

e- ISSN:2458-7575

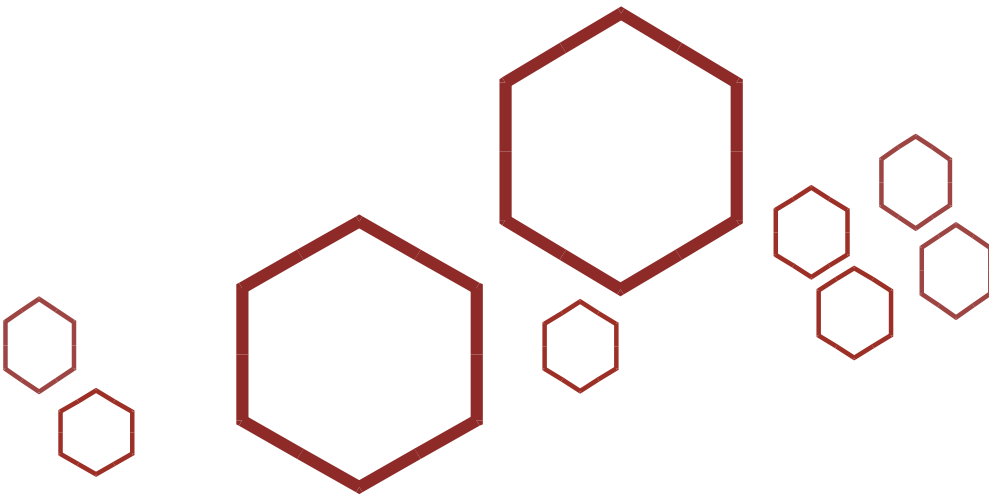
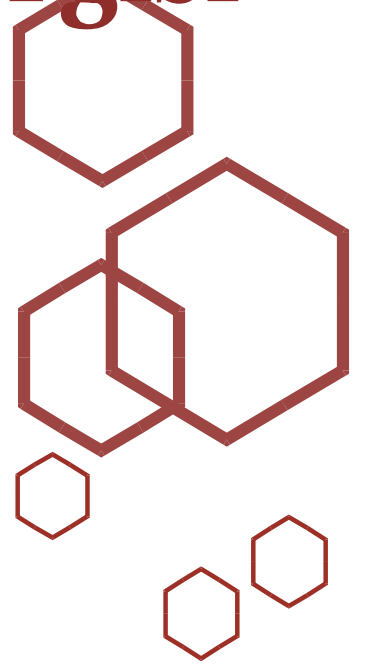
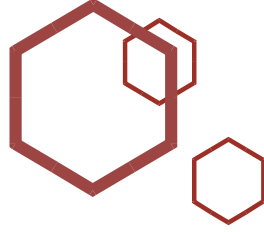


Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

*Bilecik Şeyh Edebali University*

*Journal of Science*



**Sahibi / Publisher**

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rektör / Rector)

**Editör / Editor**

Doç. Dr. Birol AKYÜZ (Enstitü Müdürü / Institute Director)

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Dr. Öğr. Üyesi Gözde KOCA

Dr. Öğr. Üyesi Gamze GÜNDÜZ MERİÇ

**Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director**

Abdil ÜNAL

**Redaksiyon / Proofreading**

Arş. Gör. Damla KILIÇ

Arş. Gör. Ertuğrul ÇAM

Arş. Gör. Ezgi GÜLER

**Editör Kurulu / Editorial Board**

Prof. Dr. Arslan ÜNAL (arslan.unal@bilecik.edu.tr)  
Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Cihan DARCAN (cihan.darcana@bilecik.edu.tr)  
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Cihan KARAKUZU (cihan.karakuzul@bilecik.edu.tr)  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ (caglayan.acikgoz@bilecik.edu.tr)  
Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Hanife MUT (hanife.mut@bilecik.edu.tr)  
Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Harun MİNDİVAN (harun.mindivan@bilecik.edu.tr)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet KURBAN (mehmet.kurban@bilecik.edu.tr)  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY (nurgul.ozbay@bilecik.edu.tr)  
Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz ARSLAN (oguz.arslan@bilecik.edu.tr)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa Oğuzhan ÇAĞLAYAN (oguzhan.caglayan@bilecik.edu.tr)  
Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK (ozkan.kucuk@bilecik.edu.tr)  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Sıddıka ÖZKALDI KARAKUŞ (siddika.karakus@bilecik.edu.tr)  
Matematik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR (suheyla.yerel@bilecik.edu.tr)  
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ (ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr)  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

**Editör Kurulu / Editorial Board**

Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ (yasar.kibici@bilecik.edu.tr)  
İnşaat Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Prof. Dr. Zeki MUT (zeki.mut@bilecik.edu.tr)  
Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN (alev.akpinar@bilecik.edu.tr)  
Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Cenk KARAKURT (cenk.karakurt@bilecik.edu.tr)  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Nazile URAL (nazile.ural@bilecik.edu.tr)  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Osman Zeki OKUYUCU (osman.okuyucu@bilecik.edu.tr)  
Matematik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Ülküye Dudu GÜL (ulkuyedudu.gul@bilecik.edu.tr)  
Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Alper Kürşat DEMİRKAYA (alperkursat.demirkaya@bilecik.edu.tr)  
Gıda İşleme Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Derya ŞENAL (derya.senal@bilecik.edu.tr)  
Bitki Koruma Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Emre DANDİL (emre.dandil@bilecik.edu.tr)  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR (emrah.dokur@bilecik.edu.tr)  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Emre ESENER (emre.esener@bilecik.edu.tr)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gamze GÜNDÜZ MERİÇ (gamze.gunduz@bilecik.edu.tr)  
Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gözde KOCA (gozde.koca@bilecik.edu.tr)  
İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hülya SİLAH (hulya.mercan@bilecik.edu.tr)  
Kimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kutalmış TURHAL (kutalmis.turhal@bilecik.edu.tr)  
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞENTÜRK ACAR (merve.senturkacar@bilecik.edu.tr)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN (ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr)  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sinem Öztürk ERDEM (sinem.erdem@bilecik.edu.tr)  
Bahçe Bitkileri Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



**Sahibi / Publisher**

**Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi adına Rektör Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR**  
*Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rector) on behalf of Bilecik Seyh Edebali University*

**EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF**

**Doç. Dr. / Assoc Prof. Dr. Birol AKYÜZ**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11210 Bilecik, Türkiye  
*Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11210 Bilecik, Turkey*

**Telefon/Phone: +90228 2141 130 Faks /Fax: +90228 2141 132**

**E-posta/E-mail: birol.akyuz@bilecik.edu.tr**

**Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director**

**Abdil ÜNAL**

**İletişim Bilgileri / Contact Informations**

**Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11210 Bilecik, Türkiye**  
*Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11210 Bilecik, Turkey*

**Hakemli bir dergi olan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi yılda iki kez yayımlanır ve yayımlanan tüm eserlerin yayın hakkı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ne aittir.**

*A refereed journal "Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science" is published twice a year and Bilecik Seyh Edebali University holds the copyright of all published material that appear in this journal.*

**Dergimiz, ULAKBİM Tr Dizin, EBSCO ve Eurasian Scientific Journal Index tarafından taranmaktadır.**

*Our journal is indexed by ULAKBİM Tr Dizin, EBSCO and Eurasian Scientific Journal Index.*

**İletişim Bilgileri/Contact Information: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11210 Bilecik/Türkiye / Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11210 Bilecik/Turkey. web: <http://dergipark.org.tr/pub/bsufbd>**

**Hakem Listesi / Reviewer Board**

Prof. Dr. Ali İhsan Göker / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi/Fizik Bölümü / Katıhal Fiziği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Ali Ural / Aksaray Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Ayşegül Aşkın / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Barry Dunietz / Kent State University / Department of Chemistry and Biochemistry /

Prof. Dr. Cihan Karakuzu / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Ebubekir Altuntaş / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Tarımda Makine Sistemleri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Fatih Üneş / İskenderun Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Fethiye Göde / Süleyman Demirel Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Gülsün Özyurt / Çukurova Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi / Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü / İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Gültekin Göller / İstanbul Teknik Üniversitesi / Kimya-Metalurji Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Hakan Karabörk / Konya Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Fotogrametri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Haluk Çağlar Kaymak / Atatürk Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Hassan Hassanabadi / Shahrood University of Technology / School of Physics /

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Börklü / Gazi Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Kadir Çavdar / Bursa Uludağ Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Kadir Kocatepe / Gazi Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Kurtuluş Boran / Gazi Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi/Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü / Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Lokman Uzun / Hacettepe Üniversitesi/Fen Fakültesi/Kimya Bölümü/Biyokimya Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Mehmet Karaköse / Fırat Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Mehmet Tektaş / Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Ulaştırma Mühendisliği Bölümü / Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Meral Çetin / Hacettepe Üniversitesi/Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / Risk Analizi Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Metin Soycan / Yıldız Teknik Üniversitesi / İnşaat Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Ölçme Tekniği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Nermin Şarlak / Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Nezihe Ayas / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu / İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Haberleşme Anabilim Dalı /

