmektedir. Şekil 3'e uygulanan kural sonucunda elde edilen sonuç Şekil 4'de sunulmuştur. Şekil 4'de de görüldüğü gibi her bir adım içerisinde sadece bir maksimum veya minimum olması sağlanmıştır.



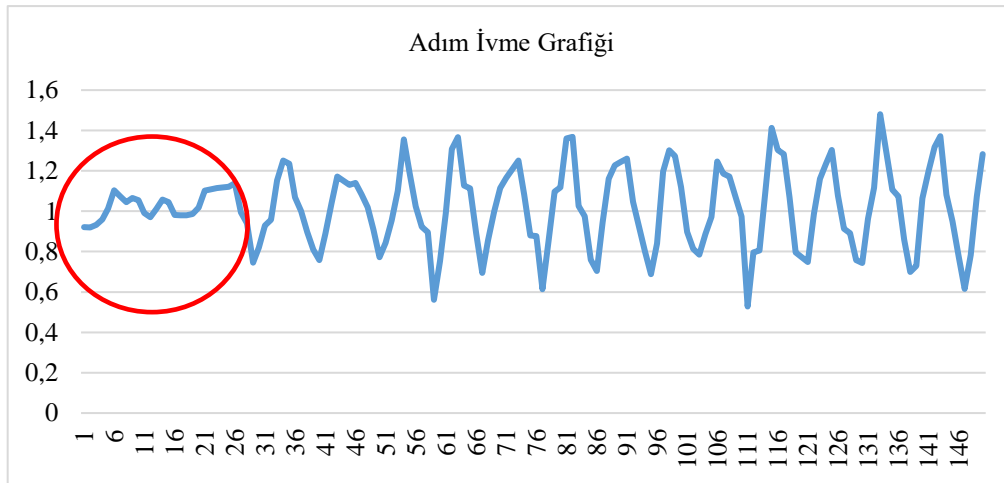
Şekil 4. Filtrelenmiş maksimum ve minimum değerler.

Değişken adım boyu hesaplama denkleminde bulunan K değerini hesaplamak için kullanılacak olan hız değerinin hesaplanması için her bir ivmenin birinci derece integrali alınmıştır (Formül 5). Elde edilen her bir hız değeri maksimum ve minimum değerler arasında toplanmıştır ve sonuç olarak adım hızı hesaplanmıştır (formül 6). Adım hız değeri -Formül 3'de yerine koyularak K sabiti değişken hale getirilmiştir.

$$V_{hız} = \int a_{ort}(t)dt \quad (5)$$

$$V_{adım} = \sum \int a_{ort}(t)dt \quad (6)$$

Sonuç olarak her bir adımın uzunluğu değişken olarak hesaplanmıştır. Son olarak Şekil 5'de örneği verilmiş olan adım olarak nitelendirilemeyecek, maksimum ve minimum değerleri bulunan bu nedenle mesafe hesabında hesaplamaya dahil olabilecek ivme değerleri filtrelenmiştir (Şekil 5). Filtreleme işlemi hesaplanan maksimum ve minimum değerlerini için oluşturulan eşik değerler ile yapılmıştır. Eşik değer üstünde ve altında maksimum ve minimum değerleri sahip adımlar silinerek filtreleme gerçekleştirilmiştir. Böylelikle fazladan hesaplanan mesafeler de elimine edilmiştir.



Şekil 5. Adım olmayan filtrelenmiş ivme değerleri.

#### 4 Bulgular

Geliştirilen yöntem ile ham ivme hesaplaması arasındaki farklar Tablo 4'de sunulmuştur. Geliştirilen yöntemde elde edilen hata miktarları, filtresiz yöntem ile kıyaslandığı zaman dramatik olarak düşmüştür. Ayrıca geliştirilen yöntemin diğer yöntemler ile kıyaslanması

durumunda, diğer yöntemlerden de daha iyi olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Ayrıca yapılan çalışmada fazla sensör tipi kullanılmamasına rağmen, Yüksek frekanslı GNSS ölçümünün mesafe ölçümü doğruluğuna bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

**Tablo4.** Üç güzergâhta yapılan ölçümler, geliştirilen yöntem ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	LIMU Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %	Geliştirilen Yöntem Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	867	-304	-54,00	570	-7	-1,24
Test2	797	1135	-338	-42,41	785	12	1,51
Test3	254	409	-155	-61,02	259	-5	-1,97

**Tablo5.** Üç güzergâhta yapılan ölçümler, geliştirilen yöntem ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	TGPS Farklar %	LGPS Farklar %	HH Farklar %	Geliştirilen Yöntem Farklar %
Test1	563	0,36	0,89	1,42	-1,24
Test2	797	-3,39	-3,89	2,63	1,51
Test3	254	-2,36	-2,76	9,84	-1,97

## 5 Sonuç

Bu makalede, ivme sensörü kullanılarak mesafe ölçümü gerçekleştirmek için ivme sensörünün gürültü etkilerini gidermek için filtreler geliştirilmiştir.

Geliştirilen yöntem sayesinde GNSS e ihtiyaç duyulmadan yüksek doğrulukla mesafe ölçümü yapılabildiği görülmüştür. Yöntem kullanılmadan yapılan ölçümlerde %60 dan fazla hata varken geliştirilen yöntemden sonra hata miktarı %2'ye kadar düşmüştür. Ayrıca bu hata miktarı GNSS sistemlerinin hata miktarından bile daha düşüktür.

Geliştirilen bu yöntem hassas ölçümlerde kullanılamasa da özellikle spor, sporcu takibinde etkin olarak kullanılabilir. Ayrıca sensörün düşük güç tüketime ve maliyeti birçok uygulamada daha kolay kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, geliştirilen yöntemden elde edilen verilere jiroskop ve magnometre eklenmesi ile metre altı konum belirleme ile ilgili de tatmin edici sonuçlar elde edilebileceği öngörülmekte ve bu konuda çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

## Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] Hightower, J., Want, R., & Borriello, G. (2000). SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. *UW CSE00-02*
- [2] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003, March). LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)*. (pp. 407-415). IEEE.
- [3] Jin, G. Y., Lu, X. Y., & Park, M. S. (2006, June). *An indoor localization mechanism using active RFID tag*. In *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06)* (Vol. 1). IEEE.
- [4] Bahl, P., & Padmanabhan, V. N. (2000, March). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In *Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on computer communications. Nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies (Cat. No. 00CH37064)* (Vol. 2, pp. 775-784). Ieee.
- [5] Ingram, S. J., Harmer, D., & Quinlan, M. (2004, April). Ultrawideband indoor positioning systems and their use in emergencies. In *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No. 04CH37556)* (pp. 706-715). IEEE.

- [6] Jiang, L., Hoe, L. N., & Loon, L. L. (2010, June). Integrated UWB and GPS location sensing system in hospital environment. In *2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (pp. 286-289). IEEE.
- [7] Gigl, T., Janssen, G. J., Dizdarevic, V., Witrisal, K., & Irahauten, Z. (2007, March). Analysis of a UWB indoor positioning system based on received signal strength. In *2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication* (pp. 97-101). IEEE.
- [8] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003, March). LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)*. (pp. 407-415). IEEE.
- [9] Hazas, M., & Hopper, A. (2006). Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning. *IEEE Transactions on mobile Computing*, 5(5), 536-547.
- [10] Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P., & Sievänen, J. (2002). A probabilistic approach to WLAN user location estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*, 9(3), 155-164.
- [11] Xiang, Z., Song, S., Chen, J., Wang, H., Huang, J., & Gao, X. (2004). A wireless LAN-based indoor positioning technology. *IBM Journal of research and development*, 48(5.6), 617-626.
- [12] Feldmann, S., Kyamakya, K., Zapater, A., & Lue, Z. (2003, June). An Indoor Bluetooth-Based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation. In *International Conference on Wireless Networks* (Vol. 272).
- [13] Tilch, S., & Mautz, R. (2010, March). Current investigations at the ETH Zurich in optical indoor positioning. In *2010 7th Workshop on Positioning, Navigation and Communication* (pp. 174-178). IEEE.
- [14] Koyuncu, H., & Yang, S. H. (2010). A survey of indoor positioning and object locating systems. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(5), 121-128.
- [15] Nguyen, N. H., & Doğançay, K. (2016). Optimal geometry analysis for multistatic TOA localization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(16), 4180-4193.
- [16] He, J., Geng, Y., Liu, F., & Xu, C. (2014). CC-KF: Enhanced TOA performance in multipath and NLOS indoor extreme environment. *IEEE Sensors Journal*, 14(11), 3766-3774.
- [17] Malajner, M., Gleich, D., & Planinšič, P. (2014). Angle of arrival measurement using multiple static monopole antennas. *IEEE Sensors Journal*, 15(6), 3328-3337.
- [18] Griepentrog, H. W., Blackmore B. S., & Vougioukas S. G. (2006). Positioning and Navigation. *Mechatronics and Applications*, in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, Volume VI, 195-204.
- [19] Aydın, H., & Erkmén, B., (2019). Kapalı Alan Yaya Konumlandırma Sistemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 337-344.



## THE DETERMINATION OF DISTRIBUTION, INFESTATION RATE, DAMAGE, ADULT EMERGENCE TIME OF *EURYTOMA SCHREINERİ* SCHR. (HYMENOPTERA:EURYTOMIDAE) IN APRICOT ORCHARDS OF MALATYA PROVINCE

Tarkan Ayaz<sup>\*1</sup>, Talip Yiğit<sup>2</sup>, Halil Bolu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü

<sup>2</sup>Malatya Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

<sup>3</sup>Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü

### Abstract

Original scientific paper

This study was carried out to determine distribution, infestation rate, adult emerging time of *Eurytoma schreineri* Schr. (Hymenoptera:Eurytomidae). The pest's damage has been getting more in recent years in the Malatya apricot plantations. 84 apricot orchards representing all of Malatya was sampled during the study. As a result of the study, it was determined that the pest distributed in the Akçadağ, Darende, Hekimhan and Yazlıhan apricot orchards. In this area, the pest caused 3- 11% fruit damage.. Adult emergence time determined in on 25 March. It was not obtained any parasitoid from the laboratory studies. Basic knowledge to be used for controlling this pest was obtained and current situation was clarified by this study.

**Keywords:** Apricot, *Eurytoma shreineri*, IPM, Malatya.

## MALATYA İLİ KAYISI BAHÇELERİNDE *EURYTOMA SCHREİNERİ* SCHR. (HYMENOPTERA:EURYTOMİDAE)'NİN YAYILIŞ ALANLARI, BULAŞIKLIK ORANI, ZARAR DURUMU VE DOĞADA ERGİN ÇIKIŞ ZAMANININ BELİRLENMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Çalışma; Malatya ili kayısı bahçelerinde yayılış gösteren *Eurytoma schreineri* Schr. (Hymenoptera: Eurytomidae) 'nin bulaşıklık oranını, zarar durumunu ve ergin çıkış zamanının belirlenmesi amacıyla, 2013-2014 yıllarında yürütülmüştür. Çalışma kapsamında Malatya ilinde Merkez ve 14 ilçeye bağlı 42 köyde toplam 84 bahçede örneklemeler yapılmıştır. Zararının, Akçadağ, Darende, Hekimhan ve Yazlıhan ilçelerinde yayılış gösterdiği belirlenmiştir. Bulaşma oranını belirleme çalışmalarında ise, yapılan örneklemelerde %3-%11 oranında bulaşıklık oranı tespit edilmiştir. Doğada ergin çıkış zamanının belirlenmesi çalışmaları kapsamında ise Darende ve Hekimhan ilçelerinde zararının ergin çıkışlarının Mart ayının son haftasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu çalışma; Malatya ili kayısı alanlarında zararlıya karşı yapılacak mücadeleye yönelik ilk veriler içerme açısından önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** *Eurytoma shreineri*, IPM, kayısı, Malatya.

### 1 Giriş

Dünyada yılda toplam yaklaşık 3.800.000 ton taze kayısı üretilmekte olup, bu miktarın yaklaşık 864.000 tonu Türkiye tarafından üretilmektedir. Bu üretim miktarıyla Türkiye, dünya kayısı üretiminde yaklaşık %22,9'luk payla 1. sıradadır. Türkiye'yi Pakistan, İran, Özbekistan ve İtalya takip etmektedir (1).

Ülkemiz için bu kadar büyük öneme sahip olan ve Malatya çiftçisinin nerdeyse tek gelir kaynağı olan kayısının önemli bitki koruma sorunları bulunmaktadır.

Kayısı üretiminde *Anarsia lineatella* Zell. (Lepidoptera: Gelechiidae), *Capnodis* spp. (Coleoptera: Buprestidae), Kırmızıörümcekler, yaprakbitleri ve koşniller gibi önemli oranda kalite ve kantite kayıplarına sebep olan birçok zararlı bulunmaktadır (2). Tarımsal üretimde büyük ekonomik kayıplara sebep olan zararlılara karşı kimyasal mücadele yaygın olarak kullanılsa da son yıllarda çevre dostu alternatif yöntemlerden mekanik mücadele (3), biyolojik mücadele (4), biyoteknik mücadele yöntemlerinden çiftleşmeyi engelleme tekniği (5), kitlesel yakalama tekniği (6), çek ve öldür tekniği (7), kısır böcek

\* Corresponding author.

E-mail address: [tarkanayaz@gmail.com](mailto:tarkanayaz@gmail.com) (T. Ayaz)

Received 10 March 2022; Received in revised form 21 April 2022; Accepted 11 June 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1085524>

salımı tekniği (8) gibi farklı mücadele yöntemleri daha sık kullanılmaya ve daha fazla araştırılmaya başlamıştır. Ancak yukarıda adı geçen yöntemlerin uygulanabilmesi için zararlıların biyolojilerinin, yayılışlarının ve zarar şekillerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Türkiye’de az çalışılan ve hakkında nispeten az bilgi sahibi olunan *Eurytoma* türleri (Hymenoptera: Eurytomidae) kayısı zararlıları içerisinde yıldan yıla kendine yer edinmeye başlamıştır. Zararlı direk meyvede zarar meydana getirdiği için büyük önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda tarafımızdan kısıtlı imkanlarla yapılan çalışmalarda Malatya ilinde yayıldığı ve önemli ölçüde zarar meydana getirdiği görülmektedir. Özellikle meyvelerde meydana getirdiği dökümler önemli ürün kayıplarına sebep olmaktadır. Bu zararlıyla mücadele yapmak ve mücadele çalışmalarına başlayabilmek için yayılış alanlarının, zarar durumlarının ve mücadeleye esas önemli biyolojik kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde diğer çalışmalar yapılabilecektir.

*Eurytoma schreineri* eriklerde önemli ölçüde ekonomik zarara neden olabilmektedir. Puzanova-Malysheva (9) yaptıkları çalışmada olgunlaşmış eriklerin yaklaşık %65’inin zararlı ile bulaşık olduğunu ve ağaçtan dökülenlerin ise %90’ının içinde larva bulunduğunu belirlemişlerdir. Khirzhnyak (10) Dnieper nehrinin (Ukrayna) civarında bulunan erik bahçelerindeki ağaçların %40’ının *E. schreineri* tarafından zarar gördüğünü ve zararlı ile bulaşık meyvelerin tam olarak olgunlaşmalarını sağlayamadan yere döküldüklerini belirtmiştir. *Eurytoma* spp tüm eurytomid cinsi arasında en geniş konukçu dizine sahip olup fitofag, parazit ve entomofag olarak beslenebilmektedir (9,10). Ekonomik olarak önemli kayıplara neden olan 3 tür olan *E. amygdali*, *E. schreineri* ve *E. samsonowi* için ayrıntılı biyolojik çalışmalar yapılmıştır.

Ülkemiz için en önemli kayısı üretim alanı olan Malatya ilinde *E. schreineri*’ye yönelik bir çalışma yapılmamış olup zararlının mücadelesinde kullanılacak veri bulunmamaktadır. Özellikle *E. schreineri*’nin kayısı için önemli olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları bu zararlı ile mücadelede kayısı entegre mücadele çalışmaları için ilk olma niteliğindedir.

## 2 Materyal ve Yöntem

**Materyal:** Çalışmaların ana materyallerini Tablo 1’de belirtilen Kayısı alanlarından toplanan meyveler ve bunlardan elde edilen *Eurytoma schreineri* oluşturmuştur. Çalışmanın diğer materyallerini laboratuvar malzemeleri ve kafesler oluşturmuştur.

### 2.1 Yöntem

#### 2.1.1 Arazi Çalışmaları

Sürvey çalışmaları, Türkiye kayısı üretiminin %63’ünü kapsayan Malatya ilinin 14 ilçesinin 3’er köyünde toplam 84 bahçede Erkam (1981) (11)’e göre örnek alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Buna göre;

1-20	meyve ağacı olan bahçenin	%100’ü
21-70	meyve ağacı olan bahçenin	20-30 adedi
71-150	meyve ağacı olan bahçenin	31-40 adedi

151-500	meyve ağacı olan bahçenin	41-80 adedi
501-1000	meyve ağacı olan bahçenin	%15’i
1000’den fazla	meyve ağacı olan bahçenin	%5’i (en az 50 ağaç) incelenmiştir.

**Tablo 1.** Sürveylerde kontrol edilen ağaç sayısı.

İlçe	Alan (da)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı	Kontrol edilen Köy Sayısı	Kontrol Edilen Bahçe Sayısı	Kontrol Edilen Ağaç Sayısı
Merkez	112.700	1.026.400	3	2	210
Akçadağ	162.00	1.328.00	3	2	540
Arapkir	2.700	17.500	3	2	150
Arguvan	15.250	150.000	3	2	210
Battalgazi	55.500	499.500	3	2	300
Darende	108.500	1.228.550	3	2	210
Doğaneşehir	40.250	418.800	3	2	210
Doğanyol	15.000	180.400	3	2	210
Hekimhan	76.800	722.000	3	2	540
Kale	15.500	170.000	3	2	210
Kuluncak	34.750	310.000	3	2	210
Pütürge	17.500	180.350	3	2	210
Yazihan	46.00	450.000	3	2	210
Yeşilyurt	26.650	290.300	3	2	210

#### 2.1.2 *Eurytoma Schreineri*’nin Yayılış Alanı Belirleme Çalışmaları

Arazi çalışmaları kayısı yetiştiriciliğinin yapıldığı bütün ilçelerde 3’er köyde ve her köyde 2’şer bahçede Nisan- Eylül ayları arasında yürütülmüştür. Haftalık arazi çıkışları şeklinde yürütülen bu çalışmalar için Erkam (11)’a uygun şekilde örnekleme yapılmış her ağacın altından dökülen meyvelerden 20’şer adet toplanmıştır. Araziden alınan ve zararlının bulunduğu tahmin edilen meyveler laboratuvara getirilip kırılarak kontrol edilmiş ve zararlının yayılış alanı belirlenmiştir. *Eurytoma schreineri* larvalarının tanınması için daha önce teşhis yaptırmak için toplanıp saklanan örneklerdeki mevcut larvalardan yararlanılmış ve yapılan çalışma sırasında toplanan örneklerden bir kısmı kültüre alınarak ergin çıkışı sağlanmıştır.

#### 2.1.3 *Eurytoma Schreineri*’nin Bulaşıklık Oranını Belirleme Çalışmaları

Örnekleme çalışmaları bahçelerini temsil edecek şekilde Erkam (11)’a uygun şekilde kayısı yetiştiriciliği yapılan tüm ilçelerde 3’er köyde ve her köyde 2’şer bahçede yapılmıştır. Örnekleme, henüz zararlıdan kaynaklı meyve dökümlerinin başlamadığı ve çalışmanın yürütüldüğü alanların iklimsel özelliklerine bağlı olarak Nisan-Mayıs aylarında çalışmanın yapıldığı alanlarda rastgele tespit her ağacın dört yönünde 50’şer cm uzunluğundaki sürgünler üzerinden meyveler toplanarak yapılmıştır. Toplanan örnekler laboratuvara getirilip tek tek kırılarak incelenmiştir. Zararlının bulaşıklık oranı ve zarar durumu ortaya konulmuştur.

#### 2.1.4 *Eurytoma Schreineri*’nin Ergin Çıkış Zamanının Belirlenmesi

Bu çalışma, daha önce yapılan yayılış alanı ve bulaşma oranı belirleme çalışmalarında zararlının yoğun olduğu görülen 2 ilçede (Darende ve Hekimhan) 3’er köyde birer bahçede olmak üzere toplam 6 bahçede yürütülmüştür. Ağaç altlarından toplanan bulaşık



meyveler ergin çıkışlarını takip etmek amacıyla, çalışmanın yapıldığı bahçenin çeşitli yerlerine yerleştirilen 3 adet ölçüleri 50\*60\*60 cm olan, etrafı tül ve sinek teliyle kaplı kafes içerisine 200'er adet meyve bırakılmıştır. Ergin çıkışları düzenli bir şekilde kaydedilmiştir. Erginlerin meyveyi terk etme dönemleri ile bitkinin fenolojik dönemi karşılaştırılmıştır. *Eurytoma schreineri*'nin ergin çıkış zamanının belirlenmesi çalışmaları Ağustos-Nisan ayları arasında yürütülmüştür. Kafesler, zararlının çıkış yapabileceği düşünülen Mart ve Nisan aylarında haftada iki kez kontrol edilerek gerekli kayıtlar tutulmuştur. Zararlının kışlama durumunu tespit etmek amacıyla örneklemeler aralık-mart ayları arasında yürütülmüştür. Örneklemelerde yere dökülen ve ağaç üzerinde kalan meyveler kontrol edilmiştir.

### 2.1.5 Laboratuvar Çalışmaları

*Eurytoma schreineri*'nin bazı morfolojik özelliklerini saptamak amacıyla doğadan toplanan çeşitli biyolojik dönemler üzerinde ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Yayılış alanlarının belirlenmesi çalışmalarında toplanan içerisinde *E. schreineri* larvası bulunduğu tahmin edilen örneklerden her ilçe için ayrı ayrı 100 adet kayısı parazitoitleri elde etmek için, ışık geçirmeyecek biçimde kapatılmış 25\*30 cm plastik kavanozlar içinde 25±1 0C sıcaklık ve 65±5 oransal nem içeren iklim odalarında kültüre alınmıştır. Bu işlemde, kavanozlar içerisindeki örneklerden çıkan parazitoitleri daha kolay toplamak için üzerine açık tarafı kavanoz içerisine, kapalı tarafı kavanoz dışına gelecek şekilde 1,5 cm çapında 16 cm uzunluğunda cam tüpler yerleştirilmiştir.

**Tablo 2.** Malatya ili kayısı alanlarında *E. Schreineri*'nin yayılışı.

İlçe	Toplan Alan (da)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı	Bulaşıklık Evet/Hayır
Merkez	112.700	1.026.400	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Akçadağ	162.00	1.328.00	Evet
Arapkir	2.700	17.500	Evet
Arguvan	15.250	150.000	Evet
Battalgazi	55.500	499.500	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Darende	108.500	1.228.550	Evet
Doğanshehir	40.250	418.800	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Doğanyol	15.000	180.400	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Hekimhan	76.800	722.000	Evet
Kale	15.500	170.000	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Kuluncak	34.750	310.000	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Pütürge	17.500	180.350	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Yazlıhan	46.00	450.000	Hayır (Meyve Dökümü Yok)
Yeşilyurt	26.650	290.300	Hayır (Meyve Dökümü Yok)

### 3 Bulgular ve Tartışma

Önceki çalışmalarda Malatya ili kayısı alanlarında bulunan *Eurytoma* cinsine ait türün *Eurytoma schreineri* olduğu belirlenmiştir (12). Tür belirlenmesi ile ilgili yapılan arazi çalışmalarında bu zararlının Malatya ilinde

yayılmaya başladığı ve üreticilerden gelen şikayetlere de bakıldığında önemli ölçüde zarar yaptığı anlaşılmıştır. Zararlı ile ilgili bilinmezleri ortaya koyabilmek adına öncelikle yayılış alanları belirlenmelidir. Yayılış alanlarını belirlemek için arazi çalışmaları kayısı yetiştiriciliğinin yapıldığı bütün ilçelerde 3'er köyde 2'şer bahçede Nisan- Eylül ayları arasında mümkün olduğunca haftalık olarak yürütülmüştür. Çalışmalar sırasında metoda uygun şekilde toplanan zararlı ile bulaşık olduğu düşünülen meyveler kese kağıdına konularak buz kabı içerisinde laboratuara getirilmiştir. Laboratuara getirilen meyveler tek tek kırılarak kontrol edilmiş ve böylece zararlının yayılış alanı belirlenmiştir.

Yayılış alanı ile ilgili yapılan çalışmalar neticesinde Tablo 2 incelendiğinde yayılmanın Akçadağ, Arapkir, Arguvan, Darende ve Hekimhan ilçelerinde olduğu görülmektedir. Malatya da bulunan toplam 6.971.800 meyve veren yaştaki kayısı ağacının 3.444.050 tanesi, başka bir deyişle yaklaşık olarak %50'si bu ilçelerde bulunmaktadır. Bu oran ağaç sayısı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde söz konusu zararlının Malatya ili kayısı alanlarının yarısına yakın kısmında görüldüğünü işaret etmektedir.

Ülkemizde; Özbek ve ark (13), Erzurum, Artvin, Erzincan, Iğdır ve Kars illerini kapsayan şekilde yaptıkları bir çalışmada zararlıyı ülkemiz kayısı alanları için yeni kayıt olarak belirtmişlerdir. Bu çalışma ile ülkemizde bulunduğu alanlara baktığımız zaman daha çok yüksek kesimlerde ve havanın daha soğuk olduğu alanlarda bulunduğu görülmektedir. Ayrıca Malatya ilinde bulunduğu ilçelere bakıldığında yine bu ilçelerin de diğerlerine göre daha yüksek kesimlerde yer aldığı ve Erzincan iline daha yakın olduğu görülmektedir. Ülkemizde ilk tespit edildiği yerin Kuzeydoğu illeri olması ve Malatya'da yayılış gösterdiği ilçelerin Erzincan iline yakın olması yayılmanın buradan gerçekleşmiş olabileceğini düşündürmektedir. Zararlının daha çok yüksek ve soğuk kesimlerde bulunduğunu Puzanova-Malyshva (1930) Ukrayna'da, Khirzhnyak (1966)'in ise Rusya'nın güneyinde *E. schreineri* üzerine yaptığı çalışmalarda göstermektedir. Zararlı ile ilgili çalışmalara bakıldığında da yine zararlının ülkemizin kuzeydoğusunda yayılış gösterdiği ve oradan iç taraflara doğru ilerlediği kanısına varılmaktadır.

Bulaşma oranının belirlenmesi kapsamında kayısı yetiştiriciliğinin yapıldığı tüm ilçelerde Nisan-Mayıs aylarında 3'er köyde ve her köyde 2'şer bahçede olmak tesadüfen seçilen ağaçlarda metotta belirtildiği şekilde gerekli örneklemeler yapılmıştır. Burada doğacak iş gücünün fazlalığından dolayı genel olarak 21-70 ağaçtan oluşan bahçeler seçilmiş ve örneklemeler ona göre yapılmıştır.

Bulaşma oranının belirlenmesi çalışmaları neticesinde elde edilen verilere Tablo 3'te bakıldığında bulaşıklığın yine Akçadağ, Arapkir, Arguvan, Darende ve Hekimhan ilçelerinde olduğu görülmektedir. En yüksek bulaşıklığın %11.16 ile Hekimhan ilçesinde olduğu görülmektedir. Hekimhan'dan sonra ise Darende'de %10.66, Arapkir'de %4.42, Akçadağ'da %3.86 ve Arguvan'da %3,44 bulaşıklık olduğu görülmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü bütün alanlar değerlendirildiğinde bulaşıklığı % 3.44 ile % 11.16 arasında değiştiği görülmektedir.

**Tablo 3.** Malatya ili kayısı alanlarında *E. Schreineri*'nin yayılışı bulaşıklık oranı.

İlçe	Kontrol Edilen Köy Sayısı	Kontrol Edilen Bahçe Sayısı	Kontrol Edilen Ağaç Sayısı	Toplanan Meyve Sayısı	Zararlı ile Bulaşık Meyve Sayısı	Bulaşıklık Oran %
Merkez	3	2	150	1800	-	-
Akçadağ	3	2	150	1500	58	3,86
Arapkir	3	2	150	1650	73	4,42
Arguvan	3	2	150	1800	62	3,44
Battalgazi	3	2	150	1800	-	-
Darende	3	2	150	1800	192	10,66
Doğanşehir	3	2	150	1500	-	-
Doğanyol	3	2	150	1500	-	-
Hekimhan	3	2	150	1800	201	11,16
Kale	3	2	150	1800	-	-
Kuluncak	3	2	150	1500	-	-
Pütürge	3	2	150	1500	-	-
Yazlıhan	3	2	150	1500	-	-
Yeşilyurt	3	2	150	1500	-	-

Zararlının bulaşıklığı meyvenin ağaçtan dökülmesine sebep olduğu için doğrudan ürün kaybı anlamına gelmektedir. Böylelikle Hekimhanda ki % 11,16 'lık bulaşıklık oranı aynı zamanda zarar durumunu da ortaya koymaktadır. Bulaşıklık oranı ile zarar durumunu birlikte değerlendirdiğimizde ürün kaybının ne kadar çok olduğu daha net ortaya çıkmaktadır. Özbek ve ark (1996), Erzurum, Artvin, Erzincan, Iğdır ve Kars illerini kapsayan şekilde yaptıkları çalışmada bulaşıklık oranını %20-25 arasında belirtmişlerdir. Her ne kadar *E. schreineri* ile ilgili çok fazla literatüre rastlanmasa da aynı cinse ait zararlılardan *E. amygdali* ile ilgili yapılan bulaşıklık durumu ve zarar oranı çalışmalarından birinde, Bolu ve Özgen (14) Diyarbakır, Mardin ve Elazığ illerinde yaptıkları çalışmada *Eurytoma amygdali*'nin bademin en önemli zararlılarından biri olduğunu ve bölgedeki bulaşıklık oranının %30-60 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yine Cakar (15)'in Yugoslavya ve Makedonya'da badem ağaçlarına saldıran *E. amygdali*'nin biyolojisinin belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada zararlının meyvenin %71'ini yok ettiği belirlenmiştir.

Zararlı ile ilgili Malatya kayısı alanlarında bugüne kadar zarar durumu ve yayılış alanı gibi konularda bir çalışma yapılmamış olmasının eksikliği daha iyi ortaya çıkmaktadır.

**Şekil 1.** *Eurytoma schreineri* ile bulaşık kayısı meyveleri.**Şekil 2.** Kayısı meyvesi içerisindeki *Eurytoma schreineri* larvası.

Ergin çıkış zamanının belirlenmesi çalışmalarında, daha önce yapılan yayılış alanı ve bulaşma oranı belirleme çalışmalarında zararlının yoğun olduğu görülen 2 ilçede 3'er köyde birer bahçede olmak üzere toplam 6 bahçede yürütülmüştür. Bu ilçeler zararlının yoğun olarak görüldüğü Darende ve Hekimhan ilçeleri olarak belirlenmiştir. Kafeslerdeki ergin çıkışları düzenli bir şekilde kaydedilmiştir. Erginlerin meyveyi terk etme dönemleri ile bitkinin fenolojik dönemi karşılaştırılmıştır.