**Hakem Listesi / Reviewer Board**

Prof. Dr. Nilgün Balkaya / İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Oğuz Arslan / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Ömer Yüksek / Karadeniz Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Özgür Alver / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Fen Fakültesi / Fizik Bölümü / Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Özgür Koray Şahingöz / Biruni Üniversitesi/Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Pr. /

Prof. Dr. Sedat Kurugöl / Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü / Mimari Restorasyon Pr /

Prof. Dr. Serdal Terzi / Süleyman Demirel Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Ulaştırma Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Şebnem Kuşvuran / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Kızılırmak Meslek Yüksekokulu/Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Pr /

Prof. Dr. Temel Gençtan / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tahıllar ve Yemelik Tane Baklagiller Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Tuğba Kiper / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi / Peyzaj Mimarlığı Bölümü / Peyzaj Planlama Anabilim Dalı /

Prof. Dr. Uğur Yüzgeç / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılım Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Yılmaz Koçak / Düzce Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Abdullah Cemil İlçe / Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Ahmet Beycioğlu / Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Malzemesi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Akhan Akbulut / İstanbul Kültür Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Pr/

Doç. Dr. Ali Beyhan Uçak / Siirt Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Aysun Çelik / Bursa Uludağ Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Peyzaj Mimarlığı Bölümü / Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Aytekin Fırat / Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Devrim Akgün / Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Yazılım Mühendisliği Bölümü / Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Erdem Güven / Kastamonu Üniversitesi / İletişim Fakültesi / Gazetecilik Bölümü / Genel Gazetecilik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Erkan Koç / Karabük Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Biyomedikal Mühendisliği Bölümü / Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Fatih Çelik / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Fuat Usta / Düzce Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Gürcan Samtaş / Düzce Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol Sistemleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Hatice Çıtakoğlu / Erciyes Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Hatice Özkazanç / Kocaeli Üniversitesi/Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü/Fizikokimya Anabilim Dalı/

**Hakem Listesi / Reviewer Board**

- Doç. Dr. Hüseyin Ertap / Kafkas Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Fizik Bölümü / Katıhal Fiziği Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. İlknur Akner / Akdeniz Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi / Mimarlık Bölümü / Yapı Bilgisi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Mehmet Canbaz / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Mehmet Yavuz / Necmettin Erbakan Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Muhammet Gül / Munzur Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Fakültesi / Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü / Acil Yardım ve Afet Yönetimi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Mustafa Menderes Alyörük / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Eğitim Fakültesi / Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü / Fizik Eğitimi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Neşe Üzen / Dicle Üniversitesi/Ziraat Fakültesi / Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü / Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Recep Kara / Afyon Kocatepe Üniversitesi / Veteriner Fakültesi / Besin-Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü / Veterinerlik Besin, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Salih Görgünoğlu / Kastamonu Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Savaş İzzetoğlu / Ege Üniversitesi / Fen Fakültesi / Biyoloji Bölümü / Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Serkan Öztürk / Bursa Uludağ Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü/Organik Kimya Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Serpil Türkyılmaz / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi/İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü / İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Süleyman Neşeli / Selçuk Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Uğur Cengiz / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi/Kimya Mühendisliği Bölümü/Temel İş ve Termodinamik Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Ünal Şen / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Yaprak Yalçın / İstanbul Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Fakültesi/Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Yıldız Aksoy / İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi / Şehir ve Bölge Planlama Bölümü / Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Atalay / Atatürk Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Ulaştırma Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif Boğa / Afyon Kocatepe Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Alaattin Metin Kaya / Bursa Uludağ Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Termodinamik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ali Çetin / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Fizik Bölümü / Genel Fizik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ali Doğan / İskenderun Teknik Üniversitesi / Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Asuman Işıl Çarhoğlu / Süleyman Demirel Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Aylin Özodabaş / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Baran Tander / İstanbul Aydın Üniversitesi / Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Elektronik Teknolojisi Pr. /

**Hakem Listesi / Reviewer Board**

- Dr. Öğr. Üyesi Barış Özkul / Balıkesir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Baybars Köksoy / Bursa Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Kimya Bölümü / Organik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Bengi Yıldız / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Bora Şener / Yıldız Teknik Üniversitesi / Makine Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Malzemesi Ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Burak Evrigen / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Deniz Akın Şahbaz / Pamukkale Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Temel İş ve Termodinamik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Dilek Kandemir / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Samsun Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Seracılık Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi Dursun Ekmekçi / Karabük Üniversitesi / Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Bilgisayar Teknolojileri Bölümü/Bilgisayar Programcılığı Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi Ejder Ayçın / Kocaeli Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Emrah Dokur / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Emre Dandıl / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan Aydın / İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Haberleşme Anabilim Dalı /
- Dr. Öğr. Üyesi Fatih Çallı / Sakarya Üniversitesi/Adapazarı Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Mekatronik Pr. /
- Dr. Öğr. Üyesi Fatih Saka / Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ferda Mindivan / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Biyomühendislik Bölümü / Biyomalzeme Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Fikriye Kurtoğlu / Milli Savunma Üniversitesi / Deniz Harp Okulu / Temel Bilimler Bölümü/
- Dr. Öğr. Gülay Demir / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi Hacer Bilir Özhan / Bursa Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tirtaki / İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa/Mühendislik Fakültesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü/Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Tevfik Gültaş / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi İdris Sancaktar / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Yeşilyurt Demir Çelik Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi İlker Burak Giresunlu / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi İlknur Bekem Kara / Artvin Çoruh Üniversitesi / Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu / İnşaat Bölümü / İnşaat Teknolojisi Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi İlyas Kacar / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü / Makine ve Tasarım Anabilim Dalı/



**Hakem Listesi / Reviewer Board**

- Dr. Öğr. Üyesi İnci Çilingir Süngü / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Eğitim Fakültesi / Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü / Matematik Eğitimi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Kader Dağcı Kıranşan / Atatürk Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Melis Alpaslan Takan / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Meltem Saphioğlu / Süleyman Demirel Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Ulaştırma Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Merve Keskin / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Diyaliz Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi Merve Şentürk Acar / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali Aydın / İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Siber Güvenlik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Musa Milli / Milli Savunma Üniversitesi / Deniz Harp Okulu/Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nil / Manisa Celâl Bayar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yılmaz / Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Uygulamalı Bilimler Fakültesi / Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü / Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Nazan Yılmaz / Karadeniz Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Jeodezi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Nur Kuban Torun / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Özge Doğanay Erbaş Köse / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tahıllar ve Yemelik Tane Baklagiller Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Rembiye Kandemir / Trakya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Rukiye Saygılı Canlıdınç / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi/Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Sabriye Aydınöğlü / Çukurova Üniversitesi / Eczacılık Fakültesi / Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Seda Karayünlü Bozbaş / Kocaeli Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Serkan Kurt / Yıldız Teknik Üniversitesi / Yıldız Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü/
- Dr. Öğr. Üyesi Serpil Üstebay / İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Şahin Kök / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Lapseki Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Bitki Koruma Pr/
- Dr. Öğr. Üyesi Tefide Kızıldeniz / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Tolga Aysal / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bitki Koruma Bölümü / Entomoloji Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Tuncer Çakmak / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Veteriner Fakültesi / Besin-Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü / Veterinerlik Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ümmükişüm Özel Akdemir / Giresun Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı/

**Hakem Listesi / Reviewer Board**

Dr. Öğr. Üyesi Volkan Çetinkaya / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Elektronik Teknolojisi Pr/

Dr. Öğr. Üyesi Yakup Murat Bulut / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / İstatistik Bölümü / İstatistik Teorisi Anabilim Dalı/

Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım Bayazıt / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Tasarım Bölümü / İç Mekan Tasarımı Pr/

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Turgut Akgün / İstanbul Medeniyet Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı /

Dr. Başak Temur Ergan / Gebze Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı/

Dr. Funda Kartal / Ege Üniversitesi / Fen Fakültesi / Biyokimya Bölümü / Biyokimya Anabilim Dalı/

Dr. Hamza Doğan / Dicle Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı/

Dr. Hüseyin AKSU / Kent State University / Department of Chemistry and Biochemistry /

Dr. Rıdvan Yayla / Bursa Teknik Üniversitesi / Rektörlük/

Dr. Zafer Cingiz / Düzce Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Elektrik ve Enerji Bölümü / İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Pr/