Meyve ağaçlarında fenolojik özellikler tür, çeşit, ekoloji ve yıllara göre değişir. Ortalamanın üzerindeki hava sıcaklığı (kısmen toprak sıcaklıkları) tam çiçeklenme zamanını erkene çeker ve çiçeklenme süresini ile olgunlaşma periyodunu kısaltır.

Çalışmanın yapıldığı 2014 yılı Şubat-Mart aylarında havanın diğer yıllara göre daha ılıman geçtiği görülmüştür. Bu nedenle Mart ayı sonlarına doğru kayısı çiçeklenme dönemi sonuna doğru gelmiştir. Kafeslerdeki ilk ergin çıkışına Hekimhan ilçesinde 25 Mart tarihinde rastlanmıştır. Darende ilçesinde ise 27 Mart tarihinde ergin çıkışı görülmüştür. Ergin çıkış tarihinin zararlı ile mücadelede büyük önem taşımaktadır. Yıllara göre hava sıcaklıklarında farklılıklar olabileceği için zararlının çıkışı fenoloji ile ilişkilendirildiğinde çiçeklenme ile çıkışların başladığı görülmektedir. Puzanova-Malysheva (1930) Rusya'nın güneyinde, Khizhnyak (1966) ise Ukrayna'da eriklerde *E. schreineri*'nin biyolojisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yılda 1 döl verdiğini tespit etmişlerdir. Erginlerin ise çiçeklenme sonuna denk gelen Mayıs başında çıkış yapmakta olduğunu belirlemişlerdir. Ergin uçmaları beş altı hafta sürmektedir. Dişiler yumurtalarını çekirdek içinde hala hassas olan zarları altında bırakmaktadırlar. Her dişi bir düzine yumurta bırakmaktadır. Ovipozisyondan 2-2,5 ay sonra Ağustos ortasında larva beslenmesini tamamlamakta ve diapaза girmektedir.

Bu çalışmalarla da görülmüyor ki zararlının çıkışı çiçeklenme zamanı ile ilişkili durumdadır. Aralık ayından itibaren kışlama durumunu belirleyebilmek için örnekler üzerinde yapılan gözlemlerde yere dökülmüş meyvelerden örnekler alınıp incelenmiştir. Zararlının larva ve pupa dönemlerini meyve içerisinde geçirdiği ve gelişimini tamamlayarak çıkış yaptığı görülmüştür.



Şekil 3. Kafes içerisindeki bulaşık meyveler.

Laboratuvar çalışmalarında *Eurytoma schreineri*'nin morfolojik özelliklerini saptamak için araziden bulaşık örneklerden elde edilen bireyler üzerinde gerekli incelemeler yapılmıştır. Laboratuvarında Stereomikroskopla yapılan ölçümlerde bireylerin 4,0 - 5.0 mm arasında bir uzunlukta buldukları görülmüştür. Vücutlarının tamamıyla siyah renkli olduğu ve baş kısmının pronotuma kadar dorsal olarak geniş bir yapıda bulunduğu görülmüştür.



Şekil 4. Ergin *Eurytoma schreineri* bireyleri.

#### 4 Sonuçlar

Ülkemiz ve aynı zamanda dünya kayısı üretimi için önemli olan Malatya ilindeki kayısı alanlarında son yıllarda artış gösteren ve giderek yayılan *E. schreineri*'nin genel durumunu ortaya koymak için yapılan bu çalışma ülkemizin dünyada ki kayısı üretiminde yerinin korunabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Direk meyvede zarar yaparak büyük ekonomik öneme sahip olan ve meydana getirdiği zarar oranı düşünüldüğünde zararlı ile mücadele yapılma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma sonucunda zararlının Malatya ilinin Akçadağ, Arguvan, Arapkir, Darende ve Hekimhan ilçelerinde bulunduğu belirlenmiştir. Bulaşıklık ve zarar durumuna baktığımızda ise %11.16 ile Hekimhan ilçesinin başta geldiği görülmektedir. Hekimhan'dan sonra ise Darende'de %10.66, Arapkir'de %4.42, Akçadağ'da %3.86 ve Arguvan'da %3,44 bulaşıklık olduğu görülmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü bütün alanlar değerlendirildiğinde bulaşıklığı % 3.44 ile % 11.16

arasında değiştiği görülmektedir. Zararlı ile mücadeleye karar verebilmek için yayılış alanı ve bulaşıklık durumunun yanında doğadaki ergin çıkış zamanının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle zararlının doğada çıkış zamanını belirlemek için yoğun olarak bulunduğu Darende ve Hekimhan ilçelerinde gerekli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde ilk ergin çıkışının Hekimhan ilçesinde 25 Mart tarihinde Darende ilçesinde ise 27 Mart tarihinde gerçekleştiği görülmüştür. Burada zamanla beraber iklim şartlarının etkili olduğu görülmektedir. Hava sıcaklığına bağlı olarak ergin çıkışlarının fenoloji olarak çiçeklenmeye denk geldiği görülmektedir.

Zararlının henüz son yıllarda alana girdiği düşünüldüğünde ve mevcut literatür değerlendirildiğinde önlem alınmayıp mücadele edilmediğinde ilerleyen yıllarda çok daha büyük oranlarda zarar oluşturabileceği açık bir şekilde görülebilmektedir. Zararlı ile ilgili Malatya kayısı alanlarında bugüne kadar zarar durumu ve yayılış alanı gibi konularda bir çalışma yapılmamış olmasının eksikliği daha iyi ortaya çıkmaktadır. Malatya ilindeki zarar durumu göz önüne alınarak ortaya konulan bu bilgiler doğrultusunda mücadelesine yönelik çalışmaların biran önce yapılması gerekmektedir. Ayrıca zararlıdan kaynaklı meyve dökümleri genellikle gözden kaçmakta ve farkına varılmamaktadır. Özellikle çiftçiler bu durumun farkına varamamakta, farketse bile bunun neden kaynaklandığını bilememektedirler. Bu nedenle kısa zamanda Tarım Bakanlığının taşra teşkilatındaki teknik elemanlarına gerekli bilgilerin aktarılması ve onlar vasıtasıyla çiftçilere yönelik eğitim yayım çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Mücadelesine yönelik gerekli çalışmalar yapıldığında ve çiftçiler bu durumun farkına vardığında daha sağlıklı ve kapsamlı bir mücadele yapılmış olacaktır. Böylelikle zararlının daha çok yayılması ve zarar meydana getirmesi önlenmiş olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1002 tarafından desteklenen 113O137 numaralı proje desteğiyle yürütülmüştür. Çalışmaya finansal destekte bulunan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.


#### Kaynaklar

- [1] Kayısı Ürün Raporu (2020). Retrieved August 20, 2021 from <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge>
- [2] Mamay, M., Yanık, E., & Doğramacı, M. (2014). Phenology and damage of *Anarsia lineatella* Zell.(Lepidoptera: Gelechiidae) in peach, apricot and nectarine orchards under semi-arid conditions. *Phytoparasitica*, 42(5), 641-649.
- [3] Mamay, M. (2018). Important parameters in mechanical management of carob moth [*Apomyelois* (= *Ectomyelois*) *ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae)] in pomegranate orchards: determination of overwintering population density and infestation rate. *Fresenius Environ. Bull.* 27 (12 B), 9542-9548.

- [4] Mamay, M., & Mutlu, C. (2019). Optimizing container size and rearing density for rapid and economic mass rearing of *Oenopia conglobata* (Linnaeus, 1758)(Coleoptera: Coccinellidae). *Turkish Journal of Entomology*, 43(4), 395-408.
- [5] Mamay, M., Ünlü, L., Yanık, E., Doğramacı, M., & İkinci, A. (2016). Efficacy of mating disruption technique against carob moth, *Apomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) in pomegranate orchards in Southeast Turkey (Şanlıurfa). *International Journal of Pest Management*, 62(4), 295-299.
- [6] Mamay, M., & Dağ, E. (2016). Efficacy of Mass Trapping Technique against Carob Moth [*Apomyelois* (= *Ectomyelois*) *ceratoniae* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae)] in *Pomegranate Orchards. II. International Multidisciplinary Congress of Eurasia*, (pp. 36-41), 11-13 July, Odessa, Ukraine.
- [7] Mamay, M., & Mutlu, Ç. (2019). Trend Biotechnological Management Methods Against Agricultural Pests: Mating Disruption, Mass Trapping and Attract & Kill. In *1st International Gobeklitepe Agriculture Congress* (pp. 511-517).
- [8] Sönmez, C., & Mamay, M. (2019). The Mechanism of Sterile Insect Technique and Its Importance in *Terms of Sustainable Agriculture. 1st International Gobeklitepe Agriculture Congress* (IGAC-2019), 25-27 November Şanlıurfa/Turkey, p. 615-620.
- [9] Puzanova-Malysheva, E. V. (1930). On the biology of *Eurytoma amygdali* End., the pest of plums. *Entomologicheskoe Obozrenie*, 24, 166-178.
- [10] Khizhnyak, U.V. (1966). Dynamics on the number of plum wasp and codling moth in *Kharkov District Russian*, p. 72-78.
- [11] Erkam, B. (1981). Marmara Bölgesi'nde Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaçlarında Zarar Yapan *Parlatoria oleae* Colv. (Hemiptera: Diaspididae)'nin Tanınması, Biyolojisi, Yayılışı, konukçuları, Zararı ve Doğal Düşmanları Üzerinde Araştırmalar. *Tar. ve Orm. Bak. Zirai Müc. ve Zirai kar. Gn. Müd. İst. bölge zirai müc. Araş. Enst. Müd. Araştırma Eserleri Serisi* No: 17, 945.
- [12] Ayaz, T., & Bolu H. (2012). Malatya ili kayısı bahçelerinde yeni bir zararlı *Eurytoma schreineri* Schreiner (Hymenoptera:Eurytomidae). *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 2(4), 271-276
- [13] Özbek, H., Güçlü S., & Hayat R. (1996). Investigations on the phytophagous and predator insect species on stone-fruits in North-East Agricultural Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 20(3), 267-282.
- [14] Bolu, H., & Özgen İ. (2007). Badem içkurdu (*Eurytoma amygdali* Enderlein) (Hymenoptera:Eurytomidae)'nun yayılış alanları bulaşma oranları ve parazitoidleri. *HR. Ü. Zir. Fak. Dergisi* 11 (3/4):59-65
- [15] Cakar, L. (1980). *Eurytoma amygdali* End.-(Hymenoptera, Chalcidoidea, Eurytomidae)-a pest of almond in Macedonia. *Zastita Bilja*, 31(3), 263-272.



## DROUGHT-RESPONSIVE miRNAs IN PLANTS: A REVIEW

Guzin Tombuloglu\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Al Amir, Housing 11, Damman, Saudi Arabia

### Abstract

Review paper

MicroRNAs (miRNAs) are known as single-stranded RNA molecules that are functional in all steps of plant life including growth, development, and stress responses. Plant genomes harbor hundreds of miRNAs, which have diverse functions in regulating numerous biological processes. After being first discovered in plants in the year 2002, thousands of plant miRNAs have been identified so far. With the help of recent advances in high-throughput sequencing technologies, genome and transcriptome-wide screening of miRNAs in specific conditions and a variety of plants have been conducted. Among the challenging conditions that adversely affect plants, drought stress is one of the main factors limiting plant growth and productivity worldwide. So far, drought-responsive miRNAs have been uncovered in particular plants. Moreover, functional characterizations of some miRNAs provide insights into their role in drought regulatory mechanisms. This review summarizes the most recent findings on miRNA-based drought stress regulation of plants. The study provides insights into the role of miRNAs in the drought stress response of the plant.

**Keywords:** Drought; gene regulation; miRNA; plant response; tolerance.

## BİTKİLERDE KURAKLIĞA DUYARLI miRNA'LAR: DERLEME

### Özet

Derleme makale

MikroRNA'lar (miRNA'lar), bitki yaşamının büyüme, gelişme ve stres yanıtları olmak üzere tüm aşamalarında fonksiyonel olan tek iplikli RNA molekülü olarak bilinir. Bitki genomları, sayısız biyolojik süreci düzenlemede çeşitli fonksiyonları olan yüzlerce miRNA'yı barındırır. Bitkilerde ilk kez 2002 yılında keşfedildikten sonra, bugüne kadar binlerce bitki miRNA'sı tanımlanmıştır. Yüksek verimli dizileme teknolojilerindeki son gelişmelerin yardımıyla, belirli koşullardaki çeşitli bitkilerde miRNA'ların genom ve transkriptom düzeyinde taranması gerçekleştirilmiştir. Bitkileri olumsuz etkileyen koşullardan kuraklık stresi, dünya çapında bitki büyümesini ve üretkenliğini sınırlayan başlıca faktörlerden biridir. Bugüne kadar, belirli bitkilerde kuraklığa duyarlı miRNA'lar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, bazı miRNA'ların fonksiyonel karakterizasyonları, kuraklığı düzenleyici mekanizmalardaki rolleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu derleme, bitkilerin miRNA tabanlı kuraklık stresi regulasyonuna ilişkin en son bulguları özetlemektedir. Çalışma, bitkinin kuraklık stresi yanıtında miRNA'ların rolü hakkında fikir vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitki yanıtı; gen regulasyonu; kuraklık; miRNA; tolerans.

### 1 Introduction

Drought stress is one of the main factors restricting plant growth and productivity worldwide. About half of the Earth's land area is affected by the drought [1]. According to the International Disaster Database (EM-DAT), more than 11 million people died, and 2 billion people were affected due to drought between 1900 and 2011 [2]. It is predicted that these conditions will worsen with the effect of global warming [3]. Therefore, deciphering plant responses against drought stress and understanding the molecular mechanisms of how plants naturally combat this stressor is of critical importance.

MicroRNAs (miRNAs) are a class of non-coding small RNAs with an average length of 21 nucleotides

(about 20-24 nucleotides). By binding to their complementary mRNA target in the cytosol, they can suppress the gene expression at the post-transcriptional level and regulates the biological processes. In plants, perfect or partial complementarity of miRNA result in the cleavage of the target mRNA [4-6], and thereby suppresses translation and gene function (Figure 1). Since their first discovery in *Caenorhabditis elegans* [7], 38,589 miRNAs have been currently registered in the miRNA database, miRBase v22.1 (<http://www.mirbase.org>) [8]. In addition, PmiREN (Plant miRNA ENcyclopedia) contains 20,388 miRNAs belonging to 5,757 families ([HTTP://WWW.PMIREN.COM](http://www.PMIREN.COM)) [9].

Over the last two decades, miRNAs have been identified as one of the key players in the process of

\* Corresponding author.

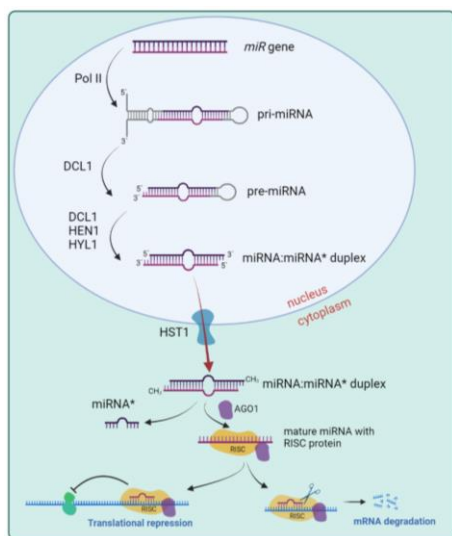
E-mail address: [guzinkeke@gmail.com](mailto:guzinkeke@gmail.com) (G. Tombuloglu)

Received 16 November 2021; Received in revised form 22 April 2022; Accepted 22 April 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1024235>

detecting and responding to drought in plants. The development of high-throughput sequencing approaches such as transcriptome (mRNA) or small RNA (sRNA) sequencing improved our knowledge of miRNA identification.



**Figure 1.** miRNA biogenesis in plant cell.

*MIRNA* genes (*miR* genes) are transcribed by RNA polymerase II enzyme (Pol II). By means of the complementary sequences, the transcript forms a stem-loop structure, called as primary or **pri-miRNA**. The main enzyme transforming pri-miRNA to **pre-miRNA** is Dicer-like 1 (DCL1), which is an RNase III endonuclease. It also catalyzes the formation of **miRNA:miRNA\* duplex** with the aid of accessory proteins including the double-stranded RNA-binding protein Hyponastic Leaves 1 (HYL1) and small RNA methyltransferase HUA Enhancer 1 (HEN1), which methylates the 2' OH groups. The methylated miRNA/miRNA\* duplex is exported to the cytosol by nuclear membrane localized Hasty protein (HST1). Once Argonaute (AGO1) and RNA-induced silencing complex (RISC) proteins selectively assembled with the guide strand (miRNA), the complementary strand or the passenger strand (miRNA\*) leaves and degrades. The mature miRNA strand binds a complementary transcript in the cytosol and forms a double stranded mRNA, which either blocks the translation process called as translational repression or cause mRNA degradation.

In the last two decades, transcriptome sequencing has identified drought-responsive miRNAs in a variety of plant species including *Arabidopsis* [10], potato [11], rice [12], soybean [13], maize [14], *Populus trichocarpa* [15], *Cynanchum komarovii* [16], *Citrullus colocynthis* [17], *Brassica napus* [18], barley [19] and wheat [20]. Although the plant genome harbors hundreds of miRNA-coding genes, their expressions are tissue or developmental stage-specific [21]. Moreover, it has been found that a single miRNA can target hundreds of mRNAs pointing out their comprehensive role in gene regulation [22]. In addition to those studies, small RNA sequencing technology has been successfully applied to identify drought-responsive miRNAs, as in rice [23], wheat [24], peach [25], sugarcane [26], *Medicago truncatula* [27], and potato [28]. Recently, an integrated drought-responsive mRNA and miRNA analyses were conducted by constructing

mRNA and small RNA libraries in tobacco [29], tomato [30] and grapevine [31]. Akdogan et al. [32] found tissue-specific differentially expressed miRNAs in drought-sensitive and drought-tolerant wheat cultivars. According to this study, miR156, miR167, miR319, miR398, miR5083, and miR5174 were differentially expressed in leaves; while miR164, miR399, miR4393, miR5072, and miR8006 were differentially expressed in roots upon drought stress treatment. Other key molecule aquaporins are found in the plasma and intracellular membranes of plant cells which are channel proteins divided into four subfamilies: plasma membrane intrinsic proteins (PIPs), tonoplast intrinsic proteins (TIPs), NOD26-like intrinsic proteins (NIPs) and small basic intrinsic proteins (BIPs). The expression of aquaporin-encoding genes can be regulated to help plants maintain their water balance under drought stress conditions [33]. To explore miRNAs and assess the expression of genes involved in drought stress tolerance, leaf and root expression sequence tags (ESTs) were analyzed in barley. The highest up-regulation was observed from the aquaporin family HvPIP1:4 [19]. These studies but not limited to, revealed novel and drought stress-responsive miRNAs in plants. However, plant species, tissue specific and developmental stage variations among those experiments limit uncovering global drought stress responsive miRNAs. While these studies give a broad perspective to decipher stress-responsive miRNAs, they give either up-regulated or down-regulated miRNAs which exhibit limited information for their key functions. Instead, functional studies reveals impressive results about the roles of these molecules in drought response regulation.

## 2 miRNA-Targeted Transcription Factors

In a global overview, drought stress-responsive miRNA studies revealed key miRNA molecules involved in drought stress regulation of plants. miRNAs generally participate in this bioprocess by targeting transcription factors (TFs) such as MYB (myeloblastosis), ARF (Auxin response factor), and NFY-A (nuclear transcription factor Y subunit alpha). For instance, in *Arabidopsis*, abscisic acid (ABA) induces miR159 accumulation during drought at the germination stage and miR159, as a negative regulator causes the cleavage of its target transcripts, *MYB101* and *MYB33*, to suppress hormone signaling (Table 1) [34, 35]. MYB transcription factors, as being the key TFs in controlling the development and stress regulation, binds *cis* elements in the *RD22* (*dehydration-responsive gene response to dehydration 22*) promoter and promote its expression resulting in osmotic and drought stress tolerance in transgenic *Arabidopsis* [36, 37]. By contrast, miR169a and miR169c are down-regulated by drought stress. Expression of miR169-target transcript *NFYA5* (encoding a subunit of the nuclear factor Y (NF-Y) transcription factor) increases and leads to enhanced drought resistance in *Arabidopsis* [38]. In addition, miR169 functionality in drought stress response has been found in rice [39], *Medicago truncatula* [27], tomato [40, 41], and wheat [16]. By contrast, miR169g was upregulated by drought in rice, and the existence of two proximate DREs (dehydration-responsive element) in the upstream of the miR169g suggests the role of

miR169g in drought stress response [39]. In addition, transgenic tomato plants overexpressing miR169c conferred drought tolerance by reducing stomatal conductance and water transpiration rate [40]. A recent study found that overexpression of soybean miR169c targeting *NF-YA* enhanced drought stress sensitivity in *Arabidopsis* [42]. It is found that is a negative regulator in drought stress and its expression is induced by polyethylene glycol (PEG), high salt, cold stress and ABA in a wide range of soybean tissues.

NAC (NAM, ATAF, and CUC) transcription factors are a plant-specific family involved in multiple developmental and stress regulatory processes, as positive or negative regulators [43, 44]. Overexpression of a mutant NAC2 gene which is unable to target by miR164b enhanced drought and salt tolerance of rice seedlings [45]. The study suggests that miR164b is a positive regulator in drought resistance. Another study found that overexpression of miR164-targeted NAC transcription factors, namely *Oryza miR164-targeted NAC (OMTN1-OMTN6)*, increased the drought stress susceptibility in rice seedlings [46]. In addition to these TFs, miR1119 targeted *bHLH* (*basic helix-loop-helix*), *LZ* (*leucine zipper*), and *CS* (*CTP synthase*) in wheat (*Triticum aestivum*) are found to be involved in drought stress regulation. Overexpression of miR1119 improved drought stress tolerance of wheat [47].

Auxin response factors (ARFs) are the transcription factors involved in every aspect of plants life including developmental and stress-regulatory bioprocesses [48]. miRNAs-mediated regulation of *ARFs* genes has been shown in some studies. For instance, overexpression of ARF-targeting miR393 improved drought stress tolerance in creeping bentgrass plants [49]. Also, *WD40* (*tryptophan-aspartic acid (W-D) repeat*), *HD-Zip* (*Homeodomain-Leu zipper*), and *AP2* (*Apetala-2*) are the other known transcription factors (TFs) that are targeted by different miRNAs and involved in the drought tolerance mechanisms (Table 1). Arshad et al. [50] showed that overexpression of WD40-targeting miR156 reduced water loss and improved root growth under drought stress in *Medicago sativa* seedlings. Zhang et al. [51] indicated that knockdown of miR166 which targets the HD-Zip transcription factor confers drought stress tolerance by maintaining reduced stomatal conductance and transpiration rates in rice (*Oryza sativa*). These studies show a strong interaction between miRNA and TFs in the homeostasis of drought stress regulation.

### 3 miRNA and Hormone Homeostasis in Drought Response

Reduction in cell growth is another strategy to struggle with water deficient condition. Because it directs the energy required for growth into protective molecules to combat stressors [52]. In this process auxin hormone signaling is found to be controlled by some miRNA families that help adaptive plant survival under many stress conditions, including drought. For instance, miR393 was accumulated in drought stressed *Arabidopsis* [53], populus [54], wheat [55], rice [56], and sugarcane [57]. But it is important to note that miR393 is a global stress responsive miRNA related to auxin signaling in

which it accumulates under biotic and abiotic stress conditions such as bacterial infection [58], salt [59], UV-B [60], cold and heat [61]. Upregulation of miR393 degrades its target transcript *TIR1* (transport inhibitor response 1), an auxin receptor. As an enzyme, TIR1 degrades the Auxin/indole-3-acetic acid (Aux/IAA) proteins. In the cell, ARF and Aux/IAA heterodimerization activates the auxin-responsive genes. Degradation of *TIR1* by increased miR393 expression prevents the Aux/IAA-ARF heterodimerization, resulting in inhibition of auxin signaling [61]. Therefore, increased miR393 expression by drought stress contributes to the suppression of ARF-mediated gene expression leading to a recession in plant cell growth and development.

In addition to miR393, miR160 and miR390 participate in the auxin-mediated drought stress response and tolerance mechanisms. Interestingly, miR390 does not target a protein coding transcript, instead, it stimulates the generation of *TAS3* tasiRNA (*TAS3*-derived *trans*-acting small interfering RNA), which controls auxin-mediated organ (aerial laterals) polarity establishment by targeting *ARF2*, *ARF3*, and *ARF4* TFs [62-65].

Another phytohormone that regulates drought-stress response is abscisic acid (ABA). miRNAs play role in the drought stress regulation by involving in the biosynthesis of ABA and signaling. Most recently, Gao et al. [96] demonstrated the importance of a bZIP family transcription factor, *OsbZIP86*, for drought-induced ABA biosynthesis in rice (*Oryza sativa*). In the absence of drought, it was shown that *OsbZIP86* is post-transcriptionally suppressed by miR2105 and ABA synthesis remains at low level. Generation of *OsbZIP86* overexpression and *miR2105* downregulation/knockout lines result in enhanced ABA synthesis and plant drought resistance without any yield suppression.

Another study found that serrate (SE), an eukaryotic RNA processing factor functional in miRNA processing [97], acts as a negative regulator in drought resistance of apple (*Malus domestica*) by regulating the expression of MYB transcription factors and miRNAs. SE suppresses the expression of two MYBs, namely *MdMYB88* and *MdMYB124* transcripts, which directly regulate the expression of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase 3 (*MdNCED3*) gene, encodes for a key enzyme in abscisic acid (ABA) biosynthesis. In addition, SE plays role in the biogenesis of some positive (miR156, miR166, miR172, and miR319) and negative (miR399) regulator of drought stress [98]. However, the functional characterization of these miRNAs in apple has not been completed yet.

### 4 Functional Identification of Drought-Stress Responsive miRNAs

In addition to hormonal control of drought stress response via miRNAs, some studies reported that plant drought stress tolerance was gained by miRNA overexpression. For instance, miR396a overexpression in *Arabidopsis* suppresses *GRF* (growth-regulating factor) level and result in lower densities of stomata and drought tolerance than that of wild-type plants [10]. In addition, the same results have been observed in tobacco in which *Arabidopsis* miR396 overexpression enhanced plant drought tolerance [78]. Previous reports revealed that

miR166 is another drought stress-responsive miRNA. Its expression decreased under drought stress in *Triticum dicoccoides* [55], barley [87] and alfalfa [88]. Overexpression of miR166a in alfalfa regulated the root and nodule development and hence drought tolerance response [88]. Controversially, drought stress decreased miR166 accumulation in alfalfa [90].

Other than those global miRNAs responsive to drought stress, experimental studies proved that some unique plant miRNAs are drought associated and enhanced drought tolerance when overexpressed. For instance, Os-miR319a overexpression in transgenic creeping bent grass (*Agrostis stolonifera*) increased drought and salt tolerance [69].

In chickpea, increased drought tolerance was achieved by overexpression of miR408 [80], which in turn is known as environmental regulator in a variety of stresses such as dehydration [87, 90, 32], and mechanical stress [91], and reactive oxygen species [92]. In line with this study, recently Balyan et al. [99] found that overexpression of miR408 in drought-sensitive rice enhances photosynthetic parameters such as electron transport rate (ETR) and effective photochemical quantum yield of photosystem II (Y(II)) and water scarcity tolerance. Additionally, the function of miR408 in drought-stress tolerance has been recently validated in cowpea seedlings, where overexpression of miR408 result in enhanced

drought and salinity tolerance in transgenic lines compared to the wild type [100]. These studies revealed the importance of miR408 in providing drought resistance in plants.

Kang et al. [66] showed that salt and drought stress tolerance was achieved in tobacco plants after miR156 overexpression. Similarly, another study by Feyissa et al. [67] highlighted the importance of miR156 in the drought stress regulation in alfalfa (*Medicago sativa*). The study indicates that drought tolerance is controlled via the interaction of miR156 and squamosa-promoter binding protein-like (SPL) transcription factors (*SPL13*). However, it is stressed that higher miR156 overexpression increases drought susceptibility in alfalfa.

Another miRNA regulates drought stress tolerance is miR171. Independent studies by Wang et al [93] and Um et al [94] showed that miR171/SCARECROW-LIKE (SCL) module regulates drought stress response in apple (*M. domestica*) and rice (*O. sativa*). While increased drought tolerance was achieved by induction of antioxidant gene expression and ascorbic acid metabolism in apple (Wang et al. 2020), it was achieved through regulation of flavonoid biosynthesis genes in rice (Um et al. 2022). In addition to these studies, miRNAs functionally characterized in drought stress regulation are summarized in Table 1.