## İÇİNDEKİLER

### Araştırma Makaleleri / Research Articles

<b>Purification and Characterization of a Lectin From Bulbs of <i>Cyclamen Mirabile</i></b> <i>Ebru Kocadağ Kocazorbaz, Ayşe Yağmur Azbazdar, Merve Aliakar Öztürk, Esra Menfaatli</i>	1-7
<b>Dopamin, NADH ve Askorbik Asitin Elektroyükseltgenmesine Elektrokimyasal Olarak İndirgenmiş Grafen Oksit, Politiyonin ve Altın Nanopartiküllerin Etkisi</b> <i>Melike Bilgi Kamaç, Muhammed Altun, Merve Yılmaz</i>	8-23
<b>Tezek Külü İkameli Çimento Harçlarının Mühendislik Özellikleri</b> <i>Yusuf Tahir Altuncu, Cenk Öcal</i>	24-31
<b>Bazı Ekmeklik Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.) Çeşit ve Hatlarında SPAD Metre ve NDVI Ölçümlerinin Kalite Özellikleriyle İlişkilerinin Biplot Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi</b> <i>Merve Bayhan, Önder Albayrak, Remzi Özkan, Cuma Akıncı, Mehmet Yıldırım</i>	32-41
<b>Çok Kademeli Buhar Sıkıştırılmalı İdeal Soğutma Çevrimlerinde Farklı Soğutucu Akışkanlar Kullanarak Enerji ve Ekserji Analizi</b> <i>Alaattin Metin Kaya</i>	42-55
<b>Exact Solutions of the Benney–Luke Equation via (1/G')-Expansion Method</b> <i>Hülya Durur, Asif Yokuş</i>	56-64
<b>Fe Elementinin Kristal ve Camsı Faza Dönüşümünün Hidrostatik Basınç Altında İncelenmesi: Moleküler Dinamik Benzetim Çalışması</b> <i>Sefa Kazanç, Canan Aksu Canbay</i>	65-77
<b>Serada Sonbahar Dönemi Dolmalık Biber Yetiştiriciliğinde Hibrit Çeşit Adaylarının Meyve Kalitesi ve Verim Performansları</b> <i>Rüveyda Özgen, Ahmet Balkaya</i>	78-89
<b>LSTM Tabanlı Derin Sinir Ağı ile Beşinci Nesil Küçük Hücre Ağlarında El Değiştirme Tahmini</b> <i>Murtaza Cicioğlu</i>	90-99
<b>Afyon ve Kütahya Volkanitlerinin Betonda Mineral Katkı Olarak Kullanımı</b> <i>Cenk Karakurt, Yaşar Kibici, Mehmet Uğur Toprak, Oğuzhan Ateş</i>	100-108
<b>Thermal Behaviors of AS Series Magnesium Alloys</b> <i>Biröl Akyüz</i>	109-115
<b>Küresel Bir Nükleer Reaktör İçin Ana ve Alternatif Bükülmedeki Değişimlerin Kritik Yarıçapa Etkisi</b> <i>Ali İhsan Göker</i>	116-124
<b>Yumurta Kabuğundan Alınan Akustik Sinyalin Dalgacık Paket Dönüşümü ve Entropiye Dayalı Olarak İşlenmesi ve Yapay Sinir Ağlarıyla Çatlağın Belirlenmesi</b> <i>Zekeriya Balcı, Mehmet Yumurtacı, İsmail Yabanova, Semih Ergin</i>	125-135
<b>Giyilebilir Teknolojik Ürünlerin Tasarımında Etkili Olan Faktörlerin Best-Worst Metodu (BWM) İle Değerlendirilmesi*</b> <i>Gözde Koca, Ezgi Dilan Urmak Akçakaya</i>	136-150
<b>Borlanmış Hardox 500 Çeliklerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi</b> <i>Rıza Kara, Yusuf Kayalı, Fatih Çolak</i>	151-158

<b>Yüksek Enerjili Rölativistik Çarpışmalarda Baryonik Rezonans Oluşumları</b> <i>Serpil Yalçın Kuzu, Ayben Karasu Uysal</i>	<b>159-166</b>
<b>Effect of Reactive and Non-Reactive Diluent on Mechanical Properties of Epoxy Resin</b> <i>Ömür Aras, Yunus Kaya</i>	<b>167-172</b>
<b>Isı Enerjisi Depolayan Faz Değişim Malzemelerinin Üretimi</b> <i>Çağlayan Açıkgöz, Şenay Balbay, İsmail Dal</i>	<b>173-185</b>
<b>Mikrodalga Radyasyonun Un biti, <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae)’a Etkisi</b> <i>Emre Karadağ, Ali Kayahan</i>	<b>186-192</b>
<b>Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Gül (<i>Rosa damascena</i> Miller) Yağının Jelatin ve Aljinat ile Mikroenkapsülasyonu</b> <i>Deniz Akın Şahbaz</i>	<b>193-202</b>
<b>Farklı Yanlılık Parametreleri İçin Ridge GM Tahmin Edicilerinin Performanslarının Karşılaştırılması*</b> <i>Melike Işılar, Y. Murat Bulut</i>	<b>203-216</b>
<b>Bilecik İlindeki Şehirleşmenin Taşkın Riski Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması</b> <i>Yıldırım Bayazıt</i>	<b>217-227</b>
<b>Utilization of Stochastic, Artificial Neural Network, and Wavelet Combined Models for Monthly Streamflow</b> <i>Cenk Sezen, Turgay Partal</i>	<b>228-240</b>
<b>Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi</b> <i>Ali Rıza Dal</i>	<b>241-250</b>
<b>Çinko Üretimi Atık Kekinin Fosfat Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi</b> <i>Harun Çiftçi, Hasan Arslanoğlu</i>	<b>251-262</b>
<b>Determination of the Variations on Battery Consumption According to Temperature and Relative Humidity of Silicon Labs Si7021 Wireless Sensor Systems in Greenhouse</b> <i>Celil Serhan Tezcan, Kemal Sulhi Gündoğdu</i>	<b>263-269</b>
<b>Bir Mekanik Montaj Sisteminde Tolerans Yığılması ve Tolerans Alanının Genişletilmesi</b> <i>Fikret Sönmez, Şehmus Baday</i>	<b>270-278</b>
<b>İşbirlikçi Filtreleme Algoritmalarının Çok-Beğenilen Ürünlere Yönelik Yanlılığı</b> <i>Emre Yalçın</i>	<b>279-291</b>
<b>Gelen Akım Arası Kısa Süreli Zaman Aralığını Modelleyebilmek Amacıyla Poisson Dağılım Fonksiyonu Modifikasyonu</b> <i>Ekinhan Erişkin</i>	<b>292-299</b>
<b>Dicle Havzasının Yağış Akış İlişkinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Zeka Yöntemlerinin Değerlendirilmesi</b> <i>Reşit Gerger, Veysel Gümüş, Selmin Dere</i>	<b>300-311</b>
<b>Farklı Element Katkılı Sodyum Fosfat Camlarının Sentez ve Karakterizasyonu</b> <i>Serhat Keser, Cengiz Tatar, Tankut Ateş, Turan İnce, Ömer Kaygılı</i>	<b>312-321</b>
<b>LEED Sertifikalı Ofis Binalarının Enerji ve Atmosfer Kriteri Açısından Değerlendirilmesi: Maslak Bölgesi Örneği</b> <i>İbrahim Erol, Gözde Çakır Kıyaslı</i>	<b>322-335</b>

<b>Simultaneous Monitoring and Control of Automation Systems with SCADA Based PLC</b> <i>Meryem Məmmədli, Rana Ortaç Kabaoğlu</i>	336-344
<b>The Effect of Graphene Oxide Exfoliation Degree on Graphene Film Properties</b> <i>Nevin Atalay Gengeç</i>	345-355
<b>Covid-19 Pandemi Sürecinde Ülkelerin Demokratik Önlemlerinin Etkilerinin Homojen Tekdüze İlişki Modeli ile İncelenmesi</b> <i>Merve Poslu, Melike Bahçecitapar, Serpil Aktaş Altunay</i>	356-368
<b>Fiziksel Kimliği Koruma ve İmaj Geliştirme Üzerine Bir Yerleşim Deneyimi: Osmaneli (Bilecik) Örneği</b> <i>Özlem Candan Hergül, İrfan Dönmez, Hilal Kahveci, Mine Poyraz</i>	369-382
<b>Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları Tabanlı Kesir Dereceli PID Denetleyicilerle Kontrol Edilen Bir Santral Modelinin Performansının İncelenmesi</b> <i>Kunter Sercan Sezer, Nevra Bayhan</i>	383-397
<b>İHA Bataryasının Şarj Padi ile Dengeli Şarj Edilmesi ve Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi</b> <i>Hakan Üçgün, Uğur Yüzgeç, Cüneyt Bayılmış</i>	398-407
<b>Bilecik'te Tüketime Sunulan Ayva Lokumlarının Mikrobiyolojik ve Kimyasal Kalitesinin Araştırılması</b> <i>Alper Kürşat Demirkaya, Nurşah Gülöksüz Şahin</i>	408-412
<b>Determination of Stress and Deformation Zones of Historical Mus Murat Bridge</b> <i>Aylin Özodabaş, Cüneyt Artan</i>	413-429
<b>Türkiye'de Siber Saldırı ve Tespit Yöntemleri: Bir Literatür Taraması</b> <i>Cemalettin Hatipoğlu, Tuğba Tunacan</i>	430-445
<b>Plaka Bölgesi Tespiti Problemi için Yapay Arı Koloni Algoritması ile YSA Eğitiminin APKD'de Gerçeklenmesi</b> <i>Mehmet Ali Çavuşlu</i>	446-457
<b>İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması</b> <i>Ali Ulvi</i>	458-471
<b>Mondrian Based Real Time Anonymization Model</b> <i>İrem Civelek, M. Ali Aydın</i>	472-483