**Table 1.** Functionally characterized drought-responsive miRNAs.

miRNA family	Species	Target	Result	Reference
miR156	<i>Zea mays</i>	SPL	Overexpression improved drought and salt tolerance in tobacco	Kang et al. [66]
miR156	<i>Medicago sativa</i>	SPL	miR156 has a role in drought stress regulation. However, high expression increases drought susceptibility in alfalfa ( <i>M. sativa</i> )	Feyissa et al. [67]
miR156	<i>Medicago sativa</i>	WD40	Overexpression reduced water loss, and enhanced root growth under drought	Arshad et al. [50]
miR159	<i>Arabidopsis thaliana</i>	MYB	Positive regulator in ABA signaling. Drought tolerance	Reyes and Chua [34]
miR164	<i>Oryza sativa</i>	NAC	Drought tolerance	Fang et al. [46], Jiang et al. [45]
miR166	<i>Oryza sativa</i>	HD-Zip	Knockdown confers drought stress tolerance, by maintaining reduced stomatal conductance and transpiration rates	Zhang et al. [51]
miR169	<i>Arabidopsis thaliana</i>	NF-Y	Overexpression increased water loss in leaves, and more sensitive to drought stress	Li et al. [38]
miR169	<i>Solanum lycopersicum</i>	NF-Y	Overexpression led reduction in stomatal opening, transpiration rate, and leaf water loss; while improved drought tolerance	Zhang et al. [40]
miR169	<i>Glycine max</i>	NF-Y	Overexpression increased drought stress sensitivity in <i>A. thaliana</i>	Yu et al. [42]
miR171	<i>Malus domestica</i>	SCL26.1	Knockout improved drought stress tolerance in apple	Wang et al. [2020]
miR171	<i>Oryza sativa</i>	SCL6-I and SCL6-II	Expressed under drought stress and regulates the expression of <i>SCL6-I</i> and <i>SCL6-II</i> . Overexpression led reduced drought symptoms.	Um et al. [2021]
miR172	<i>Glycine max</i>	AP2	Overexpression confers drought and salt tolerance in <i>A. thaliana</i>	Li et al. [68]
miR319	<i>Oryza sativa</i>	TCP	Overexpression enhanced drought and salt tolerance in bent grass ( <i>Agrostis stolonifera</i> )	Zhou et al. [69]
miR393	<i>Oryza sativa</i>	Auxin receptor genes ( <i>OsTIR1</i> and <i>OsAFB2</i> )	Hyposensitivity to synthetic auxin-analog, less tolerance to salt and drought	Xia et al. [70]
miR393	<i>Oryza sativa</i>	ARF	Overexpression improved drought stress tolerance in creeping bent grass	Ho et al. [71]
miR393	<i>Hordeum vulgare</i>	ARF	Overexpression increased stomatal density with decreased guard cell length, more sensitive to drought stress. Knockdown enhanced drought tolerance	Yuan et al. [72]



**Table 1.** Functionally characterized drought-responsive miRNAs. (Continued)

miR394	<i>Setaria italica</i>	FBP6	Overexpression increased drought tolerance in <i>A. thaliana</i>	Geng et al. [73]
miR394	<i>Glycine max</i>	<i>Glyma08g11030</i>	Overexpression lowered leaf water loss, enhanced drought tolerance in <i>A. thaliana</i>	Ni et al. [74]
miR396	<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>GRF</i>	Overexpression reduced stomata density and increased drought tolerance	Liu et al. [75]
miR397	<i>Glycine max</i>	<i>PPR</i>	Overexpression reduced drought resistance in soybean with dwarf and thick cell wall phenotypes.	Sun et al. [76]
miR396	<i>Glycine max</i>	<i>GRF</i>	Overexpression led lower water level in leaves with lower survival rate in <i>A. thaliana</i>	Liu et al. [77]
miR396	<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>GRF</i>	Overexpression decreased water loss and increased relative water content and drought tolerance in tobacco	Yang and Yu [78]
miR398	<i>Glycine max</i>	CSD, CCS	Increased sensitivity to drought in <i>G. max</i>	Zhou et al. [79]
miR398	<i>Glycine max</i>	CSD, CCS	Increased sensitivity to drought in <i>A. thaliana</i>	Zhou et al. [79]
miR408	<i>Cicer arietinum</i>	<i>plantacyanin</i>	Overexpression increased drought tolerance	Hajyzadeh et al. [80]
miR408	<i>Oryza sativa</i>	-	Enhanced drought resistance, improved relative water content (RWC), lower electrolyte leakage (EL), and less lipid peroxidation in ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> L.)	Hang et al. [81]
miR408	<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>Plantacyanin, Uclacyanin, Cupredoxin, Lac3</i>	Overexpression improved tolerance to salinity, cold and oxidative stress, while enhanced sensitivity to drought and osmotic stress	Ma et al. [82]
miR408	<i>Oryza sativa</i>	<i>phytoacyanins, Aux/IAA</i>	Overexpression confers cold tolerance, while decreased drought tolerance	Sun et al. [43]
miR408	<i>Oryza sativa</i>	<i>Plantacyanin, pirin, etc.</i>	Overexpression of in drought-sensitive rice enhances photosynthetic parameters and water scarcity tolerance	Balyan et al. 2022
miR408	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Laccase 3 (LAC3), Laccase 12 (LAC12)</i>	Overexpression enhanced drought and salinity tolerance	Mishra et al. 2022
miR535	<i>Oryza sativa</i>	SPL	Overexpression increased drought stress sensitivity in <i>O. sativa</i>	Yue et al. [83]
miR827	<i>Arabidopsis thaliana</i>	SPX	Constitutive expression negatively affected plant water use efficiency, time to anthesis and grain weight of <i>H. vulgare</i>	Ferdous et al. [84]
miR827	<i>Hordeum vulgare</i>	SPX	Overexpression under the control of drought-inducible promoter improved water use efficiency in <i>H. vulgare</i>	Ferdous et al. [84]
miR1119	<i>Triticum aestivum</i>	bHLH, LZ, CS	Overexpression improved drought stress tolerance	Shi et al. [85]
miR1916	<i>Solanum lycopersicum</i>	HDAC, STR	Overexpression increased drought sensitivity. Silencing improved drought-resistance in tomato and tobacco.	Chen et al. [86]
miR2105	<i>Oryza sativa</i>	<i>OsZIP86</i>	<i>OsZIP86</i> overexpression and miR2105 downregulation/knockout lines revealed enhanced ABA synthesis and plant drought resistance without any yield suppression	Gao et al. [96]
miR5505	<i>Oryza sativa</i>	Multiple targets	Overexpression led drought and salt stress tolerance	Fan et al. [95]

## 5 Conclusion

MicroRNAs are important players in most of the abiotic stress regulation mechanisms in plants. Therefore, identification and functional characterization of miRNAs is critical to understanding the molecular regulation mechanisms of plants to combat with water scarcity, a common problem all around the world. A Recent development in genome or transcriptome-based miRNome analyses increased our understanding on miRNA-drought stress regulation. Also, machine learning studies can help to find out the most important miRNAs in various abiotic stress conditions. Genetic modification on miRNAs by using CRISPR-Cas9 (clustered regularly interspaced short palindrome repeats-CRISPR-associated protein 9) and molecular cloning are promising approaches to generate drought-tolerant plants. In addition, the identification of drought-responsive

miRNAs provides an opportunity for early detection of plant drought resistance by using miRNA-based biosensors. This review exhibits the most recent functional findings on miRNA-drought regulation. The represented miRNAs can be the promising target for molecular breeding studies.

## Acknowledgements

The author states that the study does not require an ethics committee approval. Author has no conflict of interest.

## References

- [1] Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668.

- [2] EM-DAT (2013). Retrieved August 20, 2021 from <https://www.emdat.be/>
- [3] Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5(6), 1117–1130.
- [4] Aukerman, M. J., & Sakai, H. (2003). Regulation of flowering time and floral organ identity by a microRNA and its APETALA2-like target genes. *The Plant Cell*, 15(11), 2730–2741.
- [5] Mallory, A. C., & Vaucheret, H. (2006). Functions of microRNAs and related small RNAs in plants. *Nature genetics*, 38(6), S31–S36.
- [6] Voinnet, O. (2009). Origin, biogenesis, and activity of plant microRNAs. *Cell*, 136(4), 669–687.
- [7] Lee, R. C., Feinbaum, R. L., & Ambros, V. (1993). The *C. elegans* heterochronic gene *lin-4* encodes small RNAs with antisense complementarity to *lin-14*. *Cell*, 75(5), 843–854.
- [8] Kozomara, A., Birgaoanu, M., & Griffiths-Jones, S. (2019). miRBase: from microRNA sequences to function. *Nucleic acids research*, 47(D1), D155–D162.
- [9] Guo, Z., Kuang, Z., Wang, Y., Zhao, Y., Tao, Y., Cheng, C., ... & Yang, X. (2020). PmiREN: a comprehensive encyclopedia of plant miRNAs. *Nucleic acids research*, 48(D1), D1114–D1121.
- [10] Liu, H. H., Tian, X., Li, Y. J., Wu, C. A., & Zheng, C. C. (2008). Microarray-based analysis of stress-regulated microRNAs in *Arabidopsis thaliana*. *Rna*, 14(5), 836–843.
- [11] Gong, L., Zhang, H., Gan, X., Zhang, L., Chen, Y., Nie, F., ... & Song, Y. (2015). Transcriptome profiling of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant under drought stress and water-stimulus conditions. *PLoS One*, 10(5), e0128041.
- [12] Huang, L., Zhang, F., Wang, W., Zhou, Y., Fu, B., & Li, Z. (2014). Comparative transcriptome sequencing of tolerant rice introgression line and its parents in response to drought stress. *BMC genomics*, 15(1), 1–16.
- [13] Prince, S. J., Joshi, T., Mutava, R. N., Syed, N., Vitor, M. D. S. J., Patil, G., ... & Nguyen, H. T. (2015). Comparative analysis of the drought-responsive transcriptome in soybean lines contrasting for canopy wilting. *Plant Science*, 240, 65–78.
- [14] Kakumanu, A., Ambavaram, M. M., Klumas, C., Krishnan, A., Batlang, U., Myers, E., ... & Pereira, A. (2012). Effects of drought on gene expression in maize reproductive and leaf meristem tissue revealed by RNA-Seq. *Plant physiology*, 160(2), 846–867.
- [15] Shuai, P., Liang, D., Zhang, Z., Yin, W., & Xia, X. (2013). Identification of drought-responsive and novel *Populus trichocarpamicroRNAs* by high-throughput sequencing and their targets using degradome analysis. *Bmc Genomics*, 14(1), 1–14.
- [16] Ma, X., Wang, P., Zhou, S., Sun, Y., Liu, N., Li, X., & Hou, Y. (2015). De novo transcriptome sequencing and comprehensive analysis of the drought-responsive genes in the desert plant *Cynanchum komarovii*. *BMC genomics*, 16(1), 1–17.
- [17] Wang, Z., Hu, H., Goertzen, L. R., McElroy, J. S., & Dane, F. (2014). Analysis of the *Citrullus colocynthis* transcriptome during water deficit stress. *PLoS One*, 9(8), e104657.
- [18] Liu, C., Zhang, X., Zhang, K., An, H., Hu, K., Wen, J., ... & Fu, T. (2015). Comparative analysis of the *Brassica napus* root and leaf transcript profiling in response to drought stress. *International journal of molecular sciences*, 16(8), 18752–18777.
- [19] Zare, S., Nazarian-Firouzabadi, F., Ismaili, A., & Pakniyat, H. (2019). Identification of miRNAs and evaluation of candidate genes expression profile associated with drought stress in barley. *Plant Gene*, 20, 100205.
- [20] Iquebal, M. A., Sharma, P., Jasrotia, R. S., Jaiswal, S., Kaur, A., Saroha, M., ... & Kumar, D. (2019). RNAseq analysis reveals drought-responsive molecular pathways with candidate genes and putative molecular markers in root tissue of wheat. *Scientific reports*, 9(1), 1–18.
- [21] Obernosterer, G., Leuschner, P. J., Alenius, M., & Martinez, J. (2006). Post-transcriptional regulation of microRNA expression. *Rna*, 12(7), 1161–1167.
- [22] Sood, P., Krek, A., Zavolan, M., Macino, G., & Rajewsky, N. (2006). Cell-type-specific signatures of microRNAs on target mRNA expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(8), 2746–2751.
- [23] Barrera-Figueroa, B. E., Gao, L., Wu, Z., Zhou, X., Zhu, J., Jin, H., ... & Zhu, J. K. (2012). High throughput sequencing reveals novel and abiotic stress-regulated microRNAs in the inflorescences of rice. *BMC plant biology*, 12(1), 1–11.
- [24] Ma, X., Xin, Z., Wang, Z., Yang, Q., Guo, S., Guo, X., ... & Lin, T. (2015). Identification and comparative analysis of differentially expressed miRNAs in leaves of two wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes during dehydration stress. *BMC Plant Biology*, 15(1), 1–15.
- [25] Eldem, V., Çelikkol Akçay, U., Ozhuner, E., Bakır, Y., Uranbey, S., & Unver, T. (2012). Genome-wide identification of miRNAs responsive to drought in peach (*Prunus persica*) by high-throughput deep sequencing. *PLoS one*, 7(12), e50298.
- [26] Thiebaut, F., Grativol, C., Tanurdzic, M., Carnavale-Bottino, M., Vieira, T., Motta, M. R., ... & Ferreira, P. C. G. (2014). Differential sRNA regulation in leaves and roots of sugarcane under water depletion. *PLoS One*, 9(4), e93822.
- [27] Wang, T., Chen, L., Zhao, M., Tian, Q., & Zhang, W. H. (2011). Identification of drought-responsive microRNAs in *Medicago truncatula* by genome-wide high-throughput sequencing. *BMC genomics*, 12(1), 1–11.
- [28] Zhang, N., Yang, J., Wang, Z., Wen, Y., Wang, J., He, W., ... & Wang, D. (2014). Identification of novel and conserved microRNAs related to drought stress in potato by deep sequencing. *PLoS one*, 9(4), e95489.
- [29] Chen, Q., Li, M., Zhang, Z., Tie, W., Chen, X., Jin, L., ... & Zhou, H. (2017). Integrated mRNA and microRNA analysis identifies genes and small miRNA molecules associated with transcriptional and post-transcriptional-level responses to both drought stress and re-watering treatment in tobacco. *BMC genomics*, 18(1), 1–16.
- [30] Liu, M., Yu, H., Zhao, G., Huang, Q., Lu, Y., & Ouyang, B. (2017). Profiling of drought-responsive microRNA and mRNA in tomato using high-throughput sequencing. *BMC genomics*, 18(1), 1–18.
- [31] Luo, M., Gao, Z., Li, H., Li, Q., Zhang, C., Xu, W., ... & Wang, S. (2018). Selection of reference genes for miRNA qRT-PCR under abiotic stress in grapevine. *Scientific reports*, 8(1), 1–11.
- [32] Akdogan, G., Tufekci, E. D., Uranbey, S., & Unver, T. (2016). miRNA-based drought regulation in wheat. *Functional & integrative genomics*, 16(3), 221–233.
- [33] Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, 14(4), 7370–7390.
- [34] Reyes, J. L., & Chua, N. H. (2007). ABA induction of miR159 controls transcript levels of two MYB factors during *Arabidopsis* seed germination. *The Plant Journal*, 49(4), 592–606.
- [35] Allen, R. S., Li, J., Alonso-Peral, M. M., White, R. G., Gubler, F., & Millar, A. A. (2010). MicroR159 regulation of most conserved targets in *Arabidopsis* has negligible phenotypic effects. *Silence*, 1(1), 1–18.

- [36] Abe, H., Urao, T., Ito, T., Seki, M., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2003). Arabidopsis AtMYC2 (bHLH) and AtMYB2 (MYB) function as transcriptional activators in abscisic acid signaling. *The Plant Cell*, 15(1), 63-78.
- [37] Tombuloglu, H. (2020). Genome-wide identification and expression analysis of R2R3, 3R-and 4R-MYB transcription factors during lignin biosynthesis in flax (*Linum usitatissimum*). *Genomics*, 112(1), 782-795.
- [38] Li, W. X., Oono, Y., Zhu, J., He, X. J., Wu, J. M., Iida, K., ... & Zhu, J. K. (2008). The Arabidopsis NFYA5 transcription factor is regulated transcriptionally and posttranscriptionally to promote drought resistance. *The Plant Cell*, 20(8), 2238-2251.
- [39] Zhao, B., Liang, R., Ge, L., Li, W., Xiao, H., Lin, H., ... & Jin, Y. (2007). Identification of drought-induced microRNAs in rice. *Biochemical and biophysical research communications*, 354(2), 585-590.
- [40] Zhang, X., Zou, Z., Gong, P., Zhang, J., Ziaf, K., Li, H., ... & Ye, Z. (2011). Over-expression of microRNA169 confers enhanced drought tolerance to tomato. *Biotechnology letters*, 33(2), 403-409.
- [41] Candar-Cakir, B., Arican, E., & Zhang, B. (2016). Small RNA and degradome deep sequencing reveals drought-and tissue-specific micromRNAs and their important roles in drought-sensitive and drought-tolerant tomato genotypes. *Plant biotechnology journal*, 14(8), 1727-1746.
- [42] Yu, Y., Ni, Z., Wang, Y., Wan, H., Hu, Z., Jiang, Q., ... & Zhang, H. (2019). Overexpression of soybean miR169c confers increased drought stress sensitivity in transgenic Arabidopsis thaliana. *Plant Science*, 285, 68-78.
- [43] Sun, H., Hu, M., Li, J., Chen, L., Li, M., Zhang, S., ... & Yang, X. (2018). Comprehensive analysis of NAC transcription factors uncovers their roles during fiber development and stress response in cotton. *BMC plant biology*, 18(1), 1-15.
- [44] Dudhate, A., Shinde, H., Yu, P., Tsugama, D., Gupta, S. K., Liu, S., & Takano, T. (2021). Comprehensive analysis of NAC transcription factor family uncovers drought and salinity stress response in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *BMC genomics*, 22(1), 1-15.
- [45] Jiang, D., Zhou, L., Chen, W., Ye, N., Xia, J., & Zhuang, C. (2019). Overexpression of a microRNA-targeted NAC transcription factor improves drought and salt tolerance in Rice via ABA-mediated pathways. *Rice*, 12(1), 1-11.
- [46] Fang, Y., Xie, K., & Xiong, L. (2014). Conserved miR164-targeted NAC genes negatively regulate drought resistance in rice. *Journal of experimental botany*, 65(8), 2119-2135.
- [47] Shi, G. Q., Fu, J. Y., Rong, L. J., Zhang, P. Y., Guo, C. J., & Kai, X. I. A. O. (2018). TaMIR1119, a miRNA family member of wheat (*Triticum aestivum*), is essential in the regulation of plant drought tolerance. *Journal of integrative agriculture*, 17(11), 2369-2378.
- [48] Tombuloglu, H. (2019). Genome-wide analysis of the auxin response factors (ARF) gene family in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 28(1), 14-24.
- [49] Ho, T., Pak, H., Ryom, C., & Han, M. (2019). Overexpression of OsmiR393a gene confers drought tolerance in creeping bentgrass. *Plant Biotechnology Reports*, 13(1), 85-93.
- [50] Arshad, M., Gruber, M. Y., & Hannoufa, A. (2018). Transcriptome analysis of microRNA156 overexpression alfalfa roots under drought stress. *Scientific reports*, 8(1), 1-13.
- [51] Zhang, J., Zhang, H., Srivastava, A. K., Pan, Y., Bai, J., Fang, J., ... & Zhu, J. K. (2018). Knockdown of rice microRNA166 confers drought resistance by causing leaf rolling and altering stem xylem development. *Plant physiology*, 176(3), 2082-2094.
- [52] Ding, Y., Tao, Y., & Zhu, C. (2013). Emerging roles of microRNAs in the mediation of drought stress response in plants. *Journal of experimental botany*, 64(11), 3077-3086.
- [53] Sunkar, R., & Zhu, J. K. (2004). Novel and stress-regulated microRNAs and other small RNAs from Arabidopsis. *The Plant Cell*, 16(8), 2001-2019.
- [54] Lu, S., Sun, Y. H., & Chiang, V. L. (2008). Stress-responsive microRNAs in Populus. *The Plant Journal*, 55(1), 131-151.
- [55] Kantar, M., Lucas, S. J., & Budak, H. (2011). miRNA expression patterns of Triticum dicoccoides in response to shock drought stress. *Planta*, 233(3), 471-484.
- [56] Zhao, B., Liang, R., Ge, L., Li, W., Xiao, H., Lin, H., ... & Jin, Y. (2007). Identification of drought-induced microRNAs in rice. *Biochemical and biophysical research communications*, 354(2), 585-590.
- [57] Ferreira, T. H., Gentile, A., Vilela, R. D., Costa, G. G. L., Dias, L. I., Endres, L., & Menossi, M. (2012). microRNAs associated with drought response in the bioenergy crop sugarcane (*Saccharum* spp.). *PLoS One*, 7, 10.
- [58] Navarro, L., Dunoyer, P., Jay, F., Arnold, B., Dharmasiri, N., Estelle, M., ... & Jones, J. D. (2006). A plant miRNA contributes to antibacterial resistance by repressing auxin signaling. *Science*, 312(5772), 436-439.
- [59] Gupta, O. P., Meena, N. L., Sharma, I., & Sharma, P. (2014). Differential regulation of microRNAs in response to osmotic, salt and cold stresses in wheat. *Molecular Biology Reports*, 41(7), 4623-4629.
- [60] Zhou, X., Wang, G., & Zhang, W. (2007). UV-B responsive microRNA genes in Arabidopsis thaliana. *Molecular systems biology*, 3(1), 103.
- [61] Sunkar, R., Li, Y. F., & Jagadeeswaran, G. (2012). Functions of microRNAs in plant stress responses. *Trends in plant science*, 17(4), 196-203.
- [62] Allen, E., Xie, Z., Gustafson, A. M., & Carrington, J. C. (2005). microRNA-directed phasing during trans-acting siRNA biogenesis in plants. *Cell*, 121(2), 207-221.
- [63] Williams, L., Carles, C. C., Osmont, K. S., & Fletcher, J. C. (2005). A database analysis method identifies an endogenous trans-acting short-interfering RNA that targets the Arabidopsis ARF2, ARF3, and ARF4 genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), 9703-9708.
- [64] Pekker, I., Alvarez, J. P., & Eshed, Y. (2005). Auxin response factors mediate Arabidopsis organ asymmetry via modulation of KANADI activity. *The Plant Cell*, 17(11), 2899-2910.
- [65] Meng, Y., Ma, X., Chen, D., Wu, P., & Chen, M. (2010). MicroRNA-mediated signaling involved in plant root development. *Biochemical and biophysical research communications*, 393(3), 345-349.
- [66] Kang, T., Yu, C. Y., Liu, Y., Song, W. M., Bao, Y., Guo, X. T., ... & Zhang, H. X. (2020). Subtly manipulated expression of ZmMiR156 in tobacco improves drought and salt tolerance without changing the architecture of transgenic plants. *Frontiers in plant science*, 10, 1664.
- [67] Feyissa, B. A., Arshad, M., Gruber, M. Y., Kohalmi, S. E., & Hannoufa, A. (2019). The interplay between miR156/SPL13 and DFR/WD40-1 regulate drought tolerance in alfalfa. *BMC plant biology*, 19(1), 1-19.
- [68] Li, W., Wang, T., Zhang, Y., & Li, Y. (2016). Overexpression of soybean miR172c confers tolerance to water deficit and salt stress, but increases ABA sensitivity in transgenic Arabidopsis thaliana. *Journal of Experimental Botany*, 67(1), 175-194.
- [69] Zhou, M., Li, D., Li, Z., Hu, Q., Yang, C., Zhu, L., Luo, H., Constitutive expression of a miR319 gene alters plant development and enhances salt and drought tolerance in transgenic creeping bentgrass. *Plant Physiol*, 161, 1375-1391, 2013.

- [70] Xia, K., Wang, R., Ou, X., Fang, Z., Tian, C., Duan, J., ... & Zhang, M. (2012). OsTIR1 and OsAFB2 downregulation via OsmiR393 overexpression leads to more tillers, early flowering and less tolerance to salt and drought in rice. *PLoS one*, 7(1), e30039.
- [71] Ho, T., Pak, H., Ryom, C., & Han, M. (2019). Overexpression of OsmiR393a gene confers drought tolerance in creeping bentgrass. *Plant Biotechnology Reports*, 13(1), 85-93.
- [72] Yuan, W., Suo, J., Shi, B., Zhou, C., Bai, B., Bian, H., ... & Han, N. (2019). The barley miR393 has multiple roles in regulation of seedling growth, stomatal density, and drought stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 303-311.
- [73] Geng, Z., Liu, J., Li, D., Zhao, G., Liu, X., Dou, H., ... & Wang, Y. (2021). A Conserved miR394-Targeted F-Box Gene Positively Regulates Drought Resistance in Foxtail Millet. *Journal of Plant Biology*, 64(3), 243-252.
- [74] Ni, Z., Hu, Z., Jiang, Q., & Zhang, H. (2012). Overexpression of gma-MIR394a confers tolerance to drought in transgenic Arabidopsis thaliana. *Biochemical and biophysical research communications*, 427(2), 330-335.
- [75] Liu, D., Song, Y., Chen, Z., & Yu, D. (2009). Ectopic expression of miR396 suppresses GRF target gene expression and alters leaf growth in Arabidopsis. *Physiologia plantarum*, 136(2), 223-236.
- [76] Sun, Z., Shu, L., Zhang, W., & Wang, Z. (2020). Cca-miR398 increases copper sulfate stress sensitivity via the regulation of CSD mRNA transcription levels in transgenic Arabidopsis thaliana. *PeerJ*, 8, e9105.
- [77] Liu, B., & Sun, G. (2017). micro RNA s contribute to enhanced salt adaptation of the autopolyploid Hordeum bulbosum compared with its diploid ancestor. *The Plant Journal*, 91(1), 57-69.
- [78] Yang, F., & Yu, D. (2009). Overexpression of Arabidopsis MiR396 enhances drought tolerance in transgenic tobacco plants. *Acta Botanica Yunnanica*, 31(5), 421-426.
- [79] Zhou, Y., Liu, W., Li, X., Sun, D., Xu, K., Feng, C., ... & Li, H. (2020). Integration of sRNA, degradome, transcriptome analysis and functional investigation reveals gma-miR398c negatively regulates drought tolerance via GmCSDs and GmCCS in transgenic Arabidopsis and soybean. *BMC plant biology*, 20(1), 1-19.
- [80] Hajyzadeh, M., Turktas, M., Khawar, K. M., & Unver, T. (2015). miR408 overexpression causes increased drought tolerance in chickpea. *Gene*, 555(2), 186-193.
- [81] Hang, N., Shi, T., Liu, Y., Ye, W., Taier, G., Sun, Y., ... & Zhang, W. (2021). Overexpression of Os-microRNA408 enhances drought tolerance in perennial ryegrass. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 733-747.
- [82] Ma, C., Burd, S., & Lers, A. (2015). mi R 408 is involved in abiotic stress responses in A rabadopsis. *The Plant Journal*, 84(1), 169-187.
- [83] Yue, E., Cao, H., & Liu, B. (2020). OsmiR535, a potential genetic editing target for drought and salinity stress tolerance in Oryza sativa. *Plants*, 9(10), 1337.
- [84] Ferdous, J., Whitford, R., Nguyen, M., Brien, C., Langridge, P., & Tricker, P. J. (2017). Drought-inducible expression of Hv-miR827 enhances drought tolerance in transgenic barley. *Functional & integrative genomics*, 17(2), 279-292.
- [85] Shi, G. Q., Fu, J. Y., Rong, L. J., Zhang, P. Y., Guo, C. J., & Kai, X. I. A. O. (2018). TaMIR1119, a miRNA family member of wheat (*Triticum aestivum*), is essential in the regulation of plant drought tolerance. *Journal of integrative agriculture*, 17(11), 2369-2378.
- [86] Chen, L., Meng, J., & Luan, Y. (2019). miR1916 plays a role as a negative regulator in drought stress resistance in tomato and tobacco. *Biochemical and biophysical research communications*, 508(2), 597-602.
- [87] Kantar, M., Unver, T., & Budak, H. (2010). Regulation of barley miRNAs upon dehydration stress correlated with target gene expression. *Functional & integrative genomics*, 10(4), 493-507.
- [88] Li, Y., Wan, L., Bi, S., Wan, X., Li, Z., Cao, J., ... & Li, X. (2017). Identification of drought-responsive microRNAs from roots and leaves of alfalfa by high-throughput sequencing. *Genes*, 8(4), 119.
- [89] Boualem, A., Laporte, P., Jovanovic, M., Laffont, C., Plet, J., Comber, J. P., ... & Frugier, F. (2008). MicroRNA166 controls root and nodule development in Medicago truncatula. *The Plant Journal*, 54(5), 876-887.
- [90] Trindade, I., Capitão, C., Dalmay, T., Feveiro, M. P., & Santos, D. M. D. (2010). miR398 and miR408 are up-regulated in response to water deficit in Medicago truncatula. *Planta*, 231(3), 705-716.
- [91] Lu, S., Sun, Y. H., Shi, R., Clark, C., Li, L., & Chiang, V. L. (2005). Novel and mechanical stress-responsive microRNAs in Populus trichocarpa that are absent from Arabidopsis. *The Plant Cell*, 17(8), 2186-2203.
- [92] Li, T., Li, H., Zhang, Y. X., & Liu, J. Y. (2011). Identification and analysis of seven H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-responsive miRNAs and 32 new miRNAs in the seedlings of rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica). *Nucleic acids research*, 39(7), 2821-2833.
- [93] Wang, Y., Feng, C., Zhai, Z., Peng, X., Wang, Y., Sun, Y., ... & Li, T. (2020). The apple microR171i-SCARECROW-LIKE PROTEINS26.1 module enhances drought stress tolerance by integrating ascorbic acid metabolism. *Plant physiology*, 184(1), 194-211.
- [94] Um, T., Choi, J., Park, T., Chung, P. J., Jung, S. E., Shim, J. S., ... & Kim, J. K. (2022). Rice microRNA171f/SCL6 module enhances drought tolerance by regulation of flavonoid biosynthesis genes. *Plant direct*, 6(1), e374.
- [95] Fan, Y., Zhang, F., & Xie, J. (2022). Overexpression of miR5505 enhanced drought and salt resistance in rice (*Oryza sativa*). *bioRxiv*.
- [96] Gao, W., Li, M., Yang, S., Gao, C., Su, Y., Zeng, X., ... & Xia, K. (2022). miR2105 and the kinase OsSAPK10 co-regulate OsbZIP86 to mediate drought-induced ABA biosynthesis in rice. *Plant Physiology*, 189(2), 889-905.
- [97] Dong, Z., Han, M. H., & Fedoroff, N. (2008). The RNA-binding proteins HYL1 and SE promote accurate in vitro processing of pri-miRNA by DCL1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(29), 9970-9975.
- [98] Li, X., Chen, P., Xie, Y., Yan, Y., Wang, L., Dang, H., ... & Guan, Q. (2020). Apple SERRATE negatively mediates drought resistance by regulating MdMYB88 and MdMYB124 and microRNA biogenesis. *Horticulture research*, 7.
- [99] Balyan, S., Kansal, S., Jajo, R., Behere, P. R., Chatterjee, R., & Raghuvanshi, S. (2022). Delineating the Tissue-Mediated Drought Stress Governed Tuning of Conserved miR408 and Its Targets in Rice. *Preprints*, 2022020113.
- [100] Mishra, S., Sahu, G., & Shaw, B. P. (2022). Integrative small RNA and transcriptome analysis provides insight into key role of miR408 towards drought tolerance response in cowpea. *Plant Cell Reports*, 41(1), 75-94.



## DATABASE RECOVERY TECHNIQUES IN MICROSOFT SQL SERVER

Ender Şahinaslan<sup>1</sup> , Önder Şahinaslan<sup>\*2</sup> 

<sup>1</sup>EA Health, Education and Informatics Ltd. Sti., IT Consultant, Turkey

<sup>2</sup>Maltepe University, Head of Informatics Department., Turkey

### Abstract

*Original scientific paper*

In today's world where information-based big data is shared, protecting, storing and accessing data is of critical importance. Protected data should be accessible when needed. Digitization and digital transformation cause great changes in data storage and storage technologies. While the size of data backup tools is getting smaller, their capacity is increasing, and they are moving towards more cost-effective and faster reliable technologies. Despite all these positive developments, there are problems of corruption on the devices and systems where the data is stored. As a result, data access problems occur. This problem means that business processes stop in an institution where data-based transactions take place. The damage to the drying of each time spent in the study is quite large. On the other hand, in sectors such as banking, education, defense, health, insurance, agriculture, telecommunications, data is usually kept on one or more of the relational databases such as Microsoft SQL, My SQL, Postgre SQL and Oracle. There is a need for new research on how to recover data with which techniques, processes and methods in the face of a corruption event that may occur on these databases or servers. This issue has a critical importance in terms of ensuring the continuity of digital data infrastructures. If a quick solution cannot be produced in the face of a sudden interruption in database access, it will cause serious problems in business continuity. The causes of corruption in the use of Microsoft database, the measures that can be taken against them, consistency checks and database recovery methods are investigated. Techniques and methods based on database recovery scenarios in Microsoft SQL server used in large data centers are examined. Methods of overcoming a corruption problem in the database with the least damage in the shortest time are explained, and application practices are studied through VT recovery scenarios. This study also serves as a guide for students, researchers and technical staff.