#### Derleme Makaleleri / Review Articles

<b>Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi ve Tayininde Kullanılan Yöntemler</b> <i>Ali Kaan Yetik, Mehmetcan Aşık</i>	484-496
<b>Techniques for Apply Predictive Maintenance and Remaining Useful Life: A Systematic Mapping Study</b> <i>Begüm Ay Türe, Akhan Akbulut, Abdül Halim Zaim</i>	497-511

Araştırma Makalesi - Research Article

## Purification and Characterization of a Lectin from Bulbs of *Cyclamen Mirabile*

### *Cyclamen Mirabile* Soğanından Lektin Saflaştırılması ve Karakterizasyonu

Ebru Kocadağ Kocazorbaz<sup>1\*</sup>, Ayşe Yağmur Azbazdar<sup>2</sup>, Merve Aliakar Öztürk<sup>3</sup>,  
Esra Menfaatli<sup>4</sup>

Geliş / Received: 06/02/2020

Revize / Revised: 12/08/2020

Kabul / Accepted: 23/08/2020

#### ABSTRACT

Lectin from the bulbs of *Cyclamen mirabile* which is an endemic species of Turkey was successfully isolated by affinity precipitation with alginate in one step. The purified protein produced two bands showing a dimeric structure in SDS-PAGE (13.5 and 14.8 kDa). *C. mirabile* lectin showed activity and stability in a broad pH scale and kept its haemagglutination activity in the temperature range of 4-40°C. MgCl<sub>2</sub> and HgCl<sub>2</sub> inhibited the haemagglutination activity of the lectin. In this study, a practical and efficient purification procedure was carried out for *C. mirabile* lectin by using affinity precipitation with alginate.

**Keywords-** Lectin, Protein Purification, *Cyclamen Mirabile*

#### ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin endemik bir türü olan *Cyclamen mirabile* soğanından tek adımda lektin saflaştırıldı. Yöntem olarak, amonyum sülfat ve ardından kalsiyum aljinat presipitasyonu kullanıldı. Saflaştırılan lektin SDS PAGE ile analiz edildiğinde 13.5 ve 14.8 kDa molekül kütlelerine sahip iki protein bandı gözlemlendi. Hemagglütinasyon inhibisyon yöntemi ile *C. mirabile* soğanından elde edilen lektinin mannoz spesifik lektin olduğu belirlendi. *C. mirabile* lektini geniş bir pH aralığında ve 4-40°C arasında hemagglütinasyon aktivitesini korudu. MgCl<sub>2</sub> ve HgCl<sub>2</sub> metallerinin lektinin hemagglütinasyon aktivitesini inhibe ettiği görüldü.

**Anahtar Kelimeler-** Lektin, Protein Saflaştırma, *Cyclamen Mirabile*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [ebru.kocadag.kocazorbaz@ege.edu.tr](mailto:ebru.kocadag.kocazorbaz@ege.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-5611-5235>)

Faculty of Science, Biochemistry Department, Ege University, Izmir

<sup>2</sup>İletişim: [yagmur.azbazdar@gmail.com](mailto:yagmur.azbazdar@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-0806-1003>)

Izmir International Biomedicine and Genome Institute, 9 Eylül University, Izmir

<sup>3</sup>İletişim: [merve.aliakar@gmail.com](mailto:merve.aliakar@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-5897-4049>)

Faculty of Science, Biochemistry Department, Ege University, Izmir

<sup>4</sup>İletişim: [esramenfaatli@hotmail.com](mailto:esramenfaatli@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-2370-6415>)

Faculty of Science, Biochemistry Department, Ege University, Izmir

## I. INTRODUCTION

Lectins are naturally found proteins that can bind carbohydrates with characteristic specificities. Lectins are significant proteins for unraveling biological processes and enlightening of protein and carbohydrate structures [1]. The first identified plant lectin was named ricin which was purified from the castor beans. The term of hemagglutinin arose after the discovery of the agglutination of red blood cells by ricin. Next, it was found that some hemagglutinins can agglutinate selectively human erythrocytes according to their ABO blood group type [2]. Lectin molecule has carbohydrate-binding sites more than two which led to attaching sugars on the surface of the cell causing cross-linking of cells and subsequent precipitation. Lectins appear in most organisms, such as viruses, bacteria, animals, and plants [3]. Mannose-specific lectins prevail among higher plants and defense the plants by recognizing the high-mannose-type glycans of plant predators or pathogens [4,5]. Lectins are precious tools for glycobiology and biomedical research and can be used as diagnostic probes, antitumor cytotoxins, tumor-specific surface markers, immunotoxins, and adhesion molecules. Many human pathogens initiate infection by using the cell surface glycans as either receptors or ligands [6-10]. Mostly, affinity chromatography is used to purify lectins besides recombinant DNA techniques [3]. In this study, a plant lectin was purified by using a simple affinity technique from *Cyclamen mirabile*, which is an endemic species of Turkey.

## II. MATERIALS AND METHODS

### A. Materials

Coomassie brilliant blue G250 (Fluka, Buchs, Switzerland), ammonium sulfate, bovine serum albumin, molecular weight marker (14-66 kDa), D-glucuronic acid, fructose, glucose, sucrose, galactose, mannose, N-acetyl D-glucosamine, lactose, D-galacturonic acid, D-galactosamine hydrochloride, D(-) lyxose, sodium alginate, sulphuric acid, phenol (Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo., U.S.A). Sheep blood was collected from the waste of the local abattoir.

### B. Preparation of Crude Extract with Ammonium Sulfate Precipitation

200 g of *C. mirabile* bulbs were peeled, cut into small pieces, and homogenized in 400 mL 25% ammonium sulfate using a blender. The crude extract was filtered from cheesecloth and centrifuged for 30 min at 9000 g. The supernatant was precipitated by 70% ammonium sulfate and left overnight under the stirring condition for complete precipitation. The pellet was centrifuged at 9000 g for 30 min and dissolved in deionized water. Dialysis performed against deionized water to remove ammonium sulfate and the precipitate was kept at -80°C until further use.

### C. Protein and Carbohydrate Analysis

Bradford assay was used to estimate the protein concentrations with some modifications. As the standard known concentrations of bovine serum albumin were used [11]. Phenol sulphuric acid method was used to estimate total carbohydrate content, with dilutions of a known concentration of D-glucose [12].

### D. Affinity Precipitation of Lectin with Alginate

50 mM of sodium acetate buffer at pH 4.5 was used to prepare alginate solution (2% v/v). Necessary dilutions were made before use. The *C. mirabile* lectin was mixed with 0.5 mL of alginate solution and made up to 5.0 mL with acetate buffer. The lectin-alginate complex was precipitated with the addition of 0.4 mL of 1 M CaCl<sub>2</sub> solution and incubated for 20 min at 25°C. The suspension was centrifuged for 10 min at 9000 g. The precipitate was washed using pH 7.4 100 mM phosphate buffer containing 0.074 M CaCl<sub>2</sub> [13]. 3 mL of acetate buffer was used for dissolving the lectin-alginate complex, containing 1 M mannose, and incubated at 4°C for 18h. The alginate was precipitated and the eluate was dialyzed against distilled water (24h at 4°C). The eluate was checked for lectin activity.

### E. Haemagglutinating Activity

Haemagglutination activity (HA) was measured in a U bottom microtiter plate according to Sureshkumar and Priya, using erythrocytes from sheep blood [14]. The definition of the haemagglutination unit (titer) was the highest dilution of the sample showing haemagglutination.

#### **F. Haemagglutination-Inhibition Assay**

Agglutination of the sheep red blood cells by the *C.mirabile* lectin was estimated according to Peng [15]. The sugar inhibition assay was performed using different concentrations of sugars such as fructose, sucrose, glucose, D-glucuronic acid, galactose, mannose, lactose, D-galacturonic acid, D-galactosamine hydrochloride, N-acetyl D-glucosamine, and D(-) lyxose.

#### **G. pH Effect on Haemagglutination Activity and Stability**

The effect of pH on the activity of the *C.mirabile* lectin was investigated by incubating the lectin in the stated buffers of 0.05 M at different pH values: glycine-HCl (pH 2.0-3.0), sodium acetate-acetic acid (pH 4.0-5.0), potassium phosphate (pH 6.0-7.0), Tris-HCl (pH 8.0-9.0), sodium carbonate (pH 10.0-11.0) at room temperature for 24 h. The agglutination titer of the lectin in PBS was used as the control [16].

#### **H. Temperature Effect on Haemagglutination Activity and Stability**

The effect of temperature on the lectin activity was investigated with the standard assay procedure with PBS as the control within a temperature range from 4 to 60°C. Thermostability was monitored by incubation of crude extract at pH 7.4 at temperatures ranging from 4-60°C for 30 min and the relative lectin activities were assayed with the standard assay conditions.

#### **İ. Effect of Metal Ions**

The *C. mirabile* lectin (50 µL) was incubated for 24 h with metal ions ( $Mg^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$ ) at various concentrations with constant shaking. After that, each sample was mixed with 50 µL of erythrocyte suspension (2% v/v) and the hemagglutination activities were measured.

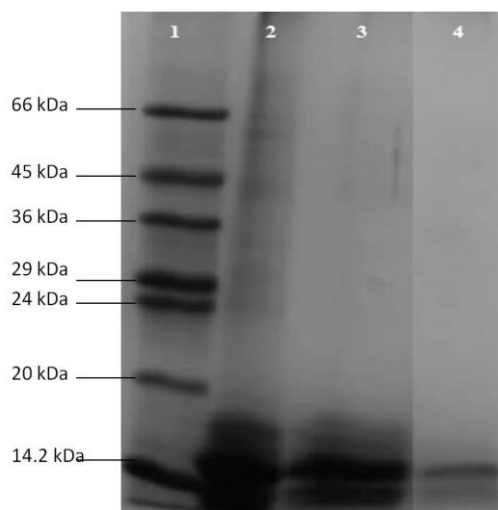
#### **J. SDS PAGE Analysis**

Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS PAGE) was carried out using the discontinuous buffer system described by Laemmli using a 4-12% mini gel [17]. After electrophoresis, the gel was stained with Coomassie brilliant blue in 10% acetic acid for one hour and destained with distilled water by heating in a microwave oven in short periods and replacing of distilled water until protein bands are clearly defined.

### **III. RESULTS AND DISCUSSIONS**

#### **A. Purification of *C. mirabile* Lectin**

The *C. mirabile* lectin was purified by affinity precipitation with alginate and separated on 12% polyacrylamide gel. Figure 1 reveals that *C. mirabile* lectin is a dimeric protein, two proteins with molecular sizes of 13.5 and 14.8 kDa.



**Figure 1.** SDS PAGE gel image. Protein standards (1), Crude extract (2), 70% Supernatant (3), Purified lectin (4)



### B. Protein, Carbohydrate and Haemagglutination Units for Lectin

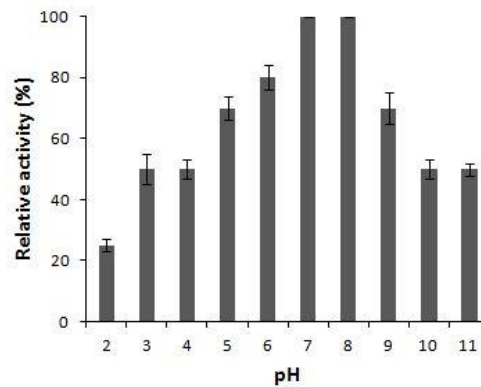
Protein concentration, carbohydrate content, and agglutination activity for each step of purification were shown in Table 1. Specific activity increased with purification steps. Pure lectin had the most specific activity.

**Table 1.** Protein concentration, carbohydrate content and agglutinate activity

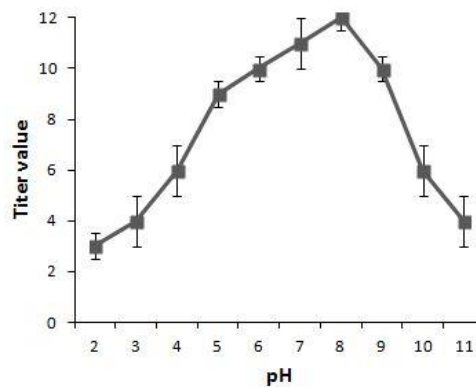
	Volume (mL)	Protein (mg mL <sup>-1</sup> )	Total Protein (mg)	Activity (HAU)	Specific Activity (HAU mg <sup>-1</sup> protein)	Carbohydrate (mg)
Homogenate	470	0.132	62.04	1024	16.51	3236
25% Supernatant	460	0.038	17.48	256	14.65	-
25% Pellet	9	1.279	11.51	2048	117.93	113.9
70% Supernatant	450	0.015	6.75	16	2.37	-
70% Pellet	32	0.453	14.5	16384	1130	719.36
Pure Lectin	1.5	15	0.0225	128	5688	-

### C. pH Effect on Haemagglutination Activity and Stability

The purified lectin was able to maintain its stability in a wide pH range which is between pH 5.0 and 11.0 (Figure 2). The optimum pH for purified *C.mirabile* lectin to agglutinate sheep blood erythrocytes was 5.0-8.0 (Figure 3). Agglutination capacity decreased below pH 5.0 and above pH 9.0.



**Figure 2.** Alteration of lectin haemagglutination stability depending on pH



**Figure 3.** Alteration of lectin haemagglutination activity depending on pH

#### D. Temperature Effect on Haemagglutination Activity and Stability

Agglutination stability was studied within the temperature range of 0-60°C for pure lectin which is most stable at 37°C and 40°C. The results are shown in Figure 4. Purified *C. mirabile* lectin retained the full agglutinating activity in the temperature range of 4-40°C, but there was a dramatic decrease between 40 and 55°C, and at 55°C the activity was completely abolished showing thermal inactivation. The results are shown in Figure 5.

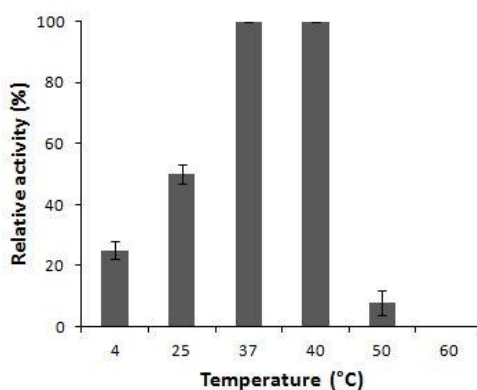


Figure 4. Alteration of lectin stability depending on temperature

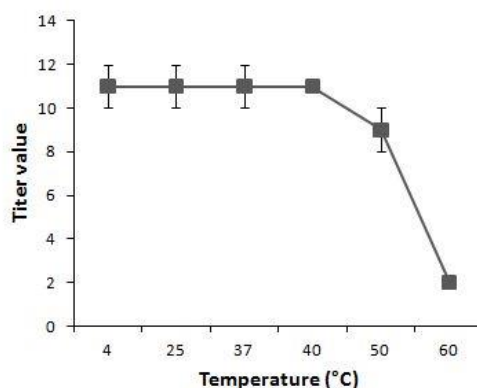


Figure 5. Alteration of lectin haemagglutination activity depending on temperature

#### E. Haemagglutination-Inhibition Assay

Fructose, glucose, galactose, mannose, lactose, sucrose, D-galactosamine hydrochloride, N-acetyl glucosamine, D-galacturonic acid, D(-)lyxose, and D-glucuronic acid used for haemagglutination-inhibition assay of purified *C. mirabile* lectin to agglutinate sheep erythrocytes. Lectin bound mannose with the most affinity, indicating that purified lectin is mannose-specific. The results are shown in Table 2.

**Table 2.** The sugar inhibition assay for pure lectin

Carbohydrate	mM
Mannose	0.156
D-galacturonic acid	0.625
Lactose	1.2500
D(-) lyxose	2.500m
Glucose	-
N-Acetyl-D-Glucosamine	-
Xylose	-
Galactose	-
Sucrose	-
Fructose	-
D-Galactosamine hydrochloride	-
D-Glucuronic acid	-

#### ***F. Inhibition of Hemagglutination by Metal Ions***

Various metal ions were used to investigate the effect of metal ions on the hemagglutination activity. Results showed that lectin has the most affinity for magnesium and mercury while giving negative results for other metal ions (Table 3).