**Keywords:** MS SQL server, corruption, database, database recovery, data backup.

## MICROSOFT SQL SUNUCUSUNDA VERİ TABANI KURTARMA TEKNİKLERİ

### Özet

*Orijinal bilimsel makale*

Enformasyona dayalı büyük verilerin paylaşıldığı günümüzde verinin korunması, saklanması ve erişilmesi kritik öneme sahiptir. Korunan bir veri ihtiyaç duyulduğunda erişilebilir olmalıdır. Dijitalleşme ve dijital dönüşüm veri saklama ve depolama teknolojilerinde büyük değişimlere neden olmaktadır. Veri yedek alma araçlarının boyutları küçülürken kapasiteleri yükselmekte, daha uygun maliyette ve daha hızlı güvenilir teknolojilere doğru ilerlemektedir. Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen verilerin saklandığı cihaz ve sistemler üzerinde bozulma problemleri yaşanmaktadır. Bunun sonucunda veri erişim sorunları oluşmaktadır. Bu sorun veriye dayalı işlemlerin gerçekleştiği bir kurumda iş süreçlerinin durması demektir. Çalışmada geçen her bir sürenin kuruma vereceği hasar oldukça büyüktür. Diğer taraftan bankacılık, eğitim, savunma, sağlık, sigorta, tarım, telekomünikasyon gibi sektörlerde veriler genellikle Microsoft SQL, My SQL, Postgre SQL ve Oracle benzeri ilişkisel veri tabanlarının biri veya birkaçı üzerinde tutulur. Bu veri tabanları veya sunucular üzerinde yaşanabilecek bir bozulma olayı karşısında verinin hangi teknik, süreç ve yöntemlerle nasıl kurtarılması konusunda yeni araştırmalara ihtiyaç vardır. Bu konu dijital veri altyapıların sürekliliğinin sağlanması bakımından kritik öneme sahiptir. Veri tabanı erişiminde yaşanabilecek ani bir kesinti karşısında hızlı bir çözüm üretilmemesi durumunda iş sürekliliğinde ciddi sorunlara neden olur. Microsoft veri tabanı kullanımında karşılaşılan bozulma nedenleri, bunlara karşı alınabilecek önlemler, tutarlılık kontrolleri ve veri tabanı kurtarma yöntemleri araştırılmıştır. Büyük veri merkezlerinde kullanılan Microsoft SQL sunucusunda veri tabanı kurtarma senaryolarına dayalı teknik ve yöntemler incelenmiştir. Veri tabanında yaşanabilecek bir bozulma problemin en kısa sürede en az hasarla atlatılabilen yöntemleri anlatılmış, VT kurtarma senaryoları üzerinden uygulama pratikleri çalışılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda öğrenci, araştırmacı ve teknik çalışanlar için bir kılavuz niteliğindedir.

**Anahtar Kelimeler:** MS SQL sunucu, bozulma, veri tabanı, veri tabanı kurtarma, veri yedekleme.

\* Corresponding author.

E-mail address: [ondersahinaslan@maltepe.edu.tr](mailto:ondersahinaslan@maltepe.edu.tr) ( Ö. Şahinaslan)

Received 10 February 2022; Received in revised form 06 June 2022; Accepted 20 June 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1070325>

## 1 Giriş

Veri günümüzde en önemli varlıklardan biri haline gelmiştir. Veri, harf, rakam, sembol ve işaretlerden oluşan ham, işlenmemiş gözlem veya gerçeklerdir [1]. Veriler video, kâğıt, dosya, disk, veri tabanı(VT) gibi ortamlarda farklı biçimlerde yer alır. Dijitalleşmeye bağlı olarak veriye olan talep, ihtiyaç ve kullanım biçimleri bilgi varlıklarının merkezinde konumlanmıştır. Veriden bilgiye dönüşüm süreçlerinde ve hızlı stratejik kararlar almada güncel veriler kullanılır. Bu verilere farklı platformlardan aynı anda erişme, okuma, işleme ve yazma işlemleri gerçekleştirilir. Birbirleriyle veri alış verişinin yaygın hale geldiği günümüzde veriler genellikle merkezi yapılar üzerinde güvenli ve erişilebilir halde tutulmaya çalışılır. Bu ihtiyacı karşılayan en önemli platformlar veri tabanlarıdır. VT, kendi aralarında mantıksal olarak ilişkilendirilmiş verilerin belirli bir sistematik yapı içerisinde çok amaçlı kullanımına olanak sağlayan yapılardır [2]. Oluşturulan merkezi veri tabanları sayesinde her türlü uygulama, donanım, sistem araçları üzerinden elde edilen veriler kaydedilir, işlenir talep edildiğinde hızlı ve güvenli bir biçimde iletilir. Anlık tutulan kayıtlar zamanla artar ve büyük kapasiteli veri tabanları haline dönüşür. Geçmişe dönük kaydedilen bu verilerin analizinden şirketler küresel rekabet ortamında hizmet seviyelerinin yükseltilmesinde, kalite ve maliyetlerin iyileştirilmesinde birçok alanda avantajlar sağlamaktadır. Dolayısıyla işletmelerde tutulan verilerin kapasiteleri sürekli artmaktadır.

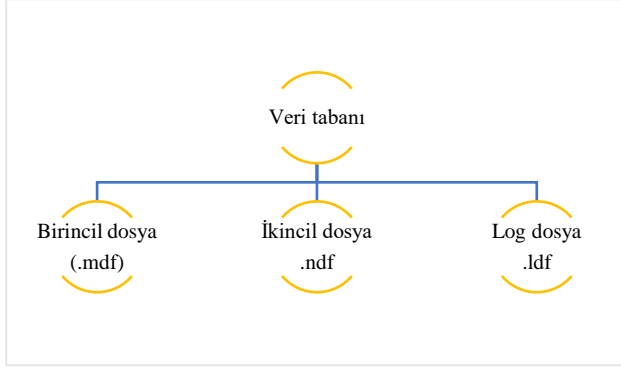
İş ve yaşam biçimlerinin hızla dijitalleşmesi, Endüstri 4.0'a geçiş ve bilgi teknolojilerindeki artış bilgiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Diğer taraftan telekomünikasyon, bankacılık, sağlık, savunma, eğitim gibi birçok sektörde iş sürekliliğini etkileyebilecek anlık kesintiler yâda veri kayıpları sistemlerin sürekliliği üzerinde yıkıcı oluşturur. Bir yandan veriye be denli bağımlılık söz konusu iken diğer taraftan veri tabanlarına gün içinde yaşanan teknik problemlerden dolayı erişilememe ve yedekten dönme ihtiyacı bir gerçekliktir. Teknik olarak bu bozulma durumları tam olarak önlenemese de bir veri bozulması söz konusu olduğunda bunun en az kayıpla en hızlı bir şekilde yeniden işler hale getirilebilmesinin yol ve yöntemlerinin neler olduğu bir araştırma ve çalışmanın konusudur. Verilen örnek senaryo ve anlatımlarda uygulanacak yol ve yöntemlerin ne biçimde olması gerektiği, öncesinde yapılacak testlerle belli bir deneyimin elde edilmesi, olası kesinti veya bozulma karşısında ise aksiyonların en hızlı alınarak sürecin doğru şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Veriler veya verilerin depolandığı donanım, sistem ve uygulamalarda zamanla çeşitli bozulmalar yaşanmaktadır. Bu bozulmalar sonucunda normal yöntemlerle erişilemeyen verilerin özel yöntemlerle geri getirilmesine işlemine veri kurtarma denir [3]. Bu verilerin kurtarılması konusunda, ticari firmaların kullandıkları araç ve yöntemler gizlilik ve ticari rekabet gibi çeşitli nedenlerden dolayı paylaşılmamaktadır [4]. Bu durum, her hangi bir sebepten dolayı VT üzerinde yaşanacak bir veri bozulma olayının gerçekleşmesi durumunda bu tür ticari firmaların kapalı uygulamalarına bağımlı bırakılmaktadır. Oysa çözüme dair temel yöntem ve tekniklerin, bunlara ilişkin işlem adımlarının belirli olgunluk ve düzende bir araya

getirilerek uygulanabilir bir yapının açık biçimde ortaya çıkartılma ihtiyacı vardır. Diğer taraftan dünyanın önde gelen veri kurtarma hizmeti sağlayıcılarından birisi olan Ontrack firması tarafından Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Kanada, İngiltere, İspanya ve İtalya'dan 484 kuruluşla anket yapılmıştır. Bu anket sonuçlarına göre ankete katılan kuruluşların %39'unun herhangi bir fideye yazılımı acil durum plana sahip olmadıklarını veya bilmediklerini ifade etmişlerdir. Ankete katılanların %21'i bir fideye yazılımı saldırısı yaşadıklarını ve bu olay sonrası çalışabilen bir yedekleme ünitesine erişemediklerini söyleyenlerin oranı ise %26'dan fazla bulunmuştur. Ayrıca çalışan bir yedeklemeye erişebilenlerin ise yalnızca %22'si verilerin sadece bir kısmı geri yükleyebildiğini veya hiç geri yükleyemediği yönünde görüş vermişlerdir [5]. Bu sonuçlar saldırıların verilere erişememe problemlerine neden olduğunu, bu tür sorunların gelişmiş ülkelerin belli başlı kurumlarında bile kayda değer ölçekte yaşanabildiğini göstermektedir. Bu örneklerde veri erişim problemi yanında verinin şifrelenmemiş ilk haline ulaşamama sorunu da mevcuttur. Saldırı sonrası orijinal veriye dönüşteki başarı düzeyinin düşüklüğü dikkat çekicidir. Bu tür öngörülmeleyen saldırı, güvenlik, donanım, yazılım ve sistem altyapı arızaları gibi nedenden dolayı verilere her hangi bir t zamanında erişilememesi söz konusudur. Bu türden bir problemler durumları sonrası bir hasarla karşılaşılması için VT sistemlerinde yedekleme ve kurtarma teknikleri uygulanır. Bu tekniklerin etkin bir şekilde uygulanmasında VT yönetim sistemlerinin üzerinde çalıştığı işletim sistemleri, disk üniteleri etkilidir. Son vd. (2020) yedekleme, kurtarma geri dönüş sürecini kısaltmada SATA tabanlı disk yerine yüksek performanslı SSD disk kullanmanın önemi vurgulanmıştır [6]. Armoush vd.(2020), yedeklenecek verilerin sabit uzunlukta bloklara bölünerek hiyerarşik bir yapı oluşturma, dosya aktarımlarında ise sadece değişen blokların kopyalanarak yüksek güvenilirlik ve hızda bir yedekleme çalışması önerilmiştir [7, 8]. Wibowo vd.(2018) ise yedekleme sunucularındaki yükün azaltılmasına yönelik iş sürekliliğinin sağlanması için yedekleme yönetimi ve performans yönetimini bir arada ölçülenebilir faktörlerle yönetilmesine vurgu yapılmıştır [9]. Verilerin sistematik şekilde yedeklenmesi ve geri yüklemesi [10], yedekleme ve kurtarma işlemlerinde verilerdeki tutarlılık [11], veri kurtarmada kullanılan gelişmiş yazılımlar [12], karşılaşılabilecek donanım ve yazılım problemleri [13], sanallaştırmanın önemi, sağladığı performans ve hız kazanımları [14] ile bu süreçlerin etkin biçimde yönetilmesine [15] yönelik çalışmalar başarılı yayınlar olarak incelenmiştir. Tüm bu çalışmalar VT ve kurtarma tekniklerinin bilgi sistemlerine erişilebilirlik ve süreklilik bakımından önemli bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Yapılan bu çalışmada yaygın kullanıma sahip olan Microsoft SQL (MS SQL) VT sunucusu üzerinde yaşanabilecek bir bozulma karşısında veri kurtarma tekniklerinin neler olduğuna dair elde edilen bilgi ve deneyimlerin uygulamalı olarak anlatılmıştır. Bu çalışma kapsamında VT bozulma nedenleri, veri tutarlılık kontrolleri, kurtarma yöntemleri, fiziksel mimari yapı ve ilgili teknoloji örnekleri, RAID sanallaştırma teknolojisi, VT kurtarma senaryo örnekleri, yedekten dönme işlemleri, kurgulanmış bozulma senaryo ve kurtarma teknikleri MS SQL sözdizimi örnekleri birlikte ele alınmıştır.

## 2 MS SQL Veri Tabanı ve Bozulma

MS SQL sunucusunda veriler kullanıcılar tarafından görülebilecek şekilde mantıksal bileşenler halinde VT üzerinde tutulur. Fiziksel olarak ise disk üzerinde yer alan veri dosyaları üzerinde tutulur. SQL Server VT'nda üç tür dosya bulunur. Birincil veri dosyasının varsayılan uzantısı '.mdf', ikincil veri dosyalarının uzantısı ise '.ndf'dir. VT kurtarmada kullanılacak günlük bilgilerinin tutulduğu '.ldf' uzantılı 'log' dosyası vardır. Şekil 1'de MS SQL VT dosya türleri gösterilmektedir.



Şekil 1. MS SQL VT dosya türleri.

MS SQL VT'ndan veriler SQL Server sunucusu üzerinde '.mdf' uzantılı veri dosyalarının sayfa (*page*) adı verilen küçük birimler üzerinde tutulur. Bir veri üzerinde okuma, değiştirme ve güncelleme yapılmak istenildiğinde VT motoru (*database engine*) öncelikle ilgili verinin bulunduğu sayfayı ana bellek (*memory*) üzerinde arar ve ilgili verinin bellek üzerinde bulunamaması durumunda ilgili sayfayı disk üzerinden okuyarak ana belleğe kopyalar. Ana bellek üzerinde istenilen değişikliği gerçekleştirdikten sonra ilgili veri sayfasını disk üzerine yazar. Her bir verinin okunma, güncellenme, silme ve kaydedilme temel işleyişi buna benzerdir. Bu DML ve DLL işlemleri esnasında disk ve bellek üzerindeki gidip gelen sayfalar birbiriyle karşılaştırmaya tabi tutulur. Bu karşılaştırma işlemleri sırasında sorgu motoru tarafından her hangi uyumsuzluk tespiti olması durumunda bu bozulma (*corruption*) olarak rapor edilir. Bozulma bellek, disk, veri sayfalarının tutulduğu '.mdf' türü VT dosyalarda ve her işleme ait denetim izlerinin tutulduğu 'log' türü dosyalarda oluşabilir.

### 2.1 Veri Tabanı Bozuma Nedenleri

VT bozulmalarının birçok sebebi vardır. Bunlardan en sık karşılaşılan sebep disklerden kaynaklıdır. Diskler üzerinde aşırı sıcaklık artışı veya düşüşünde yaşanabilecek değişiklikler, manyetik alana maruz kalma, titreşim, güç kesintileri gibi bir takım nedenlerden dolayı bozulabilmektedir. Verinin depolandığı diskte yaşanan bozulma kaçınılmaz olarak VT/veri bozulmasına neden olmaktadır. VT bozulmasına neden olan diğer etmenler aşağıda aktarılmaktadır.

**Disk Şifreleme:** VT üzerinde yer alan verilere kontrolsüz veya izinsiz erişimleri engellemek için SQL VT üzerinde şifreleme yöntemi uygulanır. Bunun yerine veya buna ilave diskin şifrelenmesi söz konusu olabilir. Ancak milyonlarca verinin aynı anda okunması, yazılması, güncellenmesi ve

silinmesi gibi işlemlerin aynı anda zamanla yarışmasına hızlı gerçekleştiği, çok yoğun kullanılan bir VT kullanımında; VT şifreleme yerine ve buna ek bir disk şifreleme işleminin yapılmaması önerilmektedir. Çünkü her bir şifreleme ek bir süre maliyeti ve işlemlerde gecikmelere neden olmaktadır. Çok yoğun kullanılan VT ve disklerde veri şifresi çözme/işlem/yeniden şifreleme türünde fazladan yapılan işlemler sırasında zaman zaman veri kaçırmaya veya bozulma olayıyla karşılaşılabilir. Özellikle canlı ortamlarda çalışan veri tabanlarında disk şifreleme önerilmemektedir.

**Bellek:** VT verilerine ait her türlü işlemin bellek üzerinde yapılır. SQL sunucusunun açılıp çalışmasına yetecek yeterli bellek alanı olmaması. Bellek kartı ve bellek çevre birimleri üzerinde oluşan sorunlar.

**İşletim Sistemi:** İşletim sistemine ait sistemsel hatalar, güncel olmayan işletim sistemlerinde oluşan 'bug' türü sorunlar, donanım sistem yazılımlarındaki uyumsuzluklar, SQL Server haberleşme problemleri gibi temelde işletim sisteminden kaynaklı sorunlar

**Zararlı Yazılımlar:** Virüs gibi zararlı yazılımlar tarafından işletim sistemi, disk, bellek gibi ortamlar üzerinde oluşan hasarlardan kaynaklı VT sistemleri etkilenmektedir. Ancak VT dosyaları, dosya temel alan okuma yapıldığından dosyadaki verilerin etkilenmemesi için anti-virüs uygulamaları üzerinde yapılacak bir ayarlama VT dosyalarının hariç tutulması özellikle hız performans açısından önerilmektedir.

**Elektrik Kesintileri:** Özellikle çoklu işlemlerin çevrimiçi gerçekleştiği kritik bir VT'nda bir sayfanın diske yazımı sırasında yaşanabilecek bir elektrik kesintisinin oluşması verinin tam olarak VT depolama sistemi üzerine yazılamamasına sebep olur. Bu ani kesintiler işletim sistemi disk ve VT sistemlerinde üzerinde bozulmalara neden olabilmektedir.

**Diğer Nedenler:** SAN Controller, ağ (*network*) kartları giriş çıkış (I/O) haberleşme üniteleri, Raid kontrol kartları, yetersiz disk, .mdf, .ldf dosya yapılarında ve disk alanında bozulma (*bad sector*) oluşmasından kaynaklı sorun ve hatalar. Ayrıca aşırı ısınma, sabotaj, darbe, düşürme, cihaz üzerine sıvı dökülmesi, tozlu ortam, manyetik ortam, su baskını, toprak kayması, yangın, deprem, sarsıntı gibi her türlü fiziksel kaynaklı hasarlar ve kasıtlı/bilinçsiz kullanıcıdan kaynaklı kullanım hataları sayılabilir. Tüm bu ve benzeri nedenler MS SQL VT sistemlerini olumsuz etkileyerek veri bozulmalarına neden olabilmektedir.

### 2.2 Bozulma Öncesi Kontrol ve Önlemler

Her ne kadar VT bozulmalarının önüne tam olarak geçilemeyecek olsa da öncesinde bazı önlem ve kontroller alabilmek mümkündür. Bu kontroller sayesinde olası hata ve bozulmalara karşı tedbir olarak yedekli bir yapıda bir takım uyarı mekanizmaları önceden oluşturulabilir. İzleme ve uyarı araçlarının yardımıyla risklere karşı çeşitli önlemler alabilmek mümkündür. Veri depolama ve yedeklemede MS SQL Sunucu '*fail over cluster*', '*log shipping*', '*replication*', VT aynalama, '*always on*' mimari yapıları ve '*RAID*' sanallaştırma teknolojisi, sunucu hata günlükleri üzerinden giriş/çıkış sistemleri hata kontrolleri ve sunucu kontrol mekanizmalarından sayfa koruma yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

## 2.2.1 Giriş Çıkış Hata Kontrolleri

MS SQL sunucuda bir giriş/çıkış(I/O) hatasıyla karşılaşıldığında bu durum sunucunun hata günlüklerine düşer ve sunucu ile iletişim kesilir. Bir sayfa üzerinde okuma yapılırken bir hata alınması durumunda ise bu hata bilgisi MS SQL VT üzerinde bulunan şüpheli sayfalar (*suspect\_pages*) tablosuna kaydedilir. Bozulma durumu düzeltildikten sonra bu tablonun silinmesi(*truncate*) gerçekleştirilmelidir. Böylece daha önceden karşılaşılan ve düzeltilen sayfaların tekrar ortaya çıkması ve bunun bir karışıklığa sebebiyet vermesi önlenmiş olur. Ayrıca bu tür bir hatanın oluşması durumunda SQL sunucu üzerindeki ajan (*agent*) üzerinde bir alarm kurgulamak ve ilgili sorumlulara e-posta, SMS gibi çeşitli kanallardan

bilgilendirme yapılması karşılaşılan bir hatada erken aksiyon alma imkânı sunar.

## 2.2.2 Sayfa Koruma Seçenekleri

MS SQL sunucu motoru kontrol mekanizmaları sayesinde sistem tarafından kopuk sayfa algılama, sayfa kontrolü ve otomatik sayfa kurtarma şeklinde üç tür hata tespitinde bulunabilir. Bunların hangisine izin verilip verilmemesi VT yöneticilerinin tercihine bırakılmıştır.

**Kopuk Sayfa Algılama (*Torn-Page Detection*):** MS SQL mimarisinde bir sayfa (*page*) 16\*512= bit olarak hesaplanır yani 8 KB'dır.

Bir VT üzerinde yer alan sayfalara ait örnek liste görüntüsü Şekil 2'de gösterilmektedir.

PageFID	PagePID	IAMFID	IAMPID	ObjectID	IndexID	PartitionNumber	PartitionID	iam_chain_type	PageType	IndexLevel	NextPageFID	NextPagePID	PrevPageFID	PrevPagePID
5	1647	NULL	NULL	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	10	NULL	1	1599	0	0
5	1646	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	5	512527	4	282555
1	347633	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	2	1	4	497115	0	0
1	347634	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	3	369267	3	450368
4	56034	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	3	356327	3	314914
1	1376	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	4	279559	4	278755
4	56055	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	5	409196	4	302242
1	1486	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	4	278759	3	471166
1	1596	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	4	320333	1	505782
5	404736	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	4	314014	4	285703
5	404737	5	1647	1028198713	1	1	72057594049134592	In-row data	1	0	3	335884	5	404743

Şekil 2. VT sayfaları liste örneği.

Her bir sayfa bilgisinin yer aldığı satırda o sayfadan önceki ve sonraki sayfalara ait sayfa ID (*PrevPageFID* ve *PrevPagePID*) bilgileri yer alır. DBCC IND söz dizimi [16] kullanımı sonucunda bir tablo veya dizinin kullandığı sayfanın dosya kimliği(*PageFID*), dosyadaki sayfa numarası(*PagePID*), nesne(*ObjectID*), dizin(*IndexID*) gibi veriler listelenir.

Bu sayfaların yazım esnasında yani 512 bit'lik serinin bir kısmı diske yazılırken VT erişilemez duruma gelirse yazılmaya çalışılan dosya üzerinde bir takım eksiklikler oluşur. Bu durumda kopuk veya yırtık sayfa olarak da adlandırılan eksik yazma işlemi tespit edilir. Ancak bu özellik eski bir algoritma olup fiziksel bozulmaları ve sayfa ortasındaki bozulmaları tespit edemez. MS SQL 2005 sonrası sürümlerde daha gelişmiş bir özellik olan sayfa kontrolü(*page checksum*) kullanılması önerilmektedir. *Torn-Page Detection*'ı aktif etmek için '*ALTER DATABASE Örnek\_DB SET PAGE\_VERIFY TORN\_PAGE\_DETECTION WITH NO\_WAIT*' örnek komut seti kullanılabilir.

**Sayfa Kontrolü (*Page Checksum*):** MS SQL'de sayfa bazında toplu doğrulama yapma algoritmasına dayanır. TempDB dışında tüm veri tabanları oluşturulduğunda sayfa kontrol parametresi varsayılan olarak seçili gelmektedir. Sayfa başına hesaplanan 4 byte'lık bir değer sayfa başlık (*page header*) bilgisinde tutulur. SQL sunucusu diske bir değer yazacağı zaman bu hesaplamayı yapar ve bunu başlık bilgisine kaydeder. Bu sayfa diskten yeniden okunurken bu değer yeniden hesaplanır. Başlık bilgisine yazma sırasında önceden yazılmış olan tuttuğu veri ile karşılaştırması sonucunda bu değerler birbiri ile aynı ise süreç devam eder. Aksi halde sayfanın bozuk olduğuna karar vererek hata üretir. VT'nın sayfa doğrulama(*page verify*) özelliğini el yordamıyla değiştirme için '*ALTER DATABASE Veritabanı\_ADİ DB SET PAGE\_VERIFY CHECKSUM WITH NO\_WAIT*' sözdizimi örneği kullanılır.

**Otomatik Sayfa Kurtarma (*Automatic Page Repair*):** Aynalama gibi güncel veri yedekleme teknolojilerinde çalışan birincil veya ikincil sunucuda sayfaların otomatik olarak düzeltilmesini sağlayan bir teknolojidir. Otomatik sayfa kurtarma; "*824-Soft I/O Error*", "*823-Hard I/O Error*" ve "*829-In Restore*" hatalarını düzeltebilir. Bu düzeltme asenkron olarak ilgili sayfa okunduğu veya yazıldığı durumlarda gerçekleşir. Çevrimiçi hata oluşmaz.

## 2.3 Bozulma Tutarlılık Kontrolleri

VT ve yedek dosyalar üzerinde iki temel tutarlılık kontrolü kullanılır. VT üzerinden sayfa, dizin, sistem tablosu, bilgi tutarlılıkları ile fiziksel ve mantıksal tutarlılık kontrolü gerçekleştirilir. Disk, sürücü ve bellek gibi diğer donanım kaynaklı bozulmalara ilişkin tutarlılık kontrolü ise yedek dosya üzerinden yapılır.

### 2.3.1 Veri Tabanı Kontrolü

Kopuk sayfa algılama ve sayfa kontrol yöntemlerinde bir sayfanın diske yazımı sırasında oluşan bir hatadan dolayı, diske yazamadığı durum hakkında bilgi vermektedir. Oysa veri tabanı üzerindeki yazma işlemi yapılmayan sayfalar haricindeki bölümlerde oluşan bir takım bozulmaların tespitinde bu yöntemler kullanılamaz.

MS SQL VT üzerindeki dosyaların tutarlılık kontrolleri için VT konsol komutlarından DBCC '*CHECKDB*' kullanılır. DBCC CHECKDB VT üzerinde gerçekleştirilen ana tutarlılık kontrolüdür. Bu kontrol işleminde veri tabanı üzerindeki tüm dosyalar sırayla okunur, bu okuma işlemi sırasında okunan her bir dosyanın sistem tarafından daha önce belirlenen sırada olup olmadığı kontrol edilir. VT isimlendirme kurallarına uygun şekilde isimlendirme yapılır. Bir isim yazılmadığında veya '0' değeri girildiğinde çalışılan geçerli veri dikkate alınır.



DBCC CHECKDB sözdizimi Şekil 3’de, kullanılan parametreler ve kullanım amaçları [17]:

```

DBCC CHECKDB
[ ( database_name | database_id | 0
  [ , NOINDEX
  | , { REPAIR_ALLOW_DATA_LOSS | REPAIR_FAST | REPAIR_REBUILD } ]
) ]
[ WITH
  {
    [ ALL_ERRORMSGS ]
    [ , EXTENDED_LOGICAL_CHECKS ]
    [ , NO_INFOMSGS ]
    [ , TABLOCK ]
    [ , ESTIMATEONLY ]
    [ , { PHYSICAL_ONLY | DATA_PURITY } ]
    [ , MAXDOP = number_of_processors ]
  }
]

```

Şekil 3. MS SQL VT kontrol söz dizimi

**NOINDEX.** Kullanıcı tabloları üzerindeki kümelenmiş dizin(*clustered index*)’lerin kontrol edilmemesini sağlar. Bu işlem genel çalışma süresini kısaltır.

**REPAIR\_ALLOW\_DATA\_LOSS.** DBCC CHECKDB tarafından rapor edilen hataların onarılması için kullanılır. VT’nin tek kullanıcı modunda olması gerekmektedir.

**REPAIR\_FAST.** Söz dizimi yalnızca geriye dönük tutarlılık için korunur. Hiçbir onarım işlemi gerçekleştirilmez.

**ALL\_ERRORMSGS.** Tüm hata mesajları varsayılan olarak görüntülenir. Bu seçeneği belirtip belirtmemenin hiçbir etkisi yoktur.

**REPAIR\_REBUILD.** Veri kaybı olasılığı olmayan onarımları gerçekleştirir. Kümelenmiş dizin üzerindeki eksik satırların onarımı veya yeniden dizin oluşturma (*index rebuild*) türü işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlar. FILESTREAM verilerini onarabilme yeteneği yoktur. Bu durumda varsa hataları onarmak için bir yedekten geri yükleme önerilmektedir.

**EXTENDED\_LOGICAL\_CHECKS.** Uyumluluk seviyesi SQL 2008 sonrası ise XML ‘*index*’ ve ‘*spatial index*’ üzerinde tutarlılık kontrolü yapar.

**NO\_INFOMSGS.** Hatalar dışında üretilen tüm bilgi denetim iz kayıtlarını baskılar.

**TABLOCK.** İşlem yapılan VT üzerinde anlık ekran görüntüsü(*snapshot*) almak yerine tablo üzerine kilit(*lock*) koyarak ilerler. DBCC CHECKDB işleminin daha hızlı çalışmasını sağlar.

**ESTIMATEONLY.** Gerçek VT kontrolü yapmadan, DBCC CHECKDB işlemi için ne kadarlık TempDB alanına ihtiyaç duyulacağını hesaplar.

**PHYSICAL\_ONLY.** Sayfaların fiziksel yapısının bütünlüğünü ve tahsis edilen alan tutarlılığını denetler. Beraberinde ‘*Torn-Page Detection*’ ve ‘*Checksum*’ denetimi yapar. VT fiziksel tutarlılığının daha hızlı kontrol edilmesini amaçlar.

DBCC CHECKDB ana tutarlılık kontrolü yapılıır. DBCC IND komutuyla bir tablo veya index üzerindeki tüm sayfaların listelenmesi sağlanır. Söz dizim yapısı [18]: *DBCC IND* ({*Veritabanı\_ADI* | *dbid*}, {*objectname* | *objectid*}, {*Nonclustered index id* | 1 | 0 | -1 | -2}, [*partition\_number*]).

Bir sayfanın içeriğini görmek için ise DBCC PAGE komutu kullanılır. Öncesinde *DBCC TRACEON(3604)*; söz dizimi çalıştırılmadığıdır. DBCC PAGE söz dizim yapısı: *DBCC PAGE* ({*Veritabanı\_ADI* | *dbid*}, *filenum*, *pagenum* [, *printopt*= {0|1|2|3}]) *WITH TABLE RESULT*. Kullanım örneği; *DBCC PAGE('OrnekDB', 1, 40736, 3) WITH TABLE RESULT*

DBCC DBINFO komutuyla VT’na ait ‘boot page’ bilgisini gösterir. *DBCC DBINFO* [({*dbname*})]

**Hassas Sistem Tablolarının Kontrolü:** Bu tablolar üzerinde karşılaşılan bir sorun durumunda alınan hataya ilişkin otomatik onarma(‘restore’) işlemi gerçekleşemez. Bu işlemin el yordamıyla gerçekleştirilmesi gereklidir.