**Table 3.** Lectin affinity for metal ions

Metal ion	Concentration (mM)
CaCl <sub>2</sub>	-
NaCl	-
HgCl <sub>2</sub>	5.0
Ni(II)	-
MgCl <sub>2</sub>	2.5
BaCl <sub>2</sub>	-

#### **IV. CONCLUSION**

A mannose-specific, dimeric *C. mirabile* lectin with the molecular weights of 13.5 and 14.8 kDa was isolated by affinity precipitation with alginate. Haemagglutination activity of the crude extract increased with purification steps and purified lectin maintained its activity and stability in a broad pH scale. Nevertheless, it showed maximum activity at pH 8. Although haemagglutination activity and lectin stability were observed between 4-40°C, there was a drastic decrease with ascending temperature. Also, it was seen that only mercury and magnesium were able to inhibit haemagglutination activity among other metal ions. Purified lectin showed the most affinity to mannose among other sugars which reveals *C. mirabile* lectin is a mannose-specific lectin. In this study, the *C. mirabile* lectin was purified and characterized for the first time. Further work will be necessary to study the bioactivity of lectin, such as anticancer and antimicrobial activity.

## REFERENCES

- [1] Kennedy, J.F., Palva, P.M.G., Corella, M.T.S., Cavalcanti, M.S.M. & Coelho, L.C.B.B. (1995). Lectins, versatile proteins of recognition: a review. *Carbohydr Polym*, 26, 219-230.
- [2] Vandendorre, G., Smagghe, G. & Van Damme, E.J.M. (2011). Plant lectins as defense proteins against phytophagous insects. *Phytochemistry*, 72, 1538-1550.
- [3] Lis, H. & Sharon, N. (1998). Lectins: carbohydrate-specific proteins that mediate cellular recognition. *Chemical Reviews*, 98(2), 637-674.
- [4] Barre, A., Bourne, Y., Van Damme, E.J.M., Peumans, W.J. & Rougé, P. (2001). Mannose-binding plant lectins: different structural scaffolds for a common sugar-recognition process. *Biochimie*, 83(7), 645-651.
- [5] Luo, Y., Xu, X., Liu, J., Li, J., Sun, Y., Liu, Z., Liu, J., Van Damme, E., Balzarini, J. & Bao, J. (2007). A novel mannose-binding tuber lectin from *Typhonium divaricatum* (L.) Decne (family Araceae) with antiviral activity against HSV-II and anti-proliferative effect on human cancer cell lines. *J Biochem Mol Biol*, 40(3), 358-367.
- [6] Dhuna, V., Bains, J. S., Kamboj, S. S., Singh, J., Kamboj, S. & Saxena, A. K. (2005). Purification and characterization of a lectin from *Arisaema tortuosum* Schott having in-vitro anticancer activity against human cancer cell lines. *J Biochem Mol Biol*, 38(5), 526-32.
- [7] Paiva, P. M. G., Gomes, F. S., Napoleão, T. H., Sá, R. A., Correia, M. T. S., & Coelho, L. C. B. B. (2010). Antimicrobial activity of secondary metabolites and lectins from plants. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2, 396-400.
- [8] Nunes, E. S., Souza, M. A. A., Vaz, A. F. M., Santana, G. M. S., Gomes, F. S., Coelho, L. C. B. B., Paiva, P.M.G., Silva, R. M. L., Silva-Lucca, R. A., Oliva, M. L. V., Guarnieri, M. C. & Correia, M.T.S. (2011). Purification of a lectin with antibacterial activity from *Bothrops leucurus* snake venom. *Comp Biochem Physiol B*, 159, 57-63.
- [9] Hamid, R., Masood, A., Wani, I. H., & Rafiq, S. (2013). Lectins: proteins with diverse applications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(4), 93-103.
- [10] Dias, R. O., Machado, L. S., Migliolo, L. & Franco, O. L. (2015). Insights into animal and plant lectins with antimicrobial activities. *Molecules*, 20(1), 519-541.
- [11] Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal Biochem*, 72, 248-254.
- [12] DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.
- [13] Teotia, S., Lata, R., Khare, S. K. & Gupta, M. N. (2001). One-step purification of glucoamylase by affinity precipitation with alginate. *Journal of molecular recognition*, 14(5), 295-299.
- [14] Sureshkumar, T. & Priya, S. (2012). Purification of a lectin from *M. rubra* leaves using immobilized metal ion affinity chromatography and its characterization. *Applied biochemistry and biotechnology*, 168(8), 2257-2267.
- [15] Lin, P., Ye, X. & Ng, T. B. (2008). Purification of melibiose-binding lectins from two cultivars of Chinese black soybeans. *Acta biochimica et biophysica Sinica*, 40(12), 1029-1038.
- [16] Mojica, E.R.E. & Merce, F.E. (2005). Isolation and partial characterization of a lectin from the internal organs of sea cucumber (*Holothuria scabra* jaeger). *Int J Zool Res*, 1, 59-65.
- [17] Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Dopamin, NADH ve Askorbik Asitin Elektroyükseltgenmesine Elektrokimyasal Olarak İndirgenmiş Grafen Oksit, Politiyonin ve Altın Nanopartiküllerin Etkisi

## Effect of Electrochemically Reduced Graphene Oxide, Polythionine and Gold Nanoparticles on Electrooxidation of Dopamine, NADH and Ascorbic Acid

Melike Bilgi Kamaç<sup>1\*</sup>, Muhammed Altun<sup>2</sup>, Merve Yılmaz<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 05/11/2020*

*Revize / Revised: 17/01/2021*

*Kabul / Accepted: 17/01/2021*

### ÖZ

Bu çalışmada, yüzey baskılı karbon elektrotlar (SPCE) elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit (ERGO) ile modifiye edilmiş (SPCE/ERGO), ardından elektropolimerizasyon tekniği ile politiyonin (PTH) filmi SPCE/ERGO'lar üzerinde oluşturulmuştur (SPCE/ERGO/PTH). PTH'nin SPCE/ERGO'lar üzerindeki elektropolimerizasyonu için optimum döngü sayısı belirlenmiştir. SPCE/ERGO/PTH elektrotları üzerinde elektrodepozisyon metodu ile altın nanopartiküller (AuNP) oluşturulmuş ve elde edilen SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının elektrokimyasal karakterizasyonları dönüşümlü voltametri (CV) ile yapılmıştır. Dopamin (DA), nikotinamid adenin dinükleotitin indirgenmiş formu (NADH) ve askorbik asitin (AA) elektroyükseltgenmesine ERGO, PTH ve AuNP'nin elektrokatalitik etkileri incelenmiş ve PTH'nin üç analit için de medyatör olarak rol oynadığı gözlenmiştir. ERGO, PTH ve AuNP'nin birlikte gösterdikleri sinerjik etki ile DA, NADH ve AA'nın anodik pik potansiyelleri negatif yöne kaymış ve anodik pik akımları artmıştır. DA, NADH ve AA'nın difüzyon katsayıları (D) sırasıyla  $3.37 \times 10^{-8}$ ,  $7.79 \times 10^{-9}$  ve  $1.51 \times 10^{-8}$  olarak, elektron transfer katsayıları ( $\alpha$ ) ise sırasıyla 0.327, 0.701 ve 0.373 olarak hesaplanmıştır. pH'nın DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesine etkisi de incelenmiş ve pH arttıkça her üç analit için de anodik pik potansiyellerinin azaldığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Dopamin, NADH, Askorbik Asit, Elektroyükseltgenme

### ABSTRACT

In this study, screen-printed carbon electrodes (SPCE) were modified with electrochemically reduced graphene oxide (ERGO) (SPCE/ERGO), then polythionine (PTH) film was formed on SPCE/ERGO by electropolymerization technique (SPCE/ERGO/PTH). The optimum number of cycles has been determined for the electropolymerization of PTH on SPCE/ERGO. Gold nanoparticles (AuNP) were formed on SPCE/ERGO/PTH electrodes by electrodeposition method and electrochemical characterizations of SPCE/ERGO/PTH/AuNP electrodes were made by cyclic voltammetry (CV). The electrocatalytic effects of ERGO, PTH and AuNP on the

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [melikebilgikamac@gmail.com](mailto:melikebilgikamac@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3381-7522>)

Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı

<sup>2</sup>İletişim: [maltun@gmail.com](mailto:maltun@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-0387-1819>)

Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı

<sup>3</sup>İletişim: [mrve0891@gmail.com](mailto:mrve0891@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-3690-2455>)

Kimya Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı

electrooxidation of dopamine (DA), nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) and ascorbic acid (AA) were investigated, and PTH was observed to play a role as a mediator for three analytes. The anodic peak potentials of DA, NADH and AA shifted in the negative direction, and anodic peak currents increased due to the synergistic effect of ERGO, PTH and AuNP together. The diffusion coefficients (D) of DA, NADH and AA were calculated as  $3.37 \times 10^{-8}$ ,  $7.79 \times 10^{-9}$  and  $1.51 \times 10^{-8}$ , respectively, and also the electron transfer coefficients ( $\alpha$ ) were calculated as 0.327, 0.701 and 0.373, respectively. The effect of pH on the electrooxidation of DA, NADH and AA was also examined, and it was observed that the anodic peak potentials for all three analytes decreased with increasing the pH.