**Tahsis Durum Kontrolü:** Sayfa türü veya sahip olduğu nesne türüne bakmaksızın VT’ndaki bütün sayfaların tahsis durumlarının kontrolünü yapar. Yine bu sayfalar aralarındaki ilişkileri takip etmede iç yapılanmaları kontrol eder.

**Tablo Tutarlılık Kontrolü:** Hassas/kritik sistem tabloları ve tüm VT’na ait tabloların fiziksel ve mantıksal tutarlılık kontrolleri gerçekleştirir.

**Üst Veri Kontrolü:** VT’na ait üst veri(*metadata*) kontrolü yapar.

**Indexed View, XML Index, Spatial Index Kontrolü:** Dizin verilerinin tutarlılığını kontrol eder.

### 2.3.2 Yedek Dosyası Kontrolü

Yedek dosya kontrolü (*backup checksum*), yedekleme işlemi sırasında VT üzerindeki tüm sayfalar üzerinde, sayfa kontrol işlemini gerçekleştirir. Bu doğrulamama işlemi sırasında bir sorun bulunması durumunda yedek alma işlemini durdurarak hata mesajıyla kullanıcıya soruna ilişkin bilgiler sunar. Ayrıca tüm yedekler üzerinde; yedek zincirini bozmayacak tam, fark ve günlük yedekleri içinde bir tutarlılık kontrolü gerçekleştirir ve bunu yedek başlığı üzerine kaydeder. Böylece onarmanın hangi yedek sonra ne sürede yapılabileceğine dair bilgiye ulaşılır. Yalnız bu işlem disk üzerine aşırı bir yük oluşturacaktır. Bu sebep ile yedek alma işlemi normalde sürdüğünden daha uzun ve daha maliyetli olacağından da unutulmaması gerekir. Eğer yedek bu parametre ile alınır ise sonrasında ‘*RESTORE VERIFYONLY*’ seçeneği ile alınan yedekler üzerinde bir tutarlılık kontrolü yapılmasına izin verir.

## 3 Veri Tabanı Kurtarma Yöntemleri

VT kurtarma(*database recovery*), bozulan bir VT’nı en az veri kaybıyla tekrar çalışır duruma getirmek için yürütülen geri yükleme işlemlerini içerir. Veri kurtarma sırasında mevcut veri tabanının çalıştırılmaması veri hacmi ve işlem yoğunluğu yüksek olan veri tabanlarında işlem kesintilerine sebep olabilir. Bu durumda kurtarma dönüşüm hızına bağlı olarak çevrim içi sistemlerde veri kayıplarının yaşanması söz konusudur. Planlı ve kuruma uygun biçimde yapılandırılmamış bir VT kurtarma çalışması disk kullanımının icrasını olumsuz etkiler.

Kurtarma modeli, MS SQL VT’nın kurtarılmasında kullanılacak VT işlem günlüklerinin nasıl bir biçimde tutulması gerektiğine dair seçimdir. MS SQL VT kurtarma teknikleri basit(*simple*), tam(*full*) ve toplu kayıtlı(*bulk-logged*) olmak üzere üç ayrı modele sahiptir. Bu modeller yedekleme, geri yükleme süreci ve kurtarma prosedürü bakımından seçilen kurtarma model ve parametrelerine göre değişiklik gösterir.

SQL Server içerisinde belirlenen kurtarma modeli ayarıyla VT motorunun işlem günlüğüne ne kadar veri yazması gerektiğini, yedekleme ve belirlenen bir zaman noktasına ait geri yükleme seçenekleri belirlenir. VT kurtarma modeli ayarı, ‘*SQL Server Management Studio*’

uygulama üzerinden veya 'Microsoft Transact-SQL' gibi ara yüzler üzerinden çalıştırılabilir. VT kurtarma model değişimine ilişkin söz dizimi örneği Şekil 4'de verilmiştir.



```

SQLQuery114.sql
1 USE [master];
2 GO
3 ALTER DATABASE [Veritabanı_ADI] SET RECOVERY FULL;
4 GO
  
```

Şekil 4. VT kurtarma model değiştirme sözdizimi örneği.

Bu örnekte VT kurtarma modeli tam ('FULL') olarak değiştirilmiştir. Diğer kurtarma modellerine geçiş için aynı söz dizimde 'SET RECOVERY' parametresinden sonra tercih edilecek modelin ismi yazılarak kullanılabilir.

### 3.1 Basit Kurtarma

Kurtarma yöntemlerinin en temel ve sade olanıdır. VT kurtarma modeli basit olarak ayarlanması durumunda işlem günlükleri, son yapılan işlemler, program hata çıktı kayıtları tutulmaz ve kurtarma işleminde kullanılmaz. Bir bozulma/hata yaşanması durumunda en son alınan yedekten (*backup*) sonraki tüm veri kaybedilir. Bu nedenle genelde test, geliştirme ve raporlama ortamlarında kullanılır. Bu kurtarma yönteminde sırayla tam yedek ve varsa son fark yedekleme dosyası geri yüklenir. Kullanımı kolaydır, üst seviye bilgiye ihtiyaç duymaz, veri değişmez.

### 3.2 Tam Kurtarma

Tam kurtarma modeli, tüm yedekleme dosyalarının kullanılabilirdiği eksiksiz veri kurtarmada etkili olan bir kurtarma modelidir. Bu modelde VT üzerinde gerçekleşen aktivitelere ait kayıtlar işlem günlüğüne yazılır ve bu kayıtlar işlem günlüğünün yedeklemesi yapıldıkça kadar bu günlüklerinde tutulmaya devam eder. İşlem günlüğü yedeklemesi yapıldıktan sonra günlükten silinir. İşlem günlüğü kapasitesi, yedekleme süresince oluşacak her türlü işlem, izin oluşturma, değiştirme gibi günlüğe yazılan tüm aktiviteleri depolayabilecek yeterlilikte olmalıdır. Aksi halde işlem günlüğünü dolar. VT işlemleri kabul etmeyi durdurarak yeni kayıtların işlem günlüğüne yazılması engellenir. Bu tür bir olumsuz sonuçla karşılaşmamak için bu modelin seçildiği durumlarda işlem günlüğü yedeklerinin işlem hacim ve kapasitesi dikkate alınmalı ve bu durum izlenmelidir. İşlem günlüğü kayıtlarının tam alınabilirdiği bir tam kurtarma modelinde her hangi bir t anında yaşanabilecek bir VT bozulma durumu yaşanma halinde işlem günlüğü kayıtlarından her bir işleme ait işlem kaydına erişilebilir. Bu model aynı zamanda VT yedekleme ve geri yüklemeye ait tüm seçenekleri destekler. Özetle tam kurtarma modelinde işlem günlüğü kayıtları üzerinden VT istenilen belirli bir t anına dönüş yapılır. Bu modelin kullanılmasıyla yapılacak bir geri yükleme sonucunda veri kaybının en az yaşandığı durumdur. Yüksek erişilebilirlik gerektiren kritik iş süreçlerinde kullanılır. Bu modelin kullanımında geri yükleme işlem sırası aşağıda sıralanmıştır.

- İşlem günlüğü yedeği alınır,
- Tam yedekleme dosyaları geri yüklenir.
- Son fark yedekleme dosyaları geri yüklenir.
- Tüm işlem günlüğü yedekleri sırayla geri yüklenir.
- Varsa son işlem günlüğü yedeği geri yüklenir.

### 3.3 Toplu Girişli Kurtarma Modeli

Toplu olarak günlüğe kaydedilen (*bulk-logged*), kurtarma modelinde "BULK INSERT, SELECT INTO" veya "CREATE INDEX" gibi toplu işlemlerin günlüğe kaydedilmesinde işlem günlüğü veri alanı kullanımı en düşük düzeyde tutularak günlük hacmi daha küçük olur ve toplu kopyalamadan kaynaklı dolayı yüksek performans gösterir. Bunların haricinde tam kurtarma modeline benzer bir işlev görür. Minimum günlük kaydı, çok fazla bilgi kaydetmeyerek günlüğün daha küçük tutulmasına yardımcı olur. Aynı zamanda işlem günlüğü kapasite bakımından daha etkin kullanılarak zamanla işlem günlüğünde yer kalmama riskini azaltan bir durumdur. Ancak toplu olarak günlüğe kaydedilen işlemlerin günlüğe en az düzeyde kaydedilmesinden dolayı belirli bir noktada yaşanan bozulmadan kaynaklı VT kurtarmaları olumsuz etkilemesi söz konusudur. Bu yöntemle günlüğe kaydetme işlemi gerçekleştirilirken VT'nı yapısının zarar görmesi durumunda yalnızca ilk toplu günlüğe kaydetme işleminden önce oluşturulan son işlem günlüğü yedeği kurtarılabilir. İşlem günlüğü yedeğinin toplu olarak günlüğe kaydeden bir işlem içermesi durumunda ise VT durdurma seçenekleri kullanılamaz. Bu modelin kullanımında toplu olarak günlüğe kaydedilen bir işlemin gerçekleştirilmediği durumda ise tam kurtarma modelinde olduğu gibi ancak yedeklemenin sonuna kadar olan yerler kurtarılabilir. Bu nedenle, toplu yükleme işlemlerini kullanırken erişilemeyen veri miktarını en aza indirmek için, toplu yükleme işlemi öncesinde ve yükleme sonrasında işlem günlüğü yedeklerinin alınması büyük önem taşır. Böylece toplu yükleme işleminden önce alınan herhangi bir işlem günlüğü yedeklemesinin yanı sıra, işlemin tamamlanmasını takiben özel günlük yedeklemesi alındıktan sonra alınan herhangi bir işlem günlüğü yedeklemesi kullanılarak bir belirli nokta kurtarma işleminin gerçekleştirilebilmesi mümkündür.

Özetle bu model toplu işlemler, VT değişiklikleri ve izin yeniden oluşturmada en az günlük kaydı içeren bir nevi tam kurtarma modeli gibidir. Günlüğün zarar görmesi veya en son günlük yedeklemesinden sonra bir takım toplu işlemler yapılması söz konusu ise bu durumda yedekleme sonrası gerçekleştirilen işlemlerin yeniden yapılması gerekir. Aksi durumda her hangi bir kayıp yaşanmaz.

### 3.4 Kurtarma Model Seçimi

Kurtarma model seçiminde basit, tam veya toplu kayıt kurtarma yöntemlerinden birisi seçilebilir, bu seçim VT çalışırken değiştirilebilir. Bu yöntemlerin seçiminde iş gereksinimleri, düzenleyici kurum düzenlemeleri, yasal uyumdan kaynaklı gereklilikler, VT yönetiminde dış kaynak kullanımından kaynaklı durumlar, yedekleme ve geri yüklemede veri bütünlüğüne duyulan ihtiyaç gibi etkenler rol oynamaktadır. Kurum yöneticileri veya işin teknik uzmanları tarafından bu ve benzeri gereklilikler göz önünde tutularak ihtiyaçlarına özgü belirleyecekleri kurallara uygun olarak işletilmesini sağlamalıdır. Sektörden edindiğimiz uzman görüşlerine göre pratik uygulamada yaygın olarak genelde tam veya basit kurtarma modelleri tercih edilmektedir.

Tam kurtarma modeli genelde hassas veri içeren, bir bozulma durumunda en az veri kaybı yaşatma ihtimali olan

ancak modelin kullanımında üst seviye teknik bilgi gerektiren, bir VT uzman veya firma desteğine ihtiyaç duyan, yedekleme ve geri yükleme işlemleri uzun zaman alan bir yöntemdir. Bütün VT'nın geri yüklenmesine ait bir senaryoda öncelikle tam bir VT yedeği, ardından varsa fark yedeği ve daha sonra tüm günlük yedeklerin sırayla art arda geri yüklenme adımlarını içerir.

Dosya geri yüklemeleri genelde VT çevrimdışıyken veya SQL Server'ın bazı sürümlerinde ise VT çevrimiçi içindeyken gerçekleştirilebilir. Bir veya daha fazla hasarlı sayfanın geri yüklenmesinde benzer yapı kullanılabilir.

Parça parça geri yüklemede VT'nı, birincil dosya grubundan başlayarak dosya grubu düzeyinde aşamalar halinde geri yükleme yapılarak kurtarma işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin uygulanmasında ayrı bir sunucuda kapsamlı bir teste tabi tutmak önerilmektedir.

Bir VT için kullanılabilen geri yükleme işlemleri, kurtarma modeline bağlıdır. Microsoft SQL sunucu VT kurtarma modellerinin hangi senaryoyu ne ölçüde destekleyip desteklemediğine dair Microsoft firmasının kendi dokümanından yararlanılarak oluşturulan özet bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır [19].

**Tablo 1.** Kurtarma modeli ve desteklenen geri yükleme işlemleri.

Geri Yükleme İşlemi	Basit Kurtarma Modeli	Toplu Kurtarma Modeli	Tam Kurtarma Modeli
Veri Kurtarma	En son tam ve fark yedekten sonraki tüm veriler kaybolur.	Bazı verilerin kaybı gerçekleştirilebilir.	Günlük varsa tam kurtarma
Anlık geri yükleme	Desteklenmez	Günlük yedekleme, toplu olarak günlüğe kaydedilmiş değişiklikler içeriyorsa buna izin verilmez.	Günlük yedeklemeleri kapsamındaki herhangi bir zamanı destekler.
Dosya geri yükleme	Yalnızca salt okunur ikincil dosyalar için kullanılabilir.	Kısmen	Tam destek
Sayfa geri yükleme	Desteklenmez	Kısmen	Tam destek
Parça parça (dosya grubu düzeyinde) geri yükleme	Yalnızca salt okunur ikincil dosyalar için kullanılabilir.	Kısmen	Tam destek

Günlüğü dolduran ekleme ve güncelleme işlemlerine ek olarak, dizin oluşturma/değiştirme ve toplu yükleme işlemleri gibi diğer işlemler işlem günlüğüne birçok veri kaydeder. İndeks ve toplu yükleme işlemleri (SELECT INTO gibi) nedeniyle işlem günlüğünün dolma riski varsa bu işlemler gerçekleştirilirken toplu olarak günlüğe kaydedilen kurtarma modeli tercih edilir. Diğer açılardan tam kurtarma modeline benzemektedir.

Kritik olmayan sistemler için veya tam kurtarma modelini kullanabilme yetkinliğine sahip olunmaması gibi durumlarda basit yöntemin tercih edilmesi mümkündür. Bu modelde işlem günlüklerine ihtiyaç duyulmadığı için günlük alınan bir VT yedeği yeterlidir. Bazı durumlarda, veri kaybının kaynak sistemden depolanması ve iletiminde

önbellek üzerinde verinin bulunması ve o anda elektrik kesintisi gibi bir sorunla karşılaşılması durumunda bu verilere erişim sağlanamama durumu oluşabilir. Bu gibi nedenlerle kurtarma işleminin SQL Server sistemi çevrimdışıyken yapılması veri kaybı riskini azaltır. Sürekli büyüyen işlem günlüklerine ve ileri teknik uzmanlık bilgisine ihtiyaç duymaması bir avantajken sayfa geri yüklemeyi desteklemiyor olması ve veri kaybının yaşanma ihtimalinin yüksekliği olumsuz yanındır.

Bir VT'nın geri yüklenmesinde VT motoru temel üç adımı uygular. VT bütünüyle bozursa öncelikle VT ve işlem günlüğü dosyalarını oluşturur. Ardından VT yedekleme ortamından tüm verileri, günlükleri ve dizin sayfalarını VT dosyalarına kopyalar. Son olarak kurtarma işlemi olarak bilinen işlem günlüğünü uygular. Dosya geri yüklenmesinde ise; eksik VT dosyaları oluşturulur ve ardından yedek ünitelerinden ilgili VT dosyaları kopyalanır. Diğer taraftan VT, dosya, sayfa, parça parça geri yükleme senaryolarının kurtarma yöntemleriyle eşlenmesine dair özetlenen bilgiler Tablo 2'de yer almaktadır. Bu veriler Microsoft firması tarafından sunulan bilgilerden yararlanılarak hazırlanmıştır [19].

**Tablo 2.** Geri yükleme senaryolarına göre yöntemlerin kullanımı.

Senaryo	Basit Kurtarma Yöntemi	Tam/Toplu Kurtarma Yöntemi
VT geri yükleme	VT tam yedeği yüklenir, ardından fark yedeği geri yüklenir.	VT tam yedeği, ardından varsa son fark yedeği, daha sonra sırayla tüm günlük yedekler geri yüklenir.
Dosya geri yükleme	Tüm VT geri yüklenmeden hasarlı salt okunur dosya geri yüklenir.	Dosya geri yükleme, VT çevrimdışı/bazı sürümlerde çevrimiçi iken yapılabilir.
Sayfa geri yükleme	Uygulanamaz	Hasarlı sayfalar geri yüklenir. Geri yüklenmekte olan sayfalar her zaman çevrimdışıdır.
Parça parça geri yükleme	VT, birincil ve tüm okuma/yazma, ikincil dosya grubu düzeyinden başlanarak gerçekleştirilir.	VT, birincil dosya grubundan başlayarak dosya grubu düzeyinde aşamalar halinde geri yüklenir ve kurtarılır.

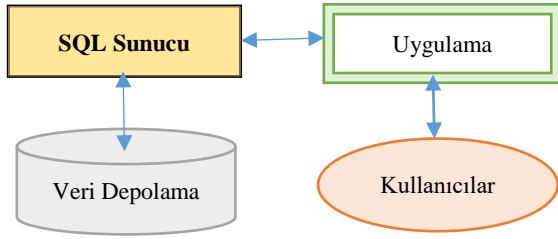
## 4 Uygulama

Gelecekte bir t anında yaşanması muhtemel bir VT bozulma olayı düşünülerek VT sistemlerinin planlaması ve kurulumunda teknoloji, mimari, kurtarma model seçimi ve test önemlidir. Bozulma olayı sonrasında daha etkin sonuçlar üretebilecek doğru yaklaşımlar tercih edilmelidir. Bir olay yaşanmadan önce kurulan yapının kontrol ve testleri çeşitli senaryolar üzerinden çalışmalıdır. Bu uygulamalı çalışma, bir bozulma sonrası veri kaybı ve veri erişim problemlerinin en kısa sürede en az hasarla çözümlenmesine destek olur. Bu bölüm VT mimari ve kurtarma senaryolarının oluşturulması ile mevcut durumunu gözlenmesine uygulama pratiğine katkı sunar.

### 4.1 Fiziksel Mimariye Dayalı Mimariler

Veri kurtarmada, VT kurtarma modellerinin seçimi kadar SQL sunucu sistem mimarisinin türü ve kurulumu önemlidir. Bu bölümde fiziksel cihazlar kullanılarak modellenen VT mimari yapıları örnek senaryolar üzerinden aşamalı olarak sunulmaktadır. En temel bir

mimari yapıda bir SQL sunucusu(*SQL server*) ve ona bağlı bir veri depolama birimi(*storage*) bulunur. Kullanıcılar bir uygulama ara yüzü kullanarak sunucu üzerinden veri depolama birimi üzerindeki verilere ulaşabilirler. Bu temel VT mimari yapı örneği Şekil 5’de sunulmaktadır.

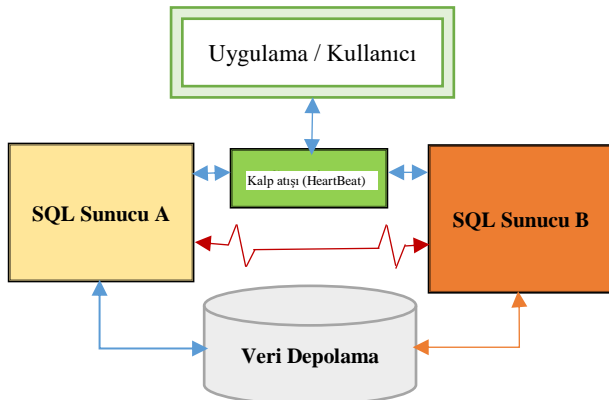


Şekil 5. Temel VT mimari örneği.

Bu temel mimaride sunucu üzerinde oluşacak yazılım ve donanım kaynaklı bir hatadan dolayı yaşanacak bir bozulma durumunda kullanıcıların veri depolama birimi ile iletişimi kesilir. Bu veri okuma, yazma, güncelleme gibi veri işlemleri kesintiye uğrattır. SQL sunucuda oluşan hata ve bozulma nedenine bağlı olarak sistemin yeniden çalışır hale getirilmesi uzun zaman alabilir. Bu yapı donanım ve kurulum maliyeti gibi bir takım avantajlara sahiptir. Ancak veri kaybı ve erişimine tahammülü olmayan kurumlar için istenmeyen, tercih edilmeyen bir mimari yapıdır.

#### 4.1.1 SQL Sunucu ‘Fail Over Cluster’ Yapısı

Sunulan örnek temel mimaride SQL sunucusunda yaşanabilecek bir bozulmada bu sistemin yeniden çalışır hale gelebilmesi için yeni bir sunucunun temin edilerek devreye alınmasına bile gerek duyulabilir. SQL sunucunun çalışmaması demek veri iletişimde kesintiye uğraması demektir. Bu tür sunucu hatalarında veri iletişim sorununu çözmeye mevcut SQL sunucusu yanına yedekli çalışabilecek bir yapıda ilk etapta ‘pasif’ olan ancak bir bozulma durumunda ‘aktif’ hale getirilerek veri iletişim kaybını azaltan bir model oluşturulabilir. Buna ilişkin örnek mimari yapısına teknik olarak ‘fail over cluster’ mimarisi olarak isimlendirilmektedir. Bu mimari yapı örneği Şekil 6’da gösterilmektedir.



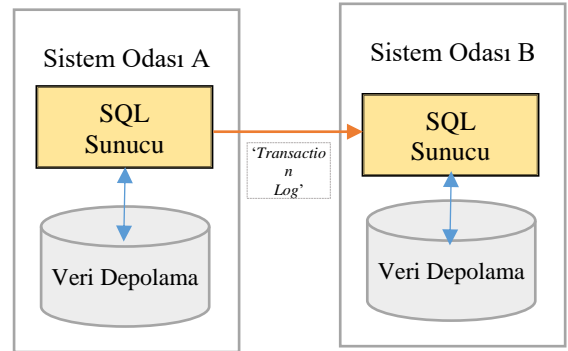
Şekil 6. ‘Fail Over Cluster’ mimari örneği.

Birden fazla SQL sunucu ve veri depolama ünitesinin birlikte çalıştığı yapıya kümeleme(*cluster*) denilmektedir. Bu yapı üzerindeki SQL sunuculardan biri üzerinde yaşanacak bir hata(*fail*) durumunda diğer cihazın devreye alınarak sistemin az kayıpla çalışması mantığına dayanır.

Bu örnek yapıda ilk etapta A sunucusu aktif iken B sunucusu pasif konumlandırılmıştır. Sunucular iki sunucu arasındaki kalp atışı(*HeartBeat*) adı verilen özel bir ağ aracılığıyla birleriyle sürekli bir haberleşme gerçekleştirir. Örneğin A sunucusunda bir hata oluşması durumunda, B sunucusu bu iletişim sayesinde haberdar olur. Hemen veri depolama birimi ile bağlantıyı kurar ve veri depolama ünitesindeki disk ünitelerini aktif hale getirir, sanal IP’yi kendi üzerine alır, SQL servis hizmetini çalıştırır. Böylece uygulamalar üzerinden gelen kullanıcılar sanal IP üzerinde tanımlı olan B SQL sunucusunu kullanarak veri depolama birimi ile iletişimi devam ettirirler. Bu yapı bir önceki temel yapıda belirtilen sorunu çözen bir yapıdır. Yani sunucu bozulmaları için yedekli bir yapıda veri iletişim kesintisi düşük seviyede gerçekleşir. Ancak bozulma sunucular yerine veri depolama cihazında veya cihazların bir arada bulunduğu sistem odasında gerçekleşmesi durumunda bu yapı yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliği gidermek amacıyla farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

#### 4.1.2 ‘Log Shipping’ Yapısı

SQL sunucu ve veri depolama cihazlarının tek bir konumda yer almasından kaynaklı sorunu çözmek için geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde farklı konumlarda yer alan iki sistem odasındaki SQL sunucu sistemlerinin birinde çevrimiçi işlemler gerçekleşirken bu işlemler diğer sistem odasındaki SQL sunucu üzerinde belirli bir zaman diliminden sonra işlem kayıtlarının(*transaction log*) kopyalanması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu mimari örneği Şekil 7’de gösterilmektedir.

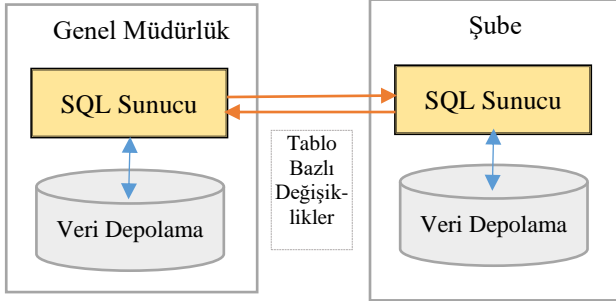


Şekil 7. ‘Log Shipping’ mimari örneği.

Örnek olarak sunulan bu yapıda A ve B sistem odalarında benzer iki sistem modellenmiştir. A odasındaki sistem aktif ve çevrimiçi olarak çalışırken B odasındaki sistemler pasif olarak çalışmaktadır. Yani A odasında gerçekleşen veri işlemleri belirli zaman dilimlerinde B sistem odasındaki sunucu üzerinden veri depolama işlemi gerçekleştirilmektedir. Kısaca aktif çalışan A sistem odasında üretilen verilerin bir kopyası belirli zaman farkıyla B sistem odasındaki yapı üzerine kopyalanmaktadır. Bu yapıyı olumsuz sayılabilecek taraflarından biri iki tarafında aktif-aktif çalışmaması bir tarafın pasif konumda olması, B sunucu sisteminin etkin kullanılmamasına sebep olmaktadır. Diğer ise bu yapıda bir ‘fail over cluster’ yapısı olmadığından A sistem odasında yaşanacak bir sorunda buradaki kullanıcı, bağlantı IP’si gibi diğer sistem ayarlarının B tarafında manuel yapılmasından kaynaklı iş yükü ve zaman kaybı söz konusudur.

### 4.1.3 SQL Sunucularının Eşitlenmesi

İki SQL sunucunun eşitlenmesi (*replication*), senkronize olmasında kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde iki ayrı sunucu üzerinde tablo temelli değişiklikler karşılıklı olarak bir birlerine belli zaman dilimlerinde iletilir. Bu mimari örneği Şekil 8’de gösterilmektedir.

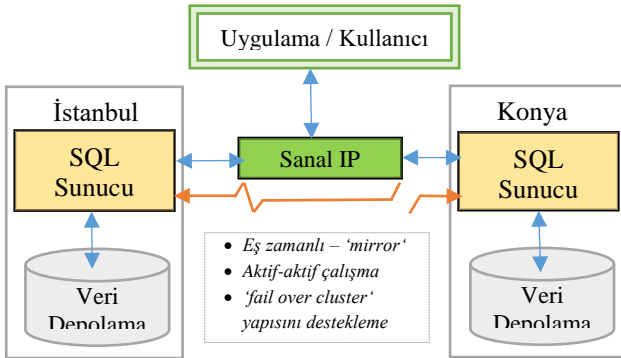


Şekil 8. 'Replication' mimari örneği.

Bu örnekte bir kuruluşun genel müdürlüğü ile uzak bir şubesi arasında kurulan bir yapıyı temsil etmektedir. Bu yapıda gün içinde şubede gerçekleşen işlem kayıtları gün sonu işlemlerinden önce Genel Müdürlük sunucusuna aktarılırken, Genel müdürlük tarafından şubeye iletilecek fiyat değişikliği gibi verilerin ise şube sunucusuna aktarımı gerçekleştirilir. Bu yapıda işlemler çevrimiçi yerine belli bir zaman dilimlerinde gerçekleşmemektedir. Bu yüzden sistemlerin birinde yaşanan sorundan kaynaklı veri kaybı yaşanması söz konusudur.

#### 4.1.4 'Always On' Yapısı

Microsoft 'Always On' teknolojisiyle kurulan örnek model Şekil 9’da gösterilmektedir. Bu örnek mimari yapı, İstanbul’da genel merkezi olan bir kurumun bir felaket durumunda erişebilmek için çevrimiçi yedekli yapısını Konya’da kurduğu varsayımıyla üretilmiştir.



Şekil 9. 'Always On' mimari örneği.

Bu yapı önceki anlatılan Microsoft teknoloji ve mimarilerden kaynaklı olumsuz yanları gideren, eşzamanlı aynalama tekniği, sunucu hatalarında 'fail over cluster' yapısını desteklemesi ve aktif-aktif çalıştırma gibi daha üstün özelliklere sahiptir. İstenirse genel müdürlüğün yer aldığı İstanbul SQL sunucularında VT işlemleri gerçekleştirilirken yedek konumdaki Konya sunucularında iş zekâsı, raporlama ve günlük yedeklerin alınması gibi işlemler yaptırılabilir, iş yükü sunucular arasında paylaştırılabilir. Böylece her iki sunucuyu daha aktif ve verimli kullanma imkânı sağlanmış olur.

### 4.1.5 Veri Tabanı Aynalama

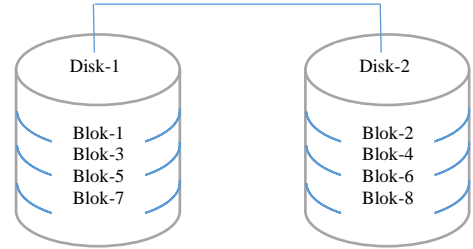
MS SQL VT aynalama (*DB mirror*) yönteminde iki sunucunun birinde üretilen işlem kaydının otomatik olarak önce yedek sunucuya sonra kopyası kendi üzerine eş zamanlı yazılma işlemidir. Bu yöntemde sunuculardan biri aktif çalışırken diğeri pasif çalışır. Sunuculardan birisinin bozulması durumunda bu yapı, bir 'fail over cluster' yapısında olmamasından kaynaklı veri ve işlem zaman kaybı konusudur.

### 4.2 RAID Sanallaştırma Mimarisi

RAID, veri yedekliği ve performansın artırımında fiziksel disk sürücüsü bileşenini bir veya birden çok mantıksal birimle birleştiren bir veri depolama sanallaştırma teknolojisidir [20]. VT dosyalarının korunma ve geri dönüşünde uygun bir RAID yedekli yapısının seçimi oldukça önemlidir. Veriler, yedekleme ve performans düzeyine bağlı olarak, RAID sürücüler arasında dağıtılır.

RAID yapısında sunucunun desteklediği tüm diskler kullanımı mümkündür. Ancak sistemin hızı bu yapıda kullanılan diskler içerisinden en düşük devir hızına sahip diske göre çalışır. Bu yapıda VT dosyaları birden fazla disk üzerinde tutulacağından disklerden herhangi birinde yaşanabilecek bir bozulma gibi bir sorunda VT dosyalarının olumsuz etkilenmesi düşüktür. Ayrıca performans üzerinde pozitif etki sunmaktadır.

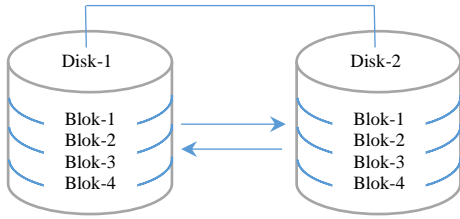
**RAID 0:** Disk bölüştürme olarak bilinir. Sunucu performansını geliştirmek için kullanılır. Şekil 10’da gösterilen bu yapıda veriler aynı anda birden fazla diskin üzerine yazılır.



Şekil 10. RAID 0 yapısı.

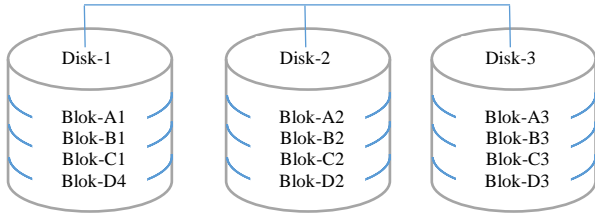
Aynı anda birden fazla diske okuma ve yazma yapabiliyor olması performans artışı sağlar. SQL sunucu tarafında 'temp' VT'nın çalıştırılacak diski RAID-0 yapısında kurgulanabilir. Böylece VT üzerinde disk kaynaklı olarak herhangi bir bozulmanın olması durumunda disk değişimi sonrasında SQL servisleri yeniden başlatılırken 'temp' VT'nda yeniden oluşturulacağından sunucu kaldığı yerden çalışmaya devam edecektir.

**RAID-1:** Bu yapıda iki ayrı diske ihtiyaç duyulur, veriler iki diske aynı anda yazma işlemi yapar. Şekil 11’de örnek bir RAID-1 mimarisi gösterilmektedir. Bu yapıya teknik olarak aynalama denilmektedir. Bu yapıda olumsuz sayılabilecek taraf disk kapasitesinin verimsiz kullanımına ilişkindir. İhtiyacın en az 2 katı diske ihtiyaç vardır. Örneğin 250 GB’lık bir kullanım alanı için disk ünitesinden toplamda 500 GB’lık bir disk alanını ayırmak gerekmektedir.



Şekil 11. RAID-1 yapısı.

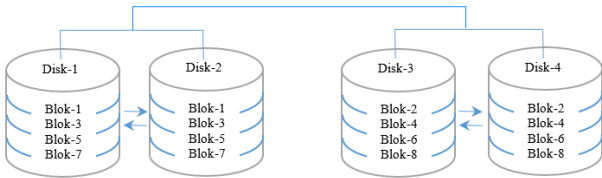
**RAID-5:** Şekil 12’de sunulan bu yapıda veri üç veya daha fazla disk arasında bölüştürülür. Diskin birinde hata olduğunda dağıtılan hatasız diskte yer alan veri bloğundan otomatik olarak yeniden oluşturulur.



Şekil 12. RAID-5 mimarisini.

Arızalanan disk değiştirilene kadar veri bloğu oluşturulmaya devam eder. RAID-1’e göre daha iyi performans gösterir.

**RAID-10:** RAID 1+0 olarak da anılmaktadır. RAID 0 ve RAID 1’in bir birleşimidir. Her ikisinin avantajlı yönleri kullanıldığından daha yüksek performansa sahip hataya dayanıklı bir dizidir. Şekil 13’de yer alan bir RAID 10 mimarisini oluşturmak için en az 4 disk sürücüsü gerekir. İki disk aynı anda arızalansa dahi sistem ayakta kalır.

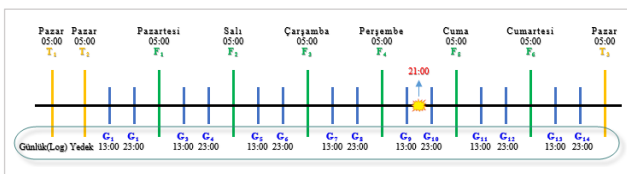


Şekil 13. RAID-10 mimarisini.

İyi performans sunan RAID yapısı olarak bilinir. Pratikte çok fazla yazma işlemi yapan SQL VT sunucularında kullanılması önerilmektedir.

### 4.3 Veri Tabanı Kurtarma Senaryoları

Bu çalışmada VT kurtarmasında tam ve basit kurtarma olma durumlarına uygun bir senaryo kurgulanmıştır. Tam kurtarma modelinin seçildiği senaryoda örnek bir yedekleme yapısı ve bir bozulma anı kurgulandı. Kurgulanan bu model Şekil 14’de gösterilmektedir.

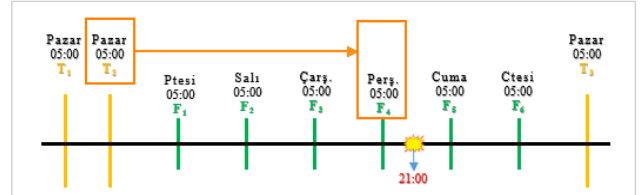


Şekil 14. Tam kurtarmada yedekleme ve bozulma anı kurgusu.

Bu senaryoda ‘OrnekVT’ isiminde bir VT’nda her hafta Pazar günü saat 05:00’de tam yedekleme (T1, T2, T3), diğer günlerde saat 05:00’de ise fark yedekleme (F1,

F2, F3, F4, F5, F6) yapıldığı varsayıldı. Yine her gün saat 13:00 ve saat 23:00’de olmak üzere haftada 14 kez (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14) günlük(log) yedeklerinin alınması olarak kurgulandı. Ayrıca VT üzerinde 13.01.2022 Perşembe günü saat 21:00’de bir olay/bozulma gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Diğer bir senaryo ise kurtarma yönteminin basit seçilmesi durumu değerlendirilerek tam kurtarma senaryosuna uygun olacak şekilde oluşturuldu. Basit kurtarma yedekleme dönemleri, bozulma anı ve kurtarmada kullanılacak yedeklerin gösterimi Şekil 15’de yer almaktadır.



Şekil 15. Basit kurtarmada yedekleme ve bozulma anı.

Tam ve basit kurtarma senaryolarından da görüleceği üzere bu iki senaryo arasındaki tek fark basit kurtarma modelinde günlük log kayıtlarının alınmaması şeklindedir.

Bu bölümde senaryolarda kurgulanan yedeklemeler ve bozulma olay anı üzerinden VT kurtarma yöntemleri örneklerle çalışıldı. VT’nın hangi modda çalıştığını listelemek için Şekil 16’da yer alan söz dizimi çalıştırılır.

```
SQLQuery115.sql* - X
Object Explorer
1 SELECT name, recovery_model, recovery_model_desc
2 FROM sys.database
```

Şekil 16. VT kurtarma modu listeleme.

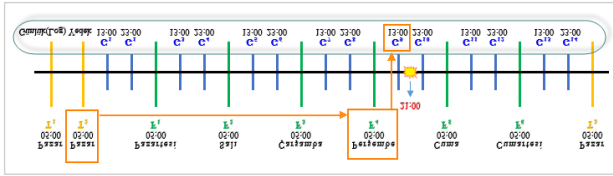
### 4.3.1 Tam Yedekleme ve Yedekten Dönme

Tam(‘full’) yedekleme, seçilen VT kaynağının tüm içeriğinin yedek alınmaya başlanan andan itibaren yedeği alınır. Bu yöntem veri kurtarmada en güvenilir yöntem olarak bilinmekle birlikte yüksek disk kapasitesine ihtiyaç vardır. Tam yedekleme işlemleri için kullanılacak söz dizimi örneği Şekil 17’de gösterilmektedir.

```
SQLQuery116.sql* - X
Object Explorer
1 BACKUP DATABASE [OrnekDB]
2 TO DISK = N'B:\Backup\OrnekFull.bak'
3 WITH NOFORMAT, NOINIT,
4 NAME = N'OrnekDB-Full Database Backup',
5 SKIP, NOREWIND, NOUNLOAD, COMPRESSION, STATS = 10, CHECKSUM
```

Şekil 17. Tam yedekleme söz dizimi örneği.

Bu örnek senaryomuzda 13.01.2022 Perşembe saat 21:00’de bir bozulma olayı yaşandığı varsayılmaktadır. Yaşanan bozulma olayı sonrası kurtarma için ilk yapılacak iş en son alınan tam yedekten geri dönme işlemidir. Ardından en son alınan fark yedeğinin döndürülmesi ve en sonunda fark yedekten sonra olay anına kadar alınan günlük yedeklerin dönülmesi işlemidir. Tam kurtarma senaryosu ve kurtarmada kullanılacak veri yedekleri temsili olarak Şekil 18’de gösterilmektedir.



Şekil 18. Tam kurtarmada kullanılacak yedek kayıtlar.

Bu senaryoda 09.01.2022 Pazar saat 05:00'de alınan tam yedeği(T2), 13.01.2022 Perşembe alınan fark yedeği(F4) ve olaydan önce alınan günlük log kaydı(G9) gösterecek şekilde kodlanmıştır. Bozulma öncesi alınan en son tam yedekten(T2) dönme söz dizim örneği Şekil 19'da gösterilmektedir.

```
SQLQuery117.sql* -> X
1 RESTORE DATABASE [OrnekDB]
2 FROM DISK = N'B:\Backup\OrnekFull.bak'
3 WITH FILE=1, RECOVERY, NOUNLOAD, STATS= 5,
4 STOPAT = '2022-01-09 05:00:00'
```

Şekil 19. Tam yedekten dönme söz dizimi örneği.

Bu işlem sırasında kullanılacak 'STOPAT' parametresiyle yedekten dönüş yapılacak zaman belirtilir. VT'nı belirlenen bir zaman dilimine almak istendiğinde kullanılır, yoksa kullanılmaz. Belirlenen bir t anından (13.01.2022) önce bu yedeğin alınmış olması gerekmektedir. Kullanılan parametreler ile yedekten geri dönme işlemine son verilip vermeyeceği belirlenir.

#### 4.3.2 Fark Yedekleme ve Yedekten Dönme

Tam yedekten sonra değişen verilere ait yedeklerin alınmasından dolayı fark(*differential*) yedekleme denir. Bu yedeklemede veriler kümülatif olarak alınır. Fark yedeklerindeki veri artış miktarı bir kurumdaki veri işlem hacmine göre değişiklik gösterir. Fark yedeğini almaya başlamadan önce tam yedek alınır, VT'nı kurtarma modeli olarak 'basit' veya 'tam' olarak seçilir. Fark yedeklemeye ait söz dizim örneği Şekil 20'de gösterilmektedir.

```
SQLQuery118.sql* -> X
1 BACKUP DATABASE [OrnekDB]
2 TO DISK = N'B:\Backup\OrnekDB_Diff.bak'
3 WITH DIFFERENTIAL, NOFORMAT, NOINIT,
4 NAME = N'OrnekDB-Diff Database Backup',
5 SKIP, NOREWIND, NOUNLOAD, COMPRESSION, STATS = 10
```

Şekil 20. Fark yedekleme söz dizim örneği.

Ele alınan senaryoya göre yedekten geri dönüş temel işlemler aşağıdaki sırayla yapılır:

- Bozulan VT üzerinden henüz yedeği alınmamış olan 'tail-log' kayıtlarının yedeği alınır.
- 'WITH NORECOVERY' seçeneğiyle bozulma öncesi 09.01.2022 tarihinde alınan eldeki tam yedeğe (T2)'ye dönülür.
- 'WITH NORECOVERY' seçeneği ile bozulma öncesi (13.01.2022 Perşembe) alınan en son fark yedeğine(F4) dönülür.
- Bozulma sonrası bozulmuş VT'ndan alınan 'tail-log' yedeğinden dönüş yapılarak VT çevrimiçi(*online*) duruma getirilir.

#### 4.3.3 İşlem Günlükleri ve Yedekten Dönme

VT fark yedekleri arasındaki işlem kayıtlarını belirlenen aralıklarla işlem günlükleri(*log*) denilen yedekler üzerinde tutar. VT'nın kullanıldığı yer ve kritiklik düzeyine göre yedek alma süreleri değişiklik gösterir. Bu seçimlik süre ihtiyaca göre istenilen zaman aralıklarında yapılabilir. Bu sürenin kısa tutulması olası bozulmalarda veri kaybının en az yaşanmasını sağlarken bozulmadan dönüş işlemlerinde ise işlem adet ve süresini artırmaktadır. Senaryoda yer alan günlük yedeklerden G9'a ait yedek alma söz dizim örneği Şekil 21'de gösterilmektedir.

```
SQLQuery77.sql* -> X
1 BACKUP LOG [OrnekDB] TO
2 DISK=N'B:\Backup\OrnekDB_20220113_13_G9.bak'
3 WITH INIT;
4 GO
```

Şekil 21. Log yedek alma söz dizimi örneği.

Çalışmada ele alınan senaryoya göre bozulma öncesi 13.01.2022 Perşembe gününde alınan en son fark yedeğinden sonra saat 13:00'de alınan günlük log yedeğinden(G9) geri dönüş yapılır. Buna ilişkin örnek söz dizimi Şekil 22'de gösterilmektedir.

```
SQLQuery88.sql* -> X
1 USE [master];
2 RESTORE LOG [OrnekDB] FROM
3 DISK = N'B:\Backup\OrnekDB_20220113_13_G9.bak'
4 WITH FILE=1, NORECOVERY, NOUNLOAD, STAT=5
5 GO
```

Şekil 22. İşlem günlüğü yedeğinden dönme söz dizim örneği.

Bu senaryoda bozulma önce işlem günlüğü sadece G9'dur ancak başka senaryolarda dönülmesi gereken birden fazla günlük olması durumunda eldeki tüm günlükler için benzer geri dönüş işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu geri dönüş(*restore*) işlemleri sırasında söz dizim kodu sonuna 'NORECOVERY' seçeneği konularak VT'nın geri dönüş işlemleri yapılırken çevrimiçi çalışması önlenir.

VT kurtarma modunun değiştirilmesine ihtiyaç duyulması halinde Şekil 23'de yer alan söz dizimi kullanır.

```
SQLQuery120.sql* -> X
1 ALTER DATABASE OrnekDB SET RECOVERY FULL
```

Şekil 23. VT kurtarma modu değiştirme söz dizim örneği.

Bu örnekte çalışmada kullanılan OrnekDB VT'nın kurtarma modeli tam(full) olarak set edilmektedir.

## 5 Sonuç

Veri kurtarma, bütünlüğü bozulan veya silinen verilerin kurtarılma sürecidir. Bu süreç bazen başarılı bir şekilde sonuçlanırken kimi zaman barındırdığı bazı riskler nedeniyle başarısızlıkla sonuçlanabilmektedir. Hatta verinin bütünü veya bir kısmına erişebilmenin hiç mümkün olmadığı durumlarla karşılaşmaktadır. Veri kurtarma sürecine dair teknik bilgiler yanında taşıdığı zayıflıklar önceden ele alınarak riskleri önleyici iyileştirmelerin ve kullanılan mimariye uygun kurtarma yöntemlerini belirlenmesi ve bunların uygulama testlerinin yapılması

veri kaybından kaynaklı hasarı en aza indirmede önemlidir. MS SQL VT kurtarma başarısında MDB ve MDF dosyalarının yedeklerinin olması, VT yedeklerinin veri işlem hacmi ve veri kritikliğine göre saat, gün, hafta, ay gibi seçilen belirli dönemlerde alınması çok önemlidir. Bu süre bankacılık işlemleri, borsa gibi anlık işlemlerin olduğu yerlerde anlık veya birkaç dakika aralıklarla yapılabilir. Bu veri iş ve teknik süreç sahipleri tarafından bilgi güvenliği, iş sürekliliği ve veri analiz çalışmaları sırasında belirlenmesi önerilir.

MS SQL VT'nda bir verinin başarılı olarak kurtarılmasında tam bir yedeklemenin yapılıyor olması, yedekten tam bir dönüş için ise veri erişimi ve güncelleme işlemlerine karşılık gelen güncel bir günlük dosyasına sahip olmaya bağlıdır. Yedekten dönülen verilerin doğruluğunu ters etmek için yeterli disk kapasitesine sahip bir test ortamına dönüş yapılması önerilmektedir. Bu testler, yedekten gerçek ortama dönüşten önce geri yüklenecek verilerde herhangi bir bozulma/silme olup olmadığını önceden anlaşılması ve gerçek ortam verilerinin korunması bakımından kıymetlidir. Kurum ihtiyaçlarına göre en iyi yedekleme ve kurtarma stratejisi her kurumun kendi hedef ve stratejileriyle uyumlu olacak bir şekilde oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada, çeşitli nedenlerle hasara uğramış, bozulmuş, silinmiş veya kaybolmuş MS SQL VT verilerinin kurtarılmasında kullanılan yöntemlerin araştırmış, bu tekniklerin örnek senaryolar üzerinden uygulamalı örnekleri oluşturulmuştur. Çalışmada ele alınan yöntem ve uygulama örnekleri ilgili kurum ve paydaşlara sunulmuştur. Benzer çalışmalar yaygın olarak kullanılan My SQL, Oracle, Postgre SQL gibi VT yönetim sistemleri üzerinde de yürütülebilir.

## Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur. Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Barutçugil, İ. (2002). *Bilgi Yönetimi*. ISBN: 9789758515264, *Kariyer Yayıncılık İletişim*, İstanbul.
- [2] Şahinaslan, E., & Şahinaslan, Ö. (2020). *Müşteri İlişkileri Yönetimi ve Veri. Bilgi Çağı'nda Müşteri İlişkileri Yönetimi*, Kriter Yayınevi, pp. 174-196, İstanbul.
- [3] Gu, J., Ma, Z., & Hulbert, G. (2001). Quasi-static data recovery for dynamic analyses of structural systems, *Finite Elements in Analysis and Design*, no. 37. 825-841. 10.1016/S0168-874X(01)00070-1.
- [4] Kara, Ş. (2012). *Veri Kurtarma Yöntemlerinin Başarılarının Değerlendirilmesi*. (Master's dissertation, Firat University).
- [5] Prairie, E. (2020). *39% of Global businesses are not prepared for a ransomware attack Ontrack*. Retrieved October 19, 2020, from <https://www.ontrack.com/en-us/press/details/39-of-global-businesses-are-not-prepared-for-a-ransomware-attack>.

- [6] Son, Y., Kim, M., Kim, S., Yeom, H. Y., Kim N. S., & Han, H. (2020). Design and Implementation of SSD-Assisted Backup and Recovery for Database Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, cilt 32, no. 2, pp. 260-274
- [7] Armoush, A., Kowalewski, S., & Salewski, F. (2008). Recovery Block with Backup Voting: A New Pattern with Extended Representation for Safety Critical Embedded Systems, 2008 *International Conference on Information Technology*.
- [8] Taranin, S. M. (2016). Backup with Storage in a Database. *Modelirovanie i Analiz Informatsionnykh Sistem*, cilt 23, no. 4, pp. 479-481
- [9] Aryan, W., Diana, Subekti, M., & Hendro (2018). Building Scalable and Resilient Database System to Mitigate Disaster and Performance Risks, *Procedia Computer Science*, cilt 135, pp. 25-34
- [10] Srinivas, A., Ramayya, Y.S., & Venkatesh, B. (2013). A Study on Cloud Computing Disaster Recovery. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, cilt 1, no. 6, pp. 1380-1388
- [11] Bhattacharya, S., Mohan, C., Brannon, K. W., Narang, I., Hsiao, H., & Subramanian, M. (2002). Coordinating Backup/Recovery and Data Consistency Between Database and File Systems, *ACM SIGMOD international conference on Management of data*.
- [12] Jin D., & Wang, Q. (2021). CDP Backup and Recovery Method for Ensuring Database Consistency, 2021 *IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA)*.
- [13] Kuyumdzhev, I. (2019). Comparing Backup and Restore Efficiency in Mysql, *19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO*.
- [14] Sahinaslan, E., Sahinaslan, O., & Bagislanan, O. (2021). Investigation of cost and labor gains achieved by virtualization technologies, *AIP Conference Proceedings*, cilt 2334, no. 070001.
- [15] Xia, R., Yin, X., López, Machida, F., & Trivedi, K.S. (2014). Performance and Availability Modeling of ITSsystems with Data Backup and Restore. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, cilt 11, no. 4, pp. 375-389
- [16] DBCC Ind and DBCC Page. Retrieved January 31, 2016, from <https://kwelsql.wordpress.com/2016/01/31/dbcc-ind-and-dbcc-page/>, KWEL SQL
- [17] DBCC CHECKDB (Transact-SQL) | Microsoft. Retrieved June 8, 2021, from <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/database-console-commands/dbcc-checkdb-transact-sql?view=sql-server-ver15>
- [18] Kalen, D., Adam, M., Paul R.S., Kimberly, T. L., Conor, C., & Ben, N. (2009). *Microsoft SQL Server 2008 Internals*, Microsoft Press.
- [19] Microsoft SQL Server:Restore and Recovery Overview (SQL Server). Retrieved Nov 30, 2021, from <https://github.com/MicrosoftDocs/sql-docs/blob/live/docs/relational-databases/backup-restore/restore-and-recovery-overview-sql-server.md>.
- [20] DELL. *RAID düzeyleri ve teknik özellikleri nelerdir?* <https://www.dell.com/support/kbdoc/tr-tr/000128635/dell-sunuculari-raid-duzeyleri-ve-teknik-ozellikleri-nelerdir>.





## THE PRODUCTION AND OPTIMIZATION OF SnO<sub>2</sub> ELECTRON TRANSPORTING LAYER BY SLOT-DIE TECHNIQUE

Murat Ebic<sup>1,2</sup> , Serife Akar<sup>1,2</sup> , Erdi Akman<sup>\*2,3</sup> , Faruk Ozel<sup>4</sup> , Seckin Akin<sup>2,4</sup> 

<sup>1</sup>Graduate School of Natural and Applied Sciences, Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey

<sup>2</sup>Laboratory of Photovoltaic Cells (PVcells), Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey

<sup>3</sup>Scientific and Technological Research & Application Center, Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey

<sup>4</sup>Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Karamanoglu Mehmetbey University, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

Thin films forming the basis of the micro and nano structured optoelectronic industry are one of the most studied research topics and have an important place in technological and scientific research. Although there has been a rapid development in the production of semiconductor metal oxides in recent years, thin films are mostly prepared by spin-coater technique, which is not very suitable for large-scale production. In this study, SnO<sub>2</sub> metal oxide material, a highly required material by many optoelectronic device technologies, was produced in commercial sizes, with appropriate thickness and good morphological/optical properties by slot-die coating technique with a detailed optimization processes. By changing various parameters such as solution concentration, head-substrate distance, dispense rate, coating speed, table temperature on the existing slot-die system, the most suitable coating parameters were determined in ambient conditions. SnO<sub>2</sub> thin films were successfully coated on large area (25 x 75 mm) substrates by facile and economical slot-die technique under optimum conditions and compared with the films produced by the widely used spin coating technique. Optical characterizations of the ensuing thin films were performed using UV-Vis and photoluminescence (PL) spectrophotometers. Surface and cross-sectional morphology was analyzed by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). This study provides an important roadmap for the deep understanding of the slot-die technique by users and the large-scale production of different materials in various optoelectronic applications.

**Keywords:** Thin film technology, large scale production, Slot-Die coating technique, SnO<sub>2</sub> electron transporting layer.

## SnO<sub>2</sub> ELEKTRON TRANSFER TABAKASININ SLOT-DIE TEKNİĞİ İLE ÜRETİMİ VE OPTİMİZASYONU

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Mikro ve nano yapıları optoelektronik malzeme endüstrisinin temelini oluşturan, teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tutan ince filmler, son zamanlarda en çok çalışılan güncel araştırma konulardan biridir. Yarıiletken özelliğe sahip metal oksitlerin üretiminde son yıllarda hızlı bir gelişim sergilenmesi rağmen günümüzde ince filmler büyük ölçekli üretim için pek de uygun olmayan döndürerek kaplama (spin-coater) tekniği ile hazırlanmaktadır. Bu çalışmada birçok optoelektronik aygıt teknolojisinin ihtiyaç duyduğu SnO<sub>2</sub> metal oksit malzemesi ticari boyutlarda, uygun kalınlıkta ve iyi morfolojik/optik özelliklere sahip olarak slot-die kaplama tekniği ile üretilerek büyüme optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Mevcut slot-die sistemi üzerinde çözelti konsantrasyonu, başlık-alttaş mesafesi, çözelti besleme oranı, kaplama hızı, tabla sıcaklığı gibi çeşitli parametreler değiştirilerek ortam koşullarında en uygun kaplama koşulları belirlenmiştir. SnO<sub>2</sub> ince filmler büyük alanlı (25 x 75 mm) alttaşlara başarılı bir şekilde hızlı ve ekonomik slot-die tekniği ile kaplanmış ve literatürde yaygın olarak kullanılan döndürerek kaplama tekniği ile üretilen filmler ile kıyaslanmıştır. Üretilen ince filmlerin optik karakterizasyonları UV-Vis ve fotoluminesans (PL) spektrofotometreleri kullanılarak yapılmıştır. Yüzey ve kesit alan morfolojisi alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ile karakterize edilmiştir. Bu çalışma slot-die tekniğinin kullanıcılar tarafından daha iyi anlaşılabilmesi ve çeşitli optoelektronik uygulamalarda farklı malzemelerin de bu teknik ile büyük ölçekli olarak üretilmesi konusunda önemli bir yol haritası sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnce film teknolojisi, büyük ölçekli üretim, Slot-Die kaplama tekniği, SnO<sub>2</sub> elektron transfer tabakası.

\* Corresponding author.

E-mail address: erdiakman@kmu.edu.tr (E. Akman)

Received 11 March 2022; Received in revised form 03 June 2022; Accepted 12 June 2022

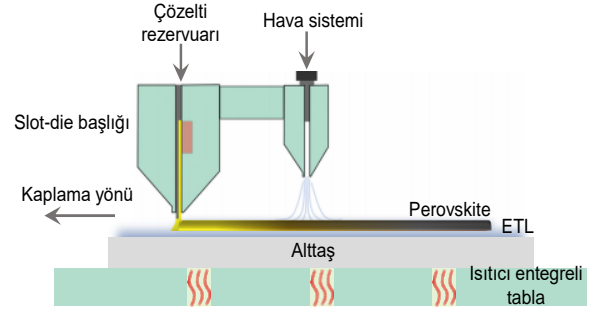
2587-1943 |© 2022 IJIEA. Allrightsreserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1086169>

## 1 Giriş

Kaplanması istenen malzemenin, üzerinde büyütülmesine elverişli alttaş yüzeyine farklı üretim teknikleri kullanılarak 1  $\mu\text{m}$ 'den daha düşük kalınlıklarda atomlarının ya da moleküllerinin biriktirilmesi ince film teknolojisinin temelini oluşturmaktadır [1-2]. Nanokristal boyutlarda ince film teknoloji ile üretilen malzemelerle üretim maliyetlerinin düşürülmesinin yanında üretilen aygıtların temel fiziksel ve optoelektronik özelliklerinde de ciddi oranlarda iyileştirilme imkânı sunmaktadır [3-5]. Günümüzde ince film teknolojisi, elektronik aygıt üretimi, optik kaplamalar ve fotovoltaik uygulamalar gibi yüzey mühendisliği gerektiren birçok alanda tercih edilen yöntemlerden biridir. Mükemmel elektriksel, optik, manyetik ve kimyasal özellikleri nedeniyle ince filmler yarıiletken/süperiletken cihazlarda, yalıtım ve iletim kaplamalarında, devre elemanı yapımında, yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda, girişim filtrelerinde, optiksel disklerde, hafıza disklerinde, oksidasyon veya korozyona karşı korumada, sensörlerde ve bunlar gibi daha birçok uygulamada kullanılmaktadır [6-8]. Malzeme teknolojisindeki hızlı değişim ve gelişim nedeniyle ince film teknolojisinde de yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi, istenilen performans ile fiziksel ve kimyasal özelliklere ulaşılmasını zorunlu kılmaktadır [9]. Yarıiletken özelliğe sahip metal oksitlerin üretiminde son yıllarda hızlı bir gelişim sergilenmiş olmasına rağmen, günümüzde birçok optoelektronik aygıt büyük ölçekli (large-scale) için pek de uygun olmayan döndürerek kaplama (spin-coater) tekniği ile hazırlanmaktadır [10]. Bu nedenle, birçok araştırmacı optoelektronik aygıt teknolojisinin ihtiyaç duyduğu ticari boyutlarda, uygun kalınlıkta ve iyi morfolojik/optik özelliklere sahip ince film üretim sorununu çözmek için uygun bir kaplama yöntemi arayışına girmiştir. Günümüzde, fiziksel buhar biriktirme (PVD) [11], kimyasal buhar biriktirme (CVD) [12], sol-jel [13], manyetik sıçratma [14], doctor-blade [15-17], daldırarak kaplama [18], püskürterek kaplama [19-21], serigrafi [22-24], slot-die [25-28], rulodan ruloya (R2R) [29-33] gibi çeşitli ince film kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında döndürerek kaplama yöntemi, yüksek çalışabilirlik ve iyi tekrarlanabilirlik gibi avantajlara sahip olsa da büyük ölçekli ince filmlerin hazırlanması için uygun değildir. Püskürterek kaplamanın önemli avantajlarından biri, düşük maliyet ve damlaların boyut seçiciliğinin olmasının yanı sıra seyreltilmiş çözeltilerin kullanımına olanak vermesidir. Ancak bu yöntemde büyük ölçekli üretim yapmak ve homojen film kalınlığı elde etmek oldukça zordur [19-21]. Bir diğer film kaplama tekniği olan daldırarak kaplama tekniği de basit ve ucuz bir teknik olmasına rağmen, bu yöntemde de filmin alt bölgesindeki birikinti bölgesini yok etmek ve büyük ölçekli film üretmek zordur. Buharlaştırma yöntemlerinde ise homojen bir film oluşumu sağlanmasına rağmen vakum kaynaklı üretim maliyetinin yüksek olması ve yüksek kullanıcı deneyimi gereksinimi üretilen aygıtların ticarileşmesi açısından bir dezavantajdır [18]. Bu yöntemler arasında slot-die kaplama tekniği, birçok optoelektronik aygıt teknolojisinin temelini oluşturan ince filmlerin büyük alanlara kaplanabilmesi için en umut verici tekniklerden biridir. Bunun nedeni, kaplama hızı,

beslem oranı ve öncü çözeltilerin akış hızı gibi kaplama parametrelerinin aygıt mimarisindeki tüm tabakaların kalınlığını manipüle etmek için hassas bir şekilde kontrol edilebilmesidir [25-28]. Ayrıca, vakum prosesine ihtiyaç duymayan bu teknik gerekli öncü madde çözeltiler miktarını doğru bir şekilde tahmin etmeye ve hammadde israfını önlemeye yardımcı olur. Daha da önemlisi slot-die kaplama tekniği endüstriyel üretim için önemli bir yere sahip olan R2R prosesi ile uyumludur. Temel bir slot-die kaplama sistemi Şekil 1'de görüldüğü gibi ısıtıcı entegreli tabla, çözeltiler rezervuarı, slot-die başlığı ve shimlerden oluşmaktadır.