**Keywords-** Dopamine, NADH, Ascorbic Acid, Electrooxidation

## I. GİRİŞ

Dopamin (DA), katekolamin sınıfı içinde en önemli moleküldür ve beyin sisteminde önemli bir rol oynar. Merkezi sinir, renal, hormonal ve kardiyovasküler sistemlerin işlevlerinden sorumludur [1-2]. Anormal DA seviyeleri, şizofreni, Huntington hastalığı, Parkinson hastalığı ve demans gibi çeşitli hastalıklara neden olabilir [3-5]. Nikotinamid adenin dinükleotidin indirgenmiş formu (NADH), insan vücudunda bulunan en önemli koenzimdir. 300'den fazla dehidrojenaz enzimi, organizmaların metabolizmasında rol oynayan bir koenzim olarak NADH'nin yükseltgenmiş formunu ( $NAD^+$ ) kullanır [6-7]. NADH, dopamin, noradrenalin ve serotonin gibi nörotransmitterlerin hücrel üretimini uyarır. Vücuttaki NADH eksikliği, ATP üretiminin olmaması nedeniyle hücrel düzeyde bir enerji boşluğuna neden olur. Beyindeki ATP miktarı azalırsa dikkat eksikliği ve Alzheimer demansı gibi olumsuz etkilere neden olabilir. Hücredeki aşırı NADH seviyeleri, aşırı enerji üretimi nedeniyle uykusuzluk, kaygı, yorgunluk ve aşırı uyarılma gibi kötü durumlara da yol açabilir [8-9]. Askorbik asit (AA) olarak da bilinen C vitamini, biyolojik sistemler için gerekli olan en önemli suda çözünür lakton moleküllerinden biridir, meyve ve sebzeler gibi birçok bitki materyalinde bulunur. Bitkiler ve birçok memeli tarafından sentezlenebilir, ancak insanlar tarafından sentezlenemez. Kolajen oluşumunda anahtar rol oynar, iyi bir antioksidan görevi görür ve doku hasarını önler [10-11]. Diyetle AA eksikliği çeşitli hastalıklara, diş etlerinin şişmesine, gevşek dişlere ve kemik deformasyonuna neden olur [12]. İskorbüt, anemi, soğuk algınlığı ve kısırlığın tedavisinde kullanılır. İyi antioksidan aktivitesi nedeniyle birçok gıda maddesinde renk, tat ve koku değişikliklerinden korumak için kullanılmaktadır [13]. DA, NADH ve AA'nın elektrokimyasal tayini için birçok sensör geliştirilmiştir [14-16]. Bu analitlerin elektrokimyasal tayini için ilk olarak elektroyükseltgenme özellikleri incelenmelidir.

Fenazin ve fenotiyazin polimerleri, sensör ve biyosensörlerde analitin doğrudan ve/veya dolaylı belirlenmesinde redoks medyatörleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır [17-18]. Bu polimerlerin elektrokatalitik özellikleri, birçok analitin yükseltgenme potansiyelini azaltarak sensörün duyarlılığını arttırmakta ve tayin sınırlarını düşürmektedir [19]. Tiyonin (TH),  $\alpha$  konumunda iki amino grubu içeren katyonik bir fenotiyazin boyasıdır [20-21]. TH, diğer fenotiyazin boyaları gibi, iletken bir polimer oluşturmak için elektrokimyasal olarak polimerleştirilebilir. Son zamanlarda poli(tiyonin) (PTH), sensör ve biyosensörlerde hem iletken polimer hem de redoks medyatörü olarak kullanılan bir polimerdir [22-24]. Grafen tabakaları yüksek yüzey alanı, yüksek mekanik direnç ve mükemmel iletkenliğe sahip ultra hassas sensörlerin ve biyosensörlerin hazırlanmasında kullanılır [25-26]. Grafen oksit ve indirgenmiş grafen oksit, kolay sentezlenebilirlik, suda iyi çözünebilirlik ve biyoyoumluluk gibi özellikleri nedeniyle biyosensör üretimi, hücrel görüntüleme ve ilaç salımı gibi alanlarda çok çeşitli uygulamalara sahiptir [27-28]. Altın nanopartiküller (AuNP), yüksek yüzey/hacim oranına sahip olması, yüksek anodik potansiyellerde çalışma ihtiyacını ortadan kaldırması ve biyoyoumlu olması gibi özellikleri nedeniyle elektrokimyasal sensör ve biyosensörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [29-30]. Yüzey baskılı elektrotlar (SPE) serigrafik tekniği ile üretilir. Bu elektrotlar, karmaşık numune ön işlemleri olmadan kullanılabilen sensör ve biyosensörlerin hazırlanmasında sıklıkla kullanılır [31-32]. SPE'lerin doğrudan yerinde ölçmeye imkan tanıması, tek kullanımlık olacak şekilde hızlı, pratik, düşük maliyetli olması ve hasta başı testlere uygunluk göstermesi gibi birçok avantajı vardır. SPE'lerin nanomalzemeler ve polimerlerle modifikasyonu, sensör ve biyosensörlerin geliştirilmesi için ilgi çekicidir [33-35].

Bu çalışmada, yüzey baskılı karbon elektrotlar (SPCE), ERGO, PTH ve AuNP ile modifiye edilmiş ve hazırlanan SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının elektrokimyasal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları üzerinde DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesine ERGO, PTH ve AuNP'nin elektrokatalitik etkileri ve pH'nın etkisi incelenmiştir. DA, NADH ve AA'nın difüzyon katsayıları (D)

ve elektron transfer katsayıları ( $\alpha$ ) hesaplanmıştır. Literatürde SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları ile DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Materyal

Dopamin (DA), nikotinamid adenin dinükleotitin indirgenmiş formu (NADH), askorbik asit (AA), grafen oksit (GO), tiyonin (TH), kloroaurik asit ( $\text{HAuCl}_4$ ), potasyum heksosiyanoferat ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) potasyum heksosiyanoferit ( $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) ve sodyum hidroksit (NaOH) Sigma-Aldrich firmasından, potasyum klorür (KCl), potasyum dihidrojen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), dipotasyum hidrojen fosfat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), sodyum asetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ), dimetil formamid (DMF), hidroklorik asit (HCl, %37'lik) ise Merck firmasından tedarik edilmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar yüksek analitik saflıktadır. Deneylede Millipore Milli-Q Direct Q-3 ultra saf su cihazından elde edilen su kullanılmıştır. İstenilen pH'da tampon çözelti hazırlamak için, standart tampon çözeltilerle kalibre edilmiş Mettler Toledo pH-metre kullanılmıştır.

### B. Elektrokimyasal Ölçümler

Tek kullanımlık yüzey baskılı karbon elektrotlar (SPCE) DropSens (Oveido, İspanya) firmasından temin edilmiştir. SPCE'lerin çalışma elektrotu (4 mm) ve karşıt elektrotu karbondan, referans elektrotu ise Ag/AgCl'den (0.1 M KCl) oluşmaktadır. Elektrotların potansiyostata (Dropsens  $\mu\text{Stat}$  400 Bipotentiostat/Galvanostat, Oveido, İspanya) bağlantısı DropSens'ten temin edilen konnektörler ile sağlanmıştır. Tüm elektrokimyasal ölçümler, cihazın sinyalleri DropView 8400 yazılımı ile değerlendirilen bilgisayar kontrollü Dropsens  $\mu\text{Stat}$  400 Bipotentiostat/Galvanostat ile gerçekleştirilmiştir. SPCE elektrotlarının yüzeylerinin temizlenmesi ve aktivasyonu için 50 mM pH 7.5 fosfat tamponu içerisinde +1.8 V'da 300 s boyunca potansiyel uygulanarak elektrokimyasal ön işlem uygulanmıştır [14-15, 35]. Elektrokimyasal ölçümler ve deneyler en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