Şekil 1. Slot-die sisteminin tipik bir görüntüsü.

Slot-die kaplama sisteminde üretilen filmlerin kalitesini ve özelliklerini belirleyen temel değişkenler çözeltiler konsantrasyonu, başlık-alttaş mesafesi, çözeltiler beslem oranı, kaplama hızı ve tabla sıcaklığı şeklinde sıralanabilir. Bu sebeple bu parametrelerin optimize edilmesi optoelektronik aygıt performansı için kritik bir öneme sahiptir. Şöyle ki, iyi optimize edilmiş parametreler ışığında daha homojen, boşluksuz, daha düşük kusur yoğunluklu filmler elde edilebilir, böylece daha yüksek performans sunan aygıt üretimi gerçekleştirilebilir.

Slot-die kaplama tekniği birçok aygıt teknolojisinde kullanılsa da son yıllarda en dikkat çekici kullanım alanlarından bir tanesi de fotovoltaik teknolojisi olmuştur [34-37]. Özellikle son yıllarda oldukça popüler bir araştırma alanı olan perovskite güneş hücrelerinin slot-die tekniği ile üretimi literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Bilindiği gibi perovskite güneş hücreleri alttaş, elektron transfer tabakası, aktif soğurucu tabaka, boşluk transfer tabakası ve metal üst elektrot olmak üzere farklı tabakaların sandviç modelinde bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır [38-40]. Bu tabakalardan elektron transfer tabakası perovskite hücre teknolojisinde aygıt performansı üzerinde önemli bir etkiye ve fonksiyona sahiptir. Bir elektron transfer tabakası perovskite tabakadan yük çıkarım ve taşımada önemli bir rol oynar ve fotovoltaik aygıtlar için en önemli bileşenlerden biri olan yük rekombinasyonunu bastırarak boşluk engelleyici bir tabaka görevi de görür [40]. Dolayısıyla bu tabakanın homojen ve kusursuz büyütülmesi perovskite aygıtın hem performans hem de kararlılığı için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında perovskite güneş hücrelerinin ticari boyutlarda üretilmesine imkân tanınması bakımından uygun kalınlıkta ve iyi morfolojik/optik kalitede elektron transfer tabakasının slot-die kaplama tekniği ile atmosferik ortam koşullarında (bağıl nem ~%40) üretilmesi amaçlanmaktadır. Elektron transfer tabakası

olarak son yıllarda üstün optoelektronik özelliklerinden dolayı odak noktası haline gelen kalay oksit (SnO<sub>2</sub>) metal oksit yapısı seçilmiştir. Uygun kaplama parametrelerinin belirlenmesi amacıyla mevcut sistem üzerinde çözelti konsantrasyonu (SnO<sub>2</sub>:DIW/v:v), başlık-altaş mesafesi (mm), çözelti beslem oranı (µl/sn), kaplama hızı (mm/s), tabla sıcaklığı (°C) olmak üzere 5 farklı kaplama parametresinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Değişken parametrenin etkisini net olarak belirlemek amacıyla diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. İlgili değişken için uygun parametre belirlenmiş ve bir sonraki üretim parametresinin optimizasyon çalışmasına geçilmiştir. Kaplama kalitesi ve optik özellikleri numunelere ait dijital görüntülerden, optik geçirgenlik ve fotoluminesans (PL) spektrumlarından ve mikroskop görüntüleri yardımı ile belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi lam altaşlar üzerinde gerçekleştirilmiş ve uygun parametreler belirlendikten sonra filmler indiyum kalay oksit (ITO) iletken-geçirgen altaşlara da büyütülerek daha detaylı olarak analiz edilmiştir. Slot-die tekniği ile üretilen SnO<sub>2</sub> filmler literatürde sıklıkla kullanılan geleneksel döndürerek kaplama tekniği ile optimum koşullarda elde edilen SnO<sub>2</sub> filmler ile kıyaslanarak daha büyük alanlarda eş-değer sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 İnce Filmlerin Hazırlanması

Üretim aşamasında kullanılan tüm altaşlar sırasıyla deterjan/deiyonize su, aseton, izopropanol içinde 15 dakika boyunca ultrasonik olarak temizlenmiş ve daha sonra nitrojen akışı ile kurularak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kaplama öncesinde tüm altaşlar 15 dakika ultraviyole (UV-O<sub>3</sub>) ozon işlemine maruz bırakılmıştır. Elektron transfer malzemesi olarak kullanılan SnO<sub>2</sub> öncü çözeltisi deiyonize su (DIW) ile farklı oranlarda seyreltilerek altaşlar üzerine slot-die kaplama tekniği ile

biriktirilmiştir. Daha sonra tüm filmler 150 °C'de 30 dakika boyunca tavlama işlemine maruz bırakılmıştır.

### 2.2 Karakterizasyon Çalışmaları

İnce filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri bir spektrofotometre (LAMBDA 1050, Perkin Elmer) ile kaydedilmiştir. Kararlı hal fotoluminesans (PL) ölçümü ise bir spektrometre (HITACHI F-7100) kullanılarak yapılmıştır. İnce filmlerin yüzey ve kesit alan morfolojisi alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) (S5500, Hitachi) ile karakterize edilmiştir. Yüzeylerin hidrofilikliği damla şekli analizörü (DSA100, KRÜSS) ile temas açısı ölçümü kullanılarak değerlendirilmiştir.

## 3 Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Birçok optoelektronik aygıt teknolojisinde elektron transfer tabakası olarak kullanılan SnO<sub>2</sub> malzemesi literatürde genellikle spin-coater tekniği ile altaş yüzeyine büyütülmektedir [10, 25]. Perovskite güneş hücrelerinde kullanılan SnO<sub>2</sub> malzemesi koloidal SnO<sub>2</sub> çözeltisinin deiyonize su (DIW) içerisinde uygun oranda seyreltilerek kullanılmaktadır. Literatürde yüksek verim sunan çalışmalar incelendiğinde en uygun SnO<sub>2</sub> konsantrasyonunun hacimsel olarak 1:5.5 ile 1:6.5 (SnO<sub>2</sub>:DIW) arasında rapor edildiği görülmektedir [15, 41-42]. Slot-die kaplama tekniği için bu değerler baz alınarak çözelti konsantrasyonu değerleri 1:2, 1:4, 1:6 ve 1:8 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında çalışılan tüm optimizasyon parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. SnO<sub>2</sub> kaplama işleminden sonra tüm filmler 150 °C'de 30 dk süre ile tavlama işlemine maruz bırakılmıştır. Tavlama işlemi slot-die kaplama kalitesini etkilemediğinden ve spin-coater için üretilen filmlerde en uygun parametrelerin bunlar olması sebebiyle tavlama işlemi ile ilgili herhangi bir optimizasyona ihtiyaç duyulmamıştır.

**Tablo 1.** Altaş üzerindeki kodlama sistematigi.

Kodlama	Çözelti konsantrasyonu (SnO <sub>2</sub> :DIW / v:v)	Kodlama	Başlık-altaş mesafesi (mm)	Kodlama	Çözelti beslem oranı (µl/sn)	Kodlama	Kaplama hızı (mm/s)	Kodlama	Tabla sıcaklığı (°C)
A	1:2	X	0.1	02	2	05	5	RT	Oda Sıcaklığı
B	1:4	Y	0.2	05	5	10	10	60	60
C	1:6	Z	0.3	10	10	20	20	90	90
D	1:8	W	0.4	15	15	30	30		
				20	20	40	40		
				25	25				

Film kalınlığını ve kalitesini etkileyen bir diğer parametre de slot-die tabla sıcaklığıdır. Özellikle püskürtme ve slot-die gibi büyütme tekniklerinde altaşın bulunduğu tablanın sıcaklığı çözeltinin büyümesi aşamasında önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu sebeple, 60 °C'de gerçekleştirilen optimizasyona ek olarak farklı konsantrasyonlardaki çözeltilerin oda sıcaklığında (RT) ve 90 °C sıcaklıkta da üretimleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Bu kapsamda tüm konsantrasyon değerleri yeniden çalışılmış ve yukarıdaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Farklı çözelti konsantrasyonları ile

farklı tabla sıcaklıklarında üretilen filmlere ait dijital görüntüler Şekil 2'de sunulmuştur. Gerek tabla sıcaklığı gerekse çözelti konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde üretilen filmlere ait görsellerde herhangi bir düzen söz konusu olmasa da özellikle 1:2 (A kodlu) ve 1:4 (B kodlu) konsantrasyon değerlerinde hazırlanan filmlerin yüzeyinde yüksek kalınlıktan dolayı renklemeler olduğu görülmektedir.

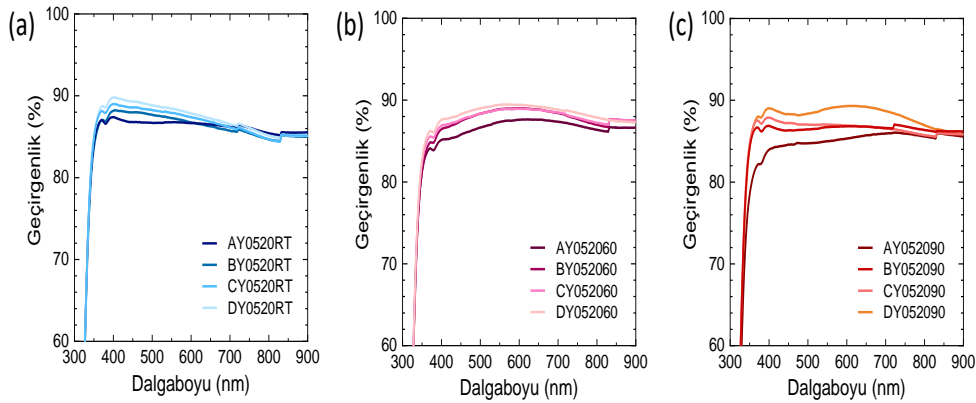
Bu sebeple ilgili filmlere ait geçirgenlik ölçümleri de her bir film için 3 farklı noktadan ölçülmüş ancak ortalama değerler üzerinden değerlendirilmiştir. Her kodlama için 2'şer adet film üretilmiş olup; ilgili

geçirgenlik değerleri 6 farklı noktadan alınan dataların ortalamasını temsil etmektedir. Beklendiği ve filmlerin dijital görüntülerinde de açık bir şekilde anlaşılacağı üzere artan çözelti konsantrasyonu ile film kalınlığının artmasına bağlı olarak geçirgenlik değerlerinde düşüşler yaşanmıştır (Şekil 3). Diğer tüm konsantrasyon değerlerinde yüzeyin önemli oranda kaplandığı görülürken 1:8 gibi düşük SnO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ise alttaş yüzeyinin kaplama kalitesinin iyi olmadığını anlaşılmaktadır. Diğer taraftan geçirgenlik değerleri incelendiğinde 1:2 konsantrasyona sahip filmlerin

göreceli olarak düşük bir geçirgenlik sunduğu görülmektedir. Bu durum perovskite güneş hücrelerinde aktif tabakaya ulaşacak ışığın önemli oranda sönümlenmesi anlamına gelmekte olup; ışık hasadı açısından önemli bir engel teşkil etmektedir. Diğer taraftan tabla sıcaklıkları değerlendirildiğinde en belirgin farkların 90 °C tabla sıcaklığında olduğu görülmektedir. Bu durum kaplama esnasında ısıl işlem ile birlikte çözelti içerisindeki sıvının hızlı buharlaşması ve film oluşumunun daha hızlı gerçekleşmesi ile açıklanabilir.



**Şekil 2.** Farklı konsantrasyon değerleri (soldan sağa azalan; A:1/2, B:1/4, C:1/6, D:1/8) için farklı tabla sıcaklıkları (yukarıdan aşağıya artan; (a) RT, (b) 60 °C, (c) 90 °C) kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait dijital görüntüler.



**Şekil 3.** Farklı konsantrasyon değerleri için farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait geçirgenlik spektrumları. (a) RT, (b) 60 °C, (c) 90 °C.

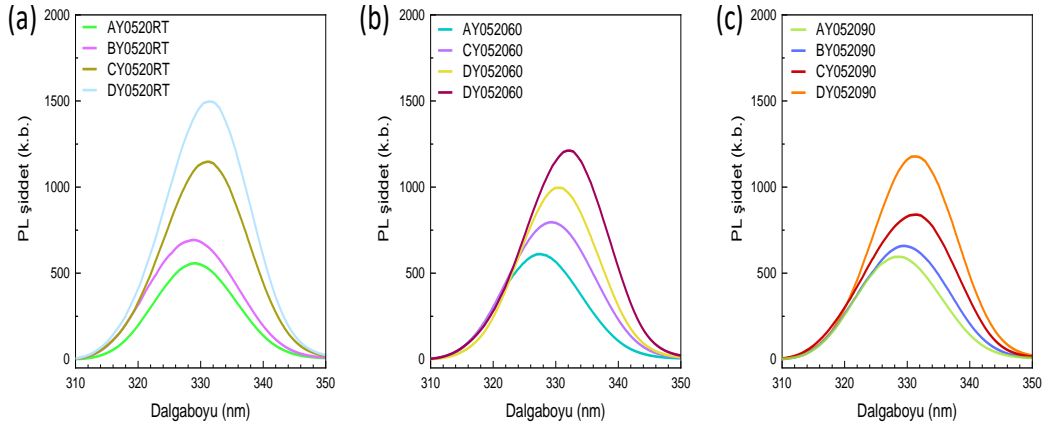
Genel itibarıyla SnO<sub>2</sub> filmlerin yasak enerji band aralığı ( $E_g$ ) değerlerinde ( $\sim 3.7$  eV) çözelti konsantrasyonuna ve/veya tabla sıcaklığına bağlı olarak kayda değer bir değişim olmadığı söylenebilir. İlgili optimizasyon çalışmaları sonucunda dijital görüntüler ve geçirgenlik spektrumları göz önünde bulundurulduğunda 1:4 ve 1:6 konsantrasyon değerlerinin ve oda sıcaklığı ya da 60 °C tabla sıcaklığının daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçları desteklemek amacıyla

cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait PL analizleri de gerçekleştirilmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4'te verilmiştir. Tüm PL analizleri her numunenin orta bölgesinden ve her koşul için 2 farklı numuneden alınarak değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi herhangi bir yük transfer tabakası içermeyen numunelerde artan PL pik şiddeti malzemenin eksitonik kalitesini işaret etmektedir [43-44]. Farklı tabla sıcaklığında üretilen tüm filmlerin artan çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak eksitonik kalitelerinin

düşüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca, geçirgenlik spektrumlarının aksine artan SnO<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak PL pik noktasında az da olsa (>5 nm) düşük dalgaboyu değerlerine doğru bir kayma tüm sıcaklık değerlerinde gözlemlenmiştir.

Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde C ve D konsantrasyon değerleri için en yüksek PL pik şiddetlerinin elde edildiği görülürken artan tabla sıcaklığı ile PL pik şiddetlerinin düştüğü de belirlenmiştir. Geçirgenlik ve dijital görüntüler ile büyük oranda uyumlu olarak PL spektrumları göz önünde bulundurulduğunda 1:6 ve 1:8 konsantrasyon değerlerinin ve oda sıcaklığı ya da 60 °C tabla sıcaklığının daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Slot-die tekniği için en kritik parametrelerden bir tanesi de başlık-numune arasındaki z-

mesafesidir. Islak film kalınlığını ve homojenitesini belirleyen bu parametrenin öncelikli olarak boş sistemde gerek sağ-sol kenarlardan gerekse hareket yolu boyunca başlangıç ve bitiş noktaları arasında zemin düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonra kullanılan alttaşın yüksekliğine göre istenilen z-mesafesi değeri ayarlanarak üretim süreci başlatılır. Çalışma kapsamında bir önceki optimizasyon çalışmalarında kullanılan 0.2 mm yükseklik değerine ek olarak 0.1 mm, 0.3 mm ve 0.4 mm yükseklik değerleri de çalışılmış ve sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır. Z-mesafesi daha öngörülebilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla tüm konsantrasyon değerleri için 2'şer film üzerinden değerlendirilmiştir. Üretilen filmlere ait dijital görüntüler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Farklı konsantrasyon değerleri için farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait PL spektrumları. (a) RT, (b) 60 °C, (c) 90 °C.



Şekil 5. Farklı konsantrasyon değerleri (solda sağa azalan; A:1/2, B:1/4, C:1/6, D:1/8) için farklı z-mesafesi (yükseklik) (yukarıdan aşağıya artan; (a) 0.1 mm, (b) 0.2 mm, (c) 0.3 mm, (d) 0.4 mm) kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait dijital görüntüler.

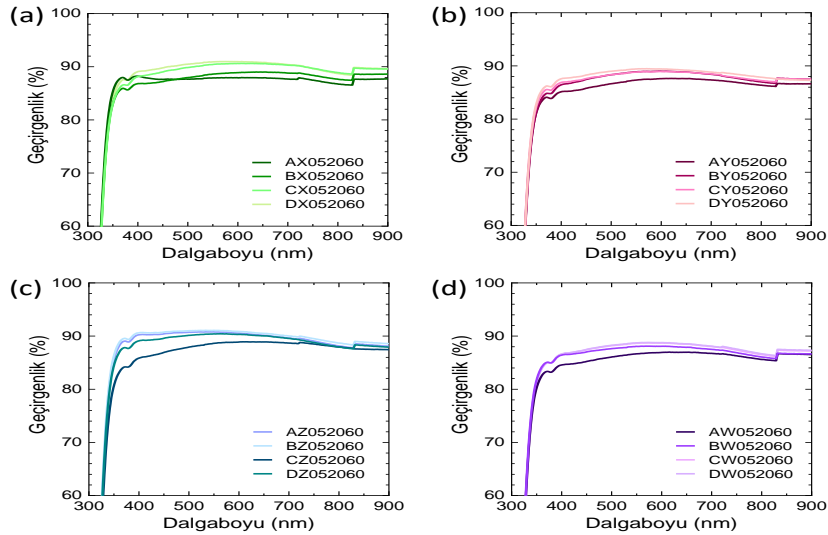
Konsantrasyon değerleri (A-B-C-D) göz önünde bulundurulduğunda yukarıdaki sonuçları destekleyici şekilde A ve B konsantrasyonlarında üretilen filmlerin

kalın ve homojen olmayan bir dağılım ile büyüdüğü görülürken C ve D konsantrasyonlarında film homojenitesinin daha iyi olduğu söylenebilir. Öte yandan,

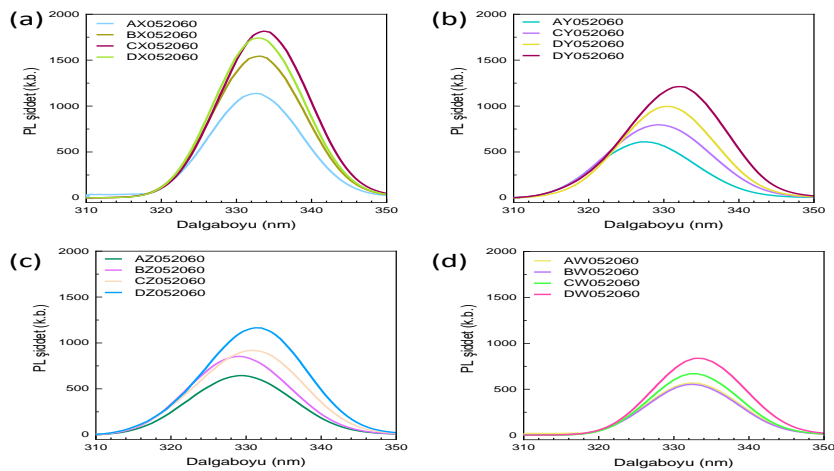
z-mesafesi değerleri (X-Y-Z-W) karşılaştırıldığında özellikle 0.3 mm (Z) ve 0.4 mm (W) değerlerinde film yüzeylerinde dalgalı büyümeler olduğu ve numunelerin kesikli izler şeklinde büyüdüğü görülmektedir. İlgili izler 0.2 mm (Y) mesafesinde B ve C konsantrasyon değerleri için elde edilen filmlerde de dikkati çekmektedir. Sonuç olarak farklı konsantrasyon ve z-mesafesi değerleri birlikte değerlendirildiğinde CX ve DX kodlu numunelerin daha homojen bir büyüme sergilediği söylenebilir. Dijital görüntülerden elde edilen ön bilgiler ışığında numunelere ait optik geçirgenlik değerleri de incelenmiş ve tüm z-mesafesi değerleri için artan konsantrasyon değeri ile kalınlığa bağlı olarak geçirgenliğin düştüğü görülmüştür (Şekil 6). Ancak artan z-mesafesi değeri için geçirgenlik spektrumlarında düzenli bir değişim gözlenmemiştir.

Öyle ki 0.1 mm (X) ve 0.2 mm (Y) z-mesafeleri için geçirgenlik konsantrasyon değerine bağlı olarak sırasıyla %88-91 ve %86-89 aralığında seyrederken 0.3 mm (Z) z-değeri için geçirgenlik değerlerinde geniş bir dalgaboyu aralığında kısmi de olsa bir artış elde edilmiş (%88-92) ve

0.4 mm (W) z-değeri için geçirgenlik değerleri yeniden %85-88 bandına kaymıştır. Artan z-mesafesine bağlı olarak film kalınlığının artması beklenen bir etki olsa da 0.3 mm değerindeki kısmi artışın sebebi tam olarak anlaşılamamıştır. 0.3 mm z-mesafesinde elde edilen filmlerin geçirgenlik değerindeki kısmi artışın filmin eksitonik kalitesi ile ilişkisini incelemek amacıyla PL analizleri de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 7'da sunulmuştur. Şekil 6'da sunulan geçirgenlik spektrumlarının aksine 0.3 mm z-mesafesinde elde edilen filmlerin daha düşük PL şiddeti sunduğu ve genel olarak z-mesafesinin artışına bağlı olarak PL şiddetlerinin tüm konsantrasyon değerlerinde düştüğü tespit edilmiştir. Daha önceki optimizasyon sonuçları ile uyumlu olarak C ve D konsantrasyonlarının en yüksek PL şiddeti verdiği görülmektedir. 0.1 mm z-mesafesinin de diğerleri ile kıyaslandığında belirgin şekilde yüksek PL şiddeti sunduğu görülmektedir. Geçirgenlik ve PL spektrumları birlikte değerlendirildiğinde 0.1 mm (X) z-mesafesinin daha uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Farklı konsantrasyon değerleri için farklı z-mesafesi kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait geçirgenlik spektrumları. (a)0.1 mm, (b) 0.2 mm, (c) 0.3 mm, (d) 0.4 mm



Şekil 7. Farklı konsantrasyon değerleri için farklı z-mesafesi kullanılarak üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait PL spektrumları. (a) 0.1 mm, (b) 0.2 mm, (c) 0.3 mm, (d) 0.4 mm.

Bir diğer aşamada, kaplama hızı parametresi geniş bir skalada optimize edilmeye çalışılmıştır. Şu ana kadar elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak çözelti

konsantrasyonu (C), z-mesafesi (X) ve tabla sıcaklığı (60 °C) değerleri sabit tutulurken 05-40 mm/sn aralığında farklı kaplama hızları için cam/SnO<sub>2</sub> filmler üretilmiş ve

dijital görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir. Özellikle ön-optimizasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında kaplama kalitesindeki ve homojenitesindeki iyileşme açık bir şekilde görülmektedir. Yüksek büyütme hızlarında bölgesel dalgalanmalar oluşa da özellikle 05 mm/sn ve 10 mm/sn kaplama hızları için film kaplamalarının iyi olduğu söylenebilir. Son olarak çözelti beslem oranının optimize edilmesi amacıyla sabit çözelti konsantrasyonu

(1:6; C), z-mesafesi (0.1 mm; X), tabla sıcaklığı (60 °C; 60) ve kaplama hızında (05 mm/sn; 05) farklı beslem oranları (2, 5, 10, 15, 20, 25 µl/sn) kullanılarak cam/SnO<sub>2</sub> filmler üretilmiş ve dijital görüntüleri Şekil 9’da verilmiştir. Artan çözelti beslem oranı ile film kalitesinde yine bozulmalar ve kalınlık farkına bağlı olarak renklemeler meydana gelmiştir.



Şekil 8. Farklı büyütme hızlarında (solda sağa artan; 05, 10, 20, 30, 40 mm/sn) için üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait dijital görüntüler.



Şekil 9. Farklı beslem oranlarında (solda sağa artan; 02, 05, 10, 15, 20, 25 µl/sn) için üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait dijital görüntüler.

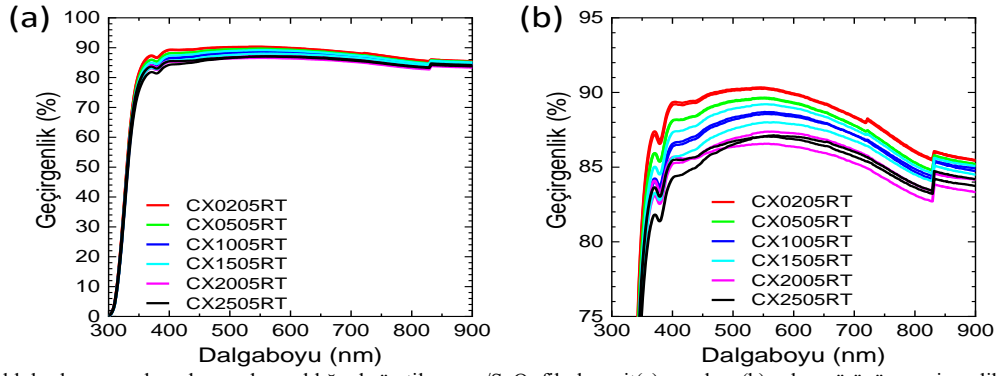
Özellikle 5 µl/sn değerinin üzerinde üretilen filmlerin aygıt uygulamaları için uygun olmayan büyüme kinetiklerine sahip olduğu görülmektedir. Üretilen tüm filmlerde slot-die başlığının altta yüzeyinden ayrıldığı bölgede (en altta) birikmeden dolayı bir miktar çözelti kalmakta ve tavlama etkisi ile o bölgede çökelti şeklinde bir büyüme meydana gelmektedir. Tüm şekiller birlikte değerlendirildiğinde bu durumun tabla sıcaklığına bağlı olup olmadığını test etmek amacıyla ilgili filmlerin oda sıcaklığında üretimleri de gerçekleştirilmiştir. 60 °C tabla sıcaklığı yerine oda sıcaklığında üretimler gerçekleştirildiğinde hem yüzey kaplamasında iyileşme hem de alt bölgede oluşan birikintide önemli oranda azalma meydana gelmiştir.

Şekil 10’da paylaşılan dijital görüntüler incelendiğinde CX0205RT ve CX0505RT kodlu filmlerin görüntü olarak en homojen büyümeye sahip olduğu

söylenebilir. Görsellerdeki homojenlik Şekil 11’de sunulan geçirgenlik spektrumları ile de örtüşmektedir. Öyle ki, üretilen ikişer numunedan alınan ortalama değerler incelendiğinde özellikle 15 µl/sn değerinin üzerinde geçirgenlik verilerinde sapmalar olduğu ve artan beslem oranı ile bağlı geçirgenliğin (<85) ciddi oranda düştüğü tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra optimize edilen filmler için daha sağlıklı kıyaslamalar yapabilmek amacıyla standart koşullarda spin-coater tekniği ile üretilen filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri de alınmış ve slot-die ile üretilen CX0205RT kodlu filmler ile kıyaslanmıştır (Şekil 11). Bu aşamada slot-die tekniği ile üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlerin tekrarlanabilirliğini göstermek amacıyla 4 farklı cam alttaş üzerine filmler büyütülmüş ve dijital görüntüleri ile geçirgenlik spektrumları alınmıştır.



Şekil 10. Farklı besleme oranlarında (solda sağa artan; 02, 05, 10, 15, 20, 25) oda sıcaklığında üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait dijital görüntüler.



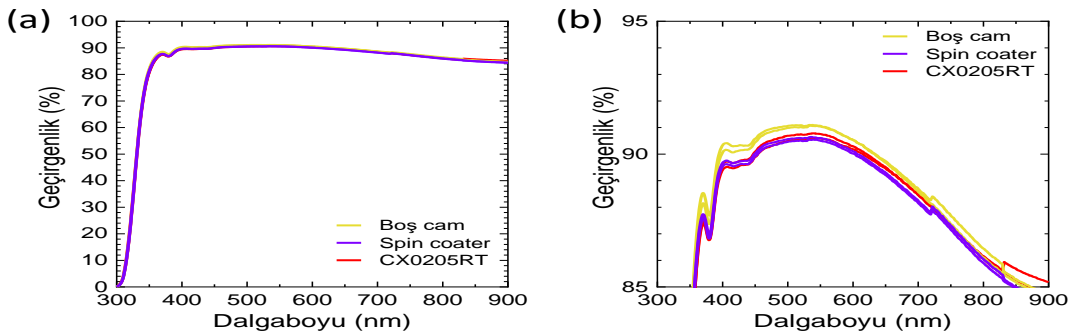
Şekil 11. Farklı besleme oranlarında ve oda sıcaklığında üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlere ait (a) genel ve (b) yakın görünüm geçirgenlik spektrumları.

Şekil 12 ve 13’de sırasıyla verilen dijital görüntüler ve geçirgenlik spektrumları incelendiğinde slot-die tekniği ile optimize edilen filmlerin spin-coater tekniği ile üretilen filmler ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca boş cam ile kıyaslandığında farklı noktalardan alınan geçirgenlik değerlerinde ciddi bir kayıp olmadığı ve kullanılacak ETL filmlerin aygıt mimarisinde perovskite soğurucu tabakaya ulaşacak ışık oranını sınırlandırmayacağı söylenebilir. Gerek dijital görüntülerden gerekse geçirgenlik spektrumlarından CX0205RT kodlu filmlerin iyi bir tekrarlanabilirlik sunduğu da tespit edilmiştir. Sonuç olarak slot-die sistemi üzerinde tüm parametreler ile ilgili optimizasyonlar SnO<sub>2</sub> malzemesi için denenmiş ve standart SnO<sub>2</sub> film ile büyüme kinetiği, optik ve morfolojik açıdan oldukça benzer filmler başarı ile üretilmiştir. Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde iyi bir tekrarlanabilirlik ile elde edilen filmlerin performans açısından aygıt mimarisinde en az spin-coater tekniği ile

üretilen filmler kadar iyi bir performans sergilemesi beklenmektedir. SnO<sub>2</sub> filmlerin üretiminde cam alttaş üzerine gerçekleştirilen tüm optimizasyon çalışmaları neticesinde her ne kadar CX0205RT kodlu film ile spin-coater tekniği ile üretilen kontrol filmi oldukça benzer sonuçlar sergilese de oldukça yakın sonuçlar CX0505RT kodlu film için de elde edilmiştir. ITO alttaş kullanılan optimizasyon çalışmalarında da bu durum dikkate alınmış ve cam alttaş ile elde edilen sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla CX0205RT kodlu filme ek olarak CX0505RT ve CX2005RT kodlu filmler de üretilerek karşılaştırma yapılmıştır. Tüm slot-die üretim parametreleri cam alttaşlar üzerinde optimize edildiğinden ITO alttaşlar için diğer parametrelerin yeniden optimize edilmesine gerek duyulmamıştır. SnO<sub>2</sub> filmler ultrasonik olarak temizlenen ve UV-O<sub>3</sub> işlemine maruz bırakılan ITO alttaşlar üzerine CX0205RT ve CX0505RT kodları ile büyütülmüş ve spin-coater tekniği ile üretilen kontrol filmi ile kıyaslanmıştır.



Şekil 12. Optimum koşullarda slot-die tekniği ile üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlerin boş cam (en solda) ve spin-coater tekniği ile üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlerin (en sağda) dijital görüntülerinin kıyaslanması

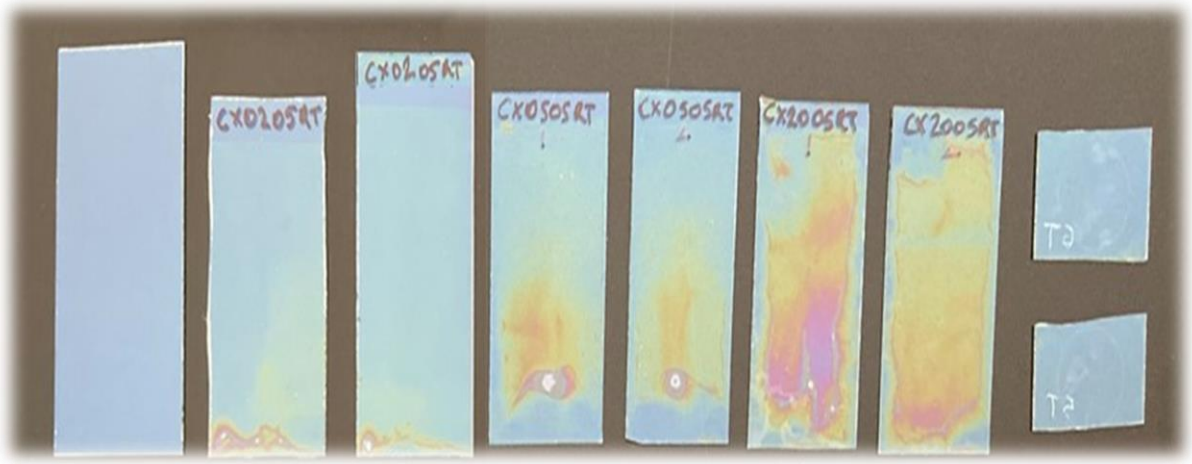


Şekil 13. Optimum koşullarda slot-die tekniği ile üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmlerin boş cam ve spin-coater tekniği ile üretilen cam/SnO<sub>2</sub> filmler ile kıyaslanması. (a) genel ve (b) yakın görünüm geçirgenlik spektrumları.

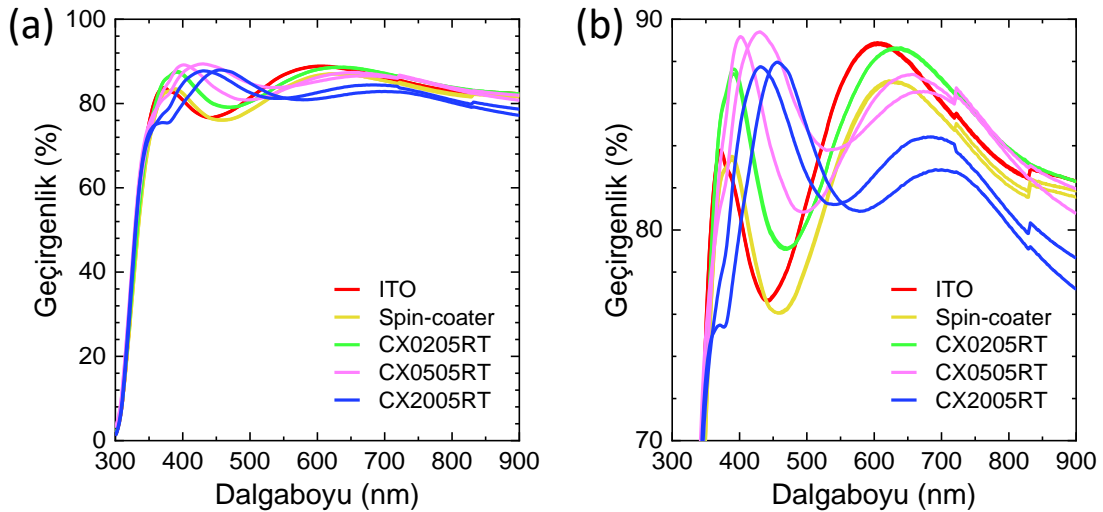


Ayrıca, slot-die parametrelerinin etkisini daha net olarak gözlemleyebilmek amacıyla CX2005RT kodlu filmler de üretilmiştir. Şekil 14'te verilen dijital görüntüler incelendiğinde slot-die tekniği ile üretilen CX0205RT kodlu filmlerin spin-coater tekniği ile üretilen filmler ile benzer bir görünürlüğe sahip olduğu ve artan beslem oranı ile yüzeyde homojen olmayan bölgelerin arttığı görülmektedir. Ayrıca spin-coater tekniği ile üretilen kontrol filminden farklı olarak slot-die tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> filmlerin düşük dalgaboyu değerlerinde (400-500 nm arasında) geçirgenliğin boş ITO alttaştan daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 15). Bu durum slot-die tekniği ile üretilen SnO<sub>2</sub> filmlerin yansıma özelliğinin bir sonucu olabilir [45]. Ayrıca, CX0205RT kodlu film kontrol filmi ile benzer şekilde üst üste örtüşen (homojen) bir geçirgenlik sergilerken artan beslem oranı ile CX0505RT ve CX2005RT kodlu filmler için film yüzeyindeki renk oluşumunun bir neticesi olarak geçirgenlik şiddetinde değişkenlikler görülmektedir. Filmlerin büyüme kinetiği ve optik özelliklerinin yanında morfolojik özellikleri de taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla analiz

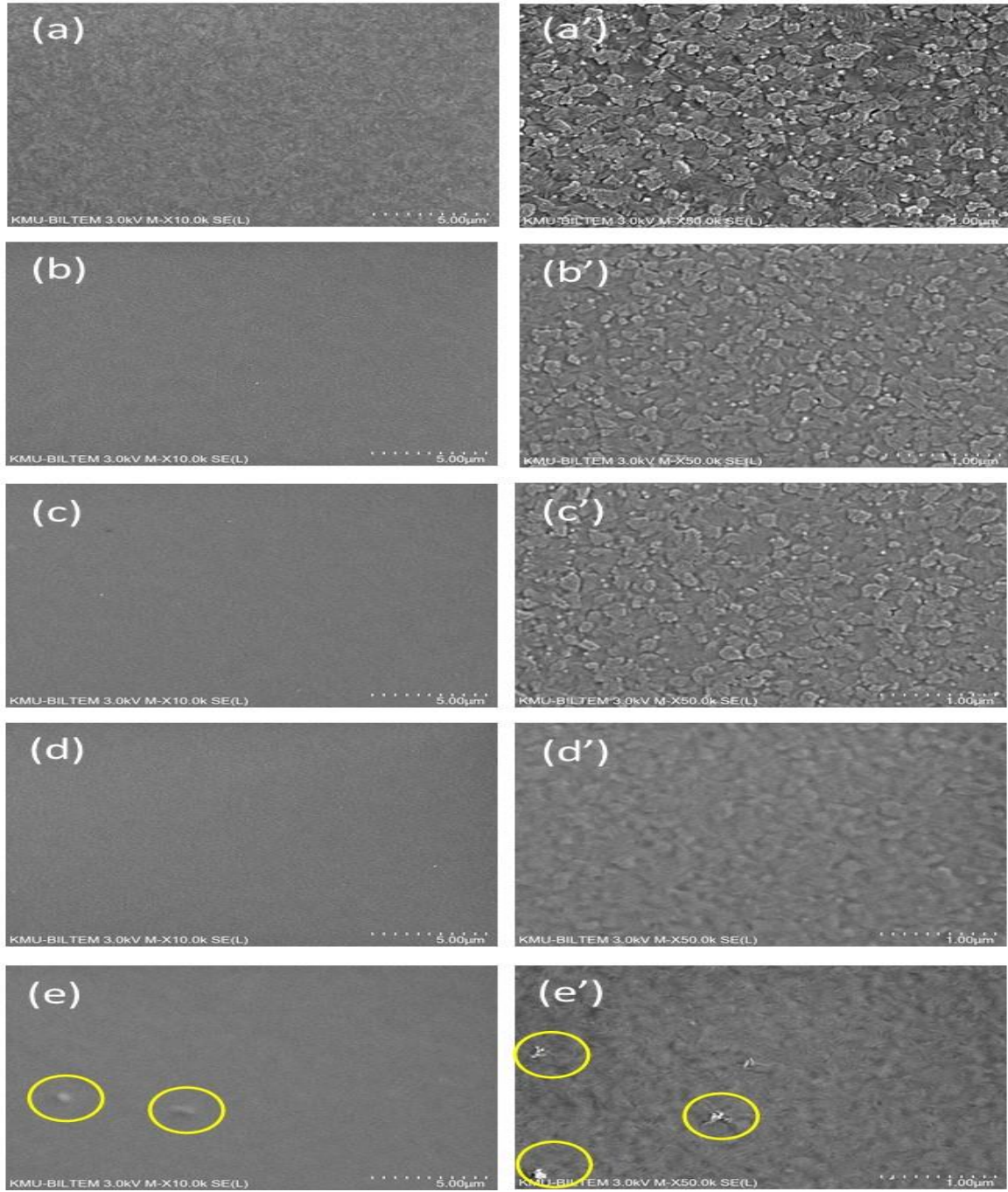
edilmiş ve boş ITO alttaş ve spin-coater tekniği ile üretilen kontrol filmi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 16). Spin-coater tekniği ile üretilen filmin slot-die tekniği ile üretilen CX0205RT kodlu film ile benzer bir yüzey morfolojisine sahip olduğu görülmektedir. Boş ITO alttaş ile kıyaslandığında SnO<sub>2</sub> filmlerin yüzey pürüzlülüğünü azalttığı ve daha smooth bir yüzey elde edildiği söylenebilir. Öte yandan, slot-die tekniği ile üretilen CX2005RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub> filme ait yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde ITO yüzeyine ait tanelerin film kalınlığına bağlı olarak görünmediği ve yüzeyde toplanmaların oluştuğu belirlenmiştir. Gerek kullanılan filmin optimum değerden daha kalın olması durumunda yük transferini olumsuz etkileyeceğinden, gerekse kullanılan elektron transfer tabakasının yüzey morfolojisi üzerine büyütülecek perovskite tabakanın büyüme kinetiklerini etkilediğinden daha pürüzlü bir yüzey sunan filmlerin perovskite film kalitesini de olumsuz etkileme potansiyeli vardır ve bu durumun aygıt performansı üzerinde de olumsuz bir etki yaratma potansiyeli yüksektir [46, 47].



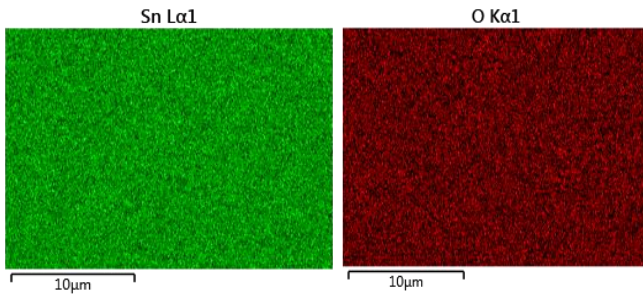
Şekil 14. Slot-die tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> filmlerin boş ITO (en solda) ve spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> filmlerin (en sağda) dijital görüntülerinin kıyaslanması.



Şekil 15. Slot-die tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> filmlerin ITO cam ve spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> filmler ile kıyaslanması (a) genel ve (b) yakın görünüm geçirgenlik spektrumları.



**Şekil 16.** ITO alttaş üzerine büyütülen SnO<sub>2</sub> filmlere ait farklı büyütme ölçeklerinde yüzey SEM görüntüleri: (a, a') boş ITO, (b, b') spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub>, (c, c') CX0205RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>, (d, d') CX0505RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub> ve (e, e') CX2005RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>.

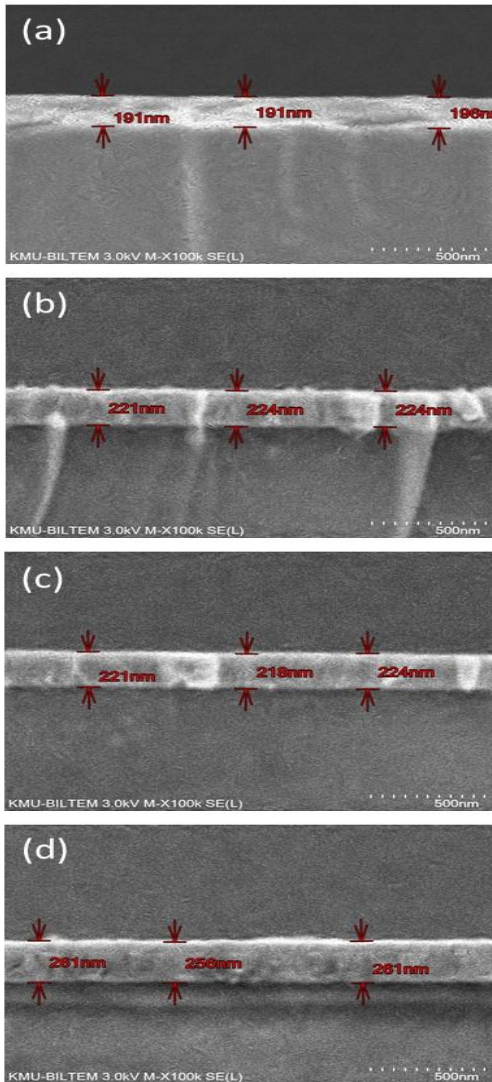


**Şekil 17.** ITO alttaş üzerine slot-die tekniği ile büyütülen CX0205RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub> numunesine ait EDS-haritalama görüntüleri (soldaki görüntü Sn elementini, sağdaki görüntü O elementini temsil etmektedir)

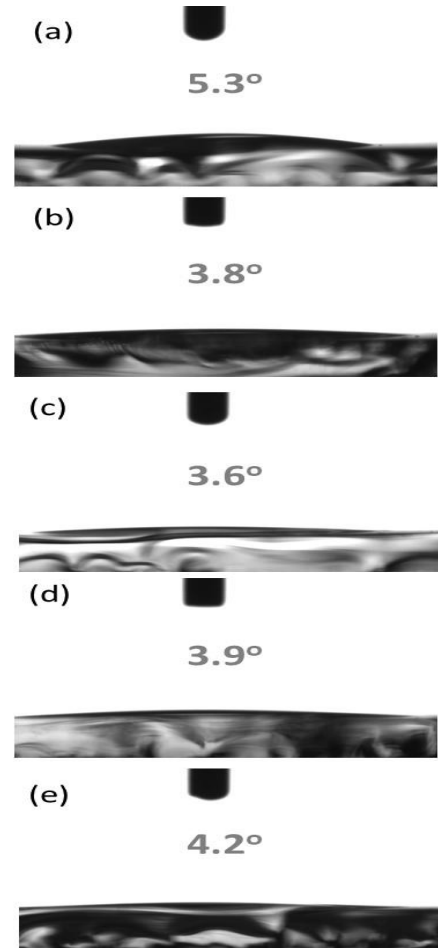
Slot-die tekniği ile üretilen CX0205RT kodlu filmlerde SnO<sub>2</sub>'nin yapısını oluşturan kalay (Sn) ve

oksijen (O) elementlerinin hem yapı içerisinde hem de ITO alttaşları üzerinde varlığının/homojenliklerinin kontrolü amacıyla enerji dağılım spektrometrisi (EDS) kullanılarak ölçüm alınmıştır. Ölçüm alınırken EDS-haritalama tekniği yardımıyla geniş alanlı bölge üzerinden tarama yapılmaya dikkat edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 17'de gösterilmiştir. Yeşil renkli (solda) tarama Sn elementini temsil ederken kırmızı renkli (sağda) O elementini temsil etmektedir. Elde edilen EDS-haritalama sonuçlarına göre hem her iki elementin ITO üzerindeki varlığı kanıtlanmış hem de ITO yüzeyinde homojen dağılım gösterdikleri anlaşılmıştır. Üretilen filmlerin kalınlığını belirlemek amacıyla kesit alan SEM görüntülerinden yararlanılmıştır (Şekil 18). SnO<sub>2</sub> tabakasının oldukça ince bir tabaka olması ve alttaş ile benzer yapısı sebebiyle ITO alttaş ile ayırt edilebilir bir

görüntü elde edilememiştir. Bu sebeple ilgili filmlerin kalınlıkları boş ITO alttaş ile kıyaslanarak belirlenmiştir. Hem spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub> hem de slot-die tekniği ile üretilen CX0205RT kodlu filmlerin optik geçirgenlik sonuçları ile de uyumlu olarak benzer bir kalınlık değeri aralığında (~30-35 nm) ve homojen bir şekilde alttaş yüzeyine büyüdüğü görülmektedir. Slot-die tekniği ile üretilen CX2005RT kodlu filme ait kesit alan görüntüleri incelendiğinde ise standart spin-coater tekniği ile üretilen film ile kıyaslandığında daha kalın bir tabaka (~65-70 nm) elde edilmiştir. Perovskite tabakanın büyüme kinetiklerini etkileyen bir diğer parametre de film yüzeyinin ıslanabilirlik davranışıdır. Üretilen filmlerin ıslanabilirlik davranışı UV-O<sub>3</sub> sonrası oda sıcaklığında gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri ile incelenmiştir. Şekil 19'de sunulan temas açısı görüntüleri incelendiğinde elde edilen açı değerlerinin sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için oldukça yakın değerler olduğu ancak perovskite tabakanın büyümesini olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir durum olmadığı ve yüzey ıslanabilirliğinin perovskite tabakanın homojen olarak büyütülebilmesi için oldukça elverişli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 18. ITO alttaş üzerine büyütülen SnO<sub>2</sub> filmlere ait kesit alan SEM görüntüleri: (a) boş ITO, (b) spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub>, (c) CX0205RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>, (d) CX2005RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>.



Şekil 19. ITO alttaş üzerine büyütülen SnO<sub>2</sub> filmlere ait temas açısı görüntüleri: (a) boş ITO, (b) spin-coater tekniği ile üretilen ITO/SnO<sub>2</sub>, (c) CX0205RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>, (d) CX0505RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub> ve (e) CX2005RT kodlu ITO/SnO<sub>2</sub>.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada optoelektronik aygıtlarda elektron transfer tabakası olarak kullanılan SnO<sub>2</sub> filmler lam ve ITO alttaşlar üzerine slot-die kaplama yöntemi ile üretilmiştir. Mevcut slot-die sistemi üzerinde çözelti konsantrasyonu, başlık-alttaş mesafesi, çözelti beslem oranı, kaplama hızı ve tabla sıcaklığı olmak üzere 5 farklı parametre optimize edilerek geleneksel döndürerek-kaplama tekniği ile üretilen SnO<sub>2</sub> filmlere (15 x 25 mm) eş-değer kalitede filmler daha büyük alanlarda (25 x 75 mm) elde edilmiştir. Üretilen filmlerin optik, morfolojik ve eksitonik kaliteleri çeşitli karakterizasyon teknikleri ile karakterize edilmiştir. SnO<sub>2</sub> ince filmlerin çok daha ekonomik slot-die tekniği ile büyük alanlara homojen olarak büyütüldüğü bu çalışma, farklı tabakaların ticari boyut kazanmasına öncülük edecek bir potansiyel sunmaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2247-A Ulusal Lider Araştırmacılar programı tarafından 120C126 proje numarası ile desteklenmiştir.

#### Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

## Kaynaklar

- [1] Sönmezoglu, S., Koç, M. & Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 389-401.
- [2] Çalışkan, M. D. (2014). *Yeni Nesil İnce Filmler ile Optoelektronik Uygulamaların Araştırılması*. (Doctoral Dissertation, Hacettepe University).
- [3] Selvaraj, S. K. (2015). *Atomic Layer Deposition of Metal Oxides for Emerging Applications*. (Doctoral Dissertation, Illinois University).
- [4] Özyurt Kuş, F. (2010). *Bakır Oksit/Çinko Oksit Heteroeklem Yapıların Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doctoral Dissertation, Ankara University).
- [5] Bilgin, V., (2003). *ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi*. (Doctoral Dissertation, Eskisehir University).
- [6] Pejova, B., & Grozdanov, I. (2006). Structural and Optical Properties of Chemically Deposited Thin Films of Quantum-Sized Bismuth (III) Sulfide, *Materials Chemistry and Physics*, 99, 39–49.
- [7] Horzum, Ş., (2005). *Kimyasal Olarak Kaplanmış CuO<sub>2</sub> İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi*. (Master's Dissertation, Ankara University).
- [8] Eckertova, L. (1986). Physics of Thin Films, s. 340, *Plenum Press*, New York and London.
- [9] Hass, G., & Thun, R.E. (1969). Physics of Thin Films Advances in Research and Development, s. 341, *Acedemic Press*, USA.
- [10] Gao, L., Huang, K., Long, C., Zeng, F., Liu, B., & Yang, J. (2020). Fully slot-die-coated perovskite solar cells in ambient condition. *Applied Physics A*. 126:452.
- [11] Mattox, D. (2010). Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, *William Andrew*, 792.
- [12] Dobkin, D. M., & Zuraw, M. K. (2010). Principles of Chemical Vapor Deposition, *Springer*, s. 284.
- [13] Jeffrey, B .C., & George, W. (1990). *Gulf Professional Publishing*, 908.
- [14] Smith, D. (1995). Thin-Film Deposition: Principles and Practice, *McGraw-Hill Professional*, s. 616.
- [15] Tang, S., Deng, Y., Zheng, X., Bai, Y., Fang, Y., Dong, Q., Wei, H., & Huang, J. (2017). Composition engineering in doctor-blading of perovskite solar cells. *Adv. Energy Mater.* 7, 1700302.
- [16] Deng, Y., Peng, E., Shao, Y., Xiao, Z., Dong, Q., & Huang, J. (2015). Scalable fabrication of efficient organo lead trihalide perovskite solar cells with doctor-blade dactive layers. *Energy Environ. Sci.* 8, 1544–1550.
- [17] Wu, H., Zhang, C., Ding, K., Wang, L., Gao, Y., & Yang, J. (2017). Efficient planar heterojunction perovskite solar cells fabricated by insitu thermal-annealing doctor blading in ambient condition. *Org. Electron.* 45, 302–307.
- [18] Adnan, M., & Lee, J. K. (2018). All sequential dip-coating processed perovskite layers from an aqueous lead precursor for high efficiency perovskite solar cells, *Scientific Reports*, 8, 2168.
- [19] Barrows, A., Pearson, A., Kwak, C., Dunbar, A., Buckley, A., & Lidzey, D. (2014). Efficient planar heterojunction mixed-halide perovskite solar cells deposited via spray-deposition. *Energy Environ. Sci.* 7, 2944–2950.
- [20] Das, S., Yang, B., Gu, G., Joshi, P., Ivanov, I., Rouleau, C., Aytug, T., Geohegan, D., & Xiao, K. (2015). High-performance flexible perovskite solar cells by using a combination of ultrasonic spray-coating and low thermal budget photonic curing. *ACS Photonics* 2, 680–686.
- [21] Huang, H., Shi, J., Zhu, L., Li, D., Luo, Y., & Meng, Q. (2016). Two-step ultrasonic spray deposition of CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> for efficient and large-area perovskite solar cell. *Nano Energy* 27, 352–358.
- [22] Rong, Y., Ming, Y., Ji, W., Li, D., Mei, A., Hu, Y., & Han, H. (2018). Toward industrial-scale production of perovskite solar cells: screen printing, slot-die coating, and emerging techniques. *J. Phys. Chem. Lett.* 9, 2707–2713.
- [23] Krebs, F., Fyenbo, J., & Jørgensen, M. (2010). Product integration of compact roll-to-roll processed polymer solar cell modules: methods and manufacture using flexographic printing, slot-die coating and rotary screen printing. *J. Mater. Chem.* 20, 8994–9001.
- [24] Krebs, F. (2009). Polymer solar cell modules prepared using roll-to-roll methods: Knife-over-edge coating, slot-die coating and screen printing. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 93, 465–475.
- [25] Kim, J., Jung, Y., Heo, Y., Hwang, K., Qin, T., Kim, D., & Vak, D. (2018). Slot-die coated planar perovskite solar cells via blowing and heating assisted step deposition. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 179, 80–86.
- [26] Hwang, K., Jung, Y., Heo, Y., Scholes, F., Watkins, S., Jones, D., Subbiah, J., Kim, D., & Vak, D. (2015). Toward large scale roll-to-roll production of fully printed perovskite solar cells. *Adv. Mater.* 27, 1241–1247.
- [27] Zuo, C., Vak, D., Angmo, D., Ding, L., & Gao, M. (2018). One-step roll-to-roll air processed high efficiency perovskite solar cells. *Nano Energy* 46, 185–192.
- [28] Cotella, G., Baker, J., Worsley, D., Rossi, F., Pleydell-Pearce, C., Carnie, M., & Watson, T. (2017). One-step deposition by slot-die coating of mixed lead halide perovskite for photovoltaic applications. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 159, 362–369.
- [29] Bu, T., Zheng, J., Chen, W., Wen, X., Ku, Z., Peng, Y., Zhong, J., Cheng, Y., & Huang, F. (2018). Universal passivation strategy to slot-die printed SnO<sub>2</sub> for hysteresis-free efficient flexible perovskite solar module. *Nat. Commun.* 9, 4609.
- [30] Zhang, C., Luo, Q., Wu, H., Li, H., Lai, J., Ji, G., Yan, L., Wang, X., Zhang, D., Lin, J., Chen, L., Yang, J., & Ma, C. (2017). Roll-to-roll micro-gravure printed large-area zinc oxide thin film as the electron transport layer for solution-processed polymer solar cells. *Org. Electron.* 45, 190–197.
- [31] Kim, G., Shin, D., Lee, J., & Park, J. (2019). Effect of surface morphology of slot-die heads on roll-to-roll coatings of fine PEDOT:PSS stripes. *Org. Electron.* 66, 116–125.
- [32] Galagan, Y., Giacomo, F., Gortler, H., Kirchner, G., Vries, I., Andriessen, R., & Groen, P. (2018). Roll-to-roll slot-die coated perovskite for efficient flexible solar cells. *Adv. Energy Mater.* 8, 1801935.
- [33] Hu, Q., Wu, H., Sun, J., Yan, D., Gao, Y., & Yang, J. (2016). Large-area perovskite nano wire arrays fabricated by large-scale roll-to-roll micro gravure printing and doctor-blading. *Nanoscale* 8, 5350–5357.
- [34] Ding, X., Didari, S., Fuller, T. F., & Harris, T. A. (2012). Membrane electrode assembly fabrication process for directly coating catalyzed gas diffusion layers. *Journal of The Electrochemical Society*, 159(6), B746.
- [35] Bhamidipati, K. L., & Harris, T. A. L. (2010). Numerical simulation of a high temperature polymer electrolyte membrane fabrication process. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 7(6).
- [36] Schmitt, M., Baunach, M., Wengeler, L., Peters, K., Junges, P., Scharfer, P., & Schabel, W. (2013). Slot-die processing of lithium-ion battery electrodes-coating window characterization. *Chem Eng Process.* 68:32–37.
- [37] Schmitt, M., Scharfer, P., & Schabel, W. (2014). Slot die coating of lithium-ion battery electrodes: investigations on edge effect issues for stripe and pattern coatings. *J Coating Tech Res.* 11(1):57–63.
- [38] Akin, S., Arora, N., Zakeeruddin, S. M., Graetzel, M., Friend, R. H., & Dar, M. I. (2020). New strategies for defect

- passivation in high-efficiency perovskite solar cells. *Advanced Energy Materials*, 10(13), 1903090.
- [39] Seo, J. Y., Akin, S., Zalibera, M., Preciado, M. A. R., Kim, H. S., Zakeeruddin, S. M., Millc, J. V., & Gratzel, M. (2021). *Adv. Funct. Mater.* 31, 202102124.
- [40] Akin, S. (2019). Hysteresis-free planar perovskite solar cells with a breakthrough efficiency of 22% and superior operational stability over 2000h, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 11, pp. 39998-40005.
- [41] Kojima, A., Teshina, K., Shirai, Y., & Miyasaka, T. (2009). Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. *J. Am. Chem. Soc.* 131(17), 6050–6051.
- [42] NREL. Retrieved August 8, 2021, from <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efciencies.20191106.pdf>
- [43] Kim, Y., Park, E., Yang, T., Noh, J., Shin, T., Jeon, N., & Seo, J. (2018). Fast two-step deposition of perovskite via mediator extraction treatment for large-area, high-performance perovskite solar cells. *J. Mater. Chem. A*, 6, 12447–12454.
- [44] Whitaker, J., Kim, D., Larson, B., Zhang, F., Berry, J., & Zhu, K. (2018). Scalable slot-die coating of high performance perovskite solar cells. *Sustain. Energy Fuels*, 2, 2242–2249.
- [45] Huang, K., Wang, C., Zhang, C., Tong, S., Li, H., Liu, B., Gao, Y., Dong, Y., Gao, Y., Peng, Y., & Yang, J. (2018). Efficient and stable planar heterojunction perovskite solar cells fabricated under ambient conditions with high humidity. *Org. Electron.* 55, 140–145.
- [46] Peng, Y., Cheng, Y., Wang, C., Zhang, C., Xia, H., Huang, K., Tong, S., & Yang, J. (2018). Fully doctor-bladed planar heterojunction perovskite solar cell under ambient condition. *Org. Electron.* 58, 153–158.
- [47] Li, F., Shen, Z., Weng, Y., Lou, Q., Chen, C., Shen, L., Guo, W., & Li, G. (2020). Novel Electron Transport Layer Material for Perovskite Solar Cells with Over 22 % Efficiency and Long-Term Stability. *Advanced Functional Materials* 30:45, 2004933.