### C. SPCE/ERGO/PTH/AuNP Elektrotunun Hazırlanması

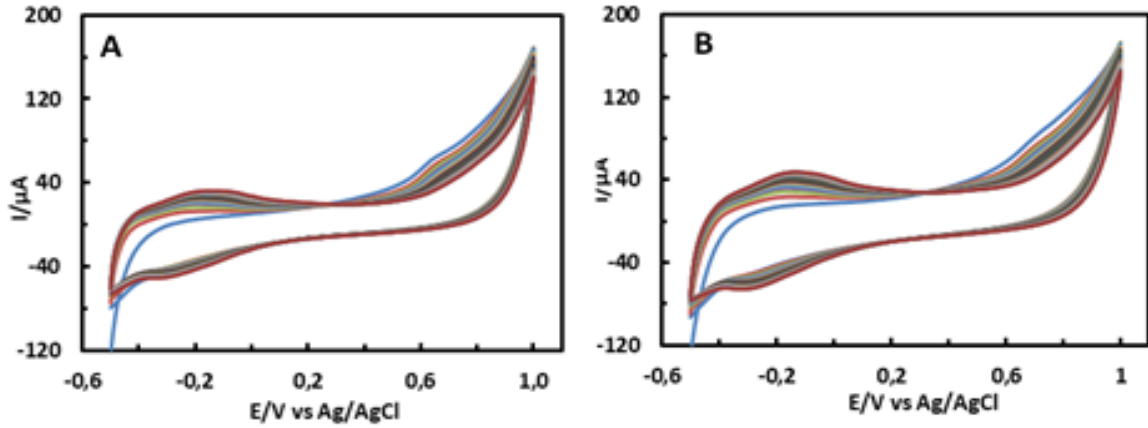
1.0 mg GO ve 1.0 mL DMF:H<sub>2</sub>O (1:1) karışımına 2 saatlik sonikatör uygulamasıyla kararlı ve homojen bir süspansiyon hazırlanmıştır. Elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit (ERGO) SPCE'ler yüzeyinde hazırlanması için, elektrotların yüzeyine hazırlanan GO süspansiyonundan 70  $\mu\text{L}$  damlatılmış ve 0.0 V ile -1.5 V potansiyel aralığında 50  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızında 15 döngü dönüşümlü voltametri uygulanmıştır (SPCE/ERGO) [36]. SPCE/ERGO'ların üzerinde PTH oluşumu için, 50 mM pH 7.5 fosfat tamponunda hazırlanan 1 mM tiyonin çözeltisine -0.5 V ile +1 V potansiyel aralığında 50  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızında 20 döngü dönüşümlü voltametri uygulanmıştır [37]. SPCE/ERGO/PTH'lerin üzerinde AuNP'nin hazırlanması için 4 mM  $\text{HAuCl}_4$  (50 mM pH 7 fosfat tamponu, 0.1 M KCl) çözeltisine 50  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızında -1.3 V ile -0.2 V potansiyel aralığında 10 döngü dönüşümlü voltametri uygulanmıştır [38]. Her bir modifikasyon basamağından sonra, elektrotların yüzeyi ultra saf su ile yıkanmış ve yüksek saflıktaki argon gazı ile kurutulmuştur.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

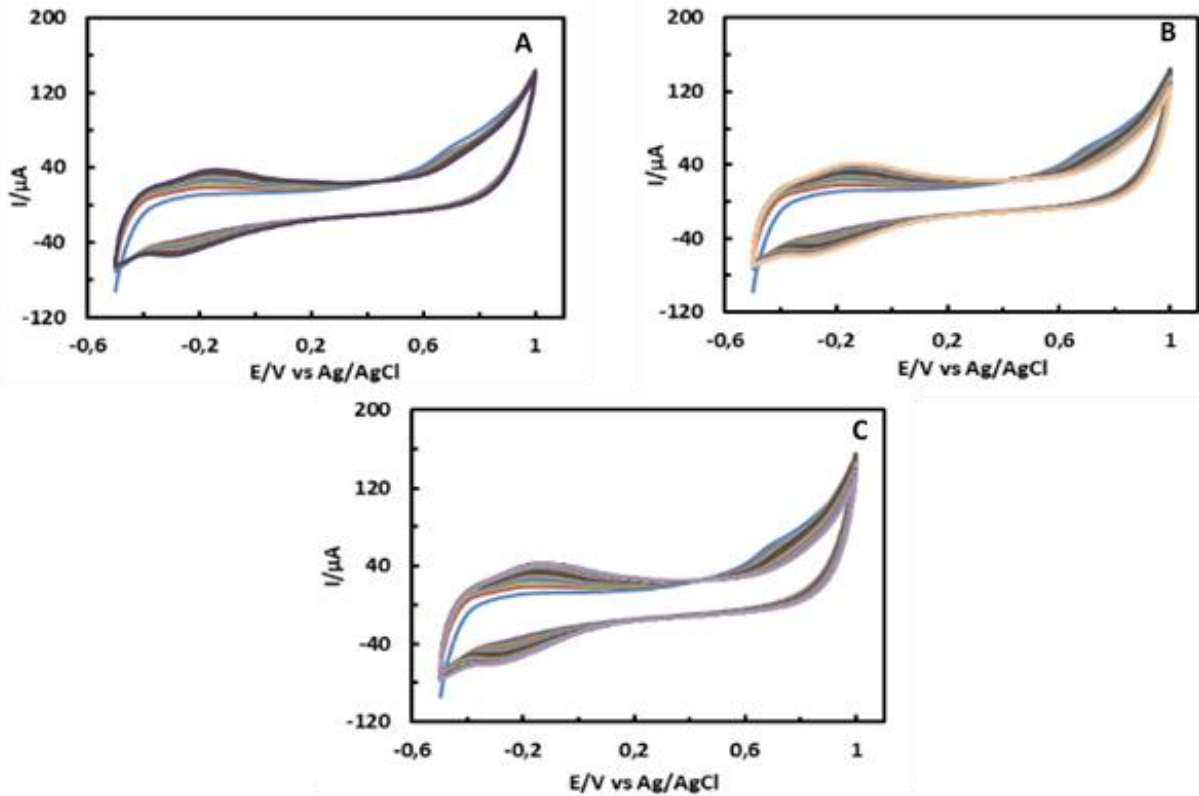
### A. SPCE ve SPCE/ERGO Elektrotları Üzerinde Tiyoninin Elektropolimerizasyonu

PTH filminin yalın SPCE ve SPCE/ERGO üzerine biriktirilmesi, 1 mM tiyonin içeren 50 mM PBS (fosfat tamponu, pH = 7.5) çözeltisine -0.5 ile +1.0 V potansiyel aralığında 50  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızında 20 döngü dönüşümlü voltametri uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. PTH filminin oluşumu ve büyümesi için elektrota ön anodizasyon işlemi uygulanmalıdır. Bu işlem uygulandığında elektrot yüzeyinde pozitif bir yük birikir ve tiyonin katyon radikalleri oluşur [39]. Bu çalışmada SPCE'lere +1.8 V potansiyel 300 sn uygulanarak elektrot yüzeyinde pozitif yük biriktirilmiştir. Dönüşümlü voltametri ile elektrot yüzeyinde PTH filmi oluşturmak için gereken pozitif potansiyelin en az +0.8 V olması gerektiği bildirilmiştir. +0.8 V'nin altındaki potansiyelerde, TH'nin löko-TH'ye sadece 2 elektronlu indirgenmesi gözlenir ve tiyonin polimerleşmez [40]. Şekil 1A ve 1B'de yalın SPCE ve SPCE/ERGO üzerinde PTH'nin elektropolimerizasyonu sırasında elde edilen dönüşümlü voltamogramlar verilmiştir. Katyon radikalının oluşumu için gerekli olan TH monomerinin tersinmez oksidasyon piki, her iki elektrotta da yaklaşık +0.70 V'de gözlenmiştir. TH monomerinin tersinmez oksidasyon pikinin çeşitli elektrotlarda daha yüksek potansiyellerde gözlendiği rapor edilmiştir [18, 40] Çalışmamızda SPCE elektrotlarına elektrokimyasal ön işlemin uygulanması, PTH filminin oluşması için gerekli olan TH monomerinin tersinmez oksidasyon pik potansiyelini azaltmıştır. Tiyoninin elektropolimerizasyonu sırasında her iki elektrotta da PTH'nin redoks çifti (-0.15 V'da anodik pik potansiyeli, Epa, -0.30 V'da katodik pik potansiyeli, Epc) gözlenmiştir. Döngü

sayısı arttıkça anodik ve katodik pik akımları da artmış ve polimer filmi büyümüştür. Elde edilen sonuçlara göre elektrot yüzeyinde PTH filmi oluşturulmuştur [22, 41]. Politiyoninin pik akımlarındaki bu artış yalın SPCE'ye göre SPCE/ERGO'da daha fazladır. Tiyoninin elektropolimerizasyonu için SPCE/ERGO elektrotunun daha uygun olduğu sonucuna varılabilir. Bu durum, indirgenmiş grafen oksidin mükemmel elektronik özelliklerine ve elektrotun elektroaktif yüzey alanını artırmasına bağlanabilir. Bu sonuçlar, çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ile modifiyeli elektrotlar üzerinde PTH'nin hazırlanması ile benzerdir [42-43].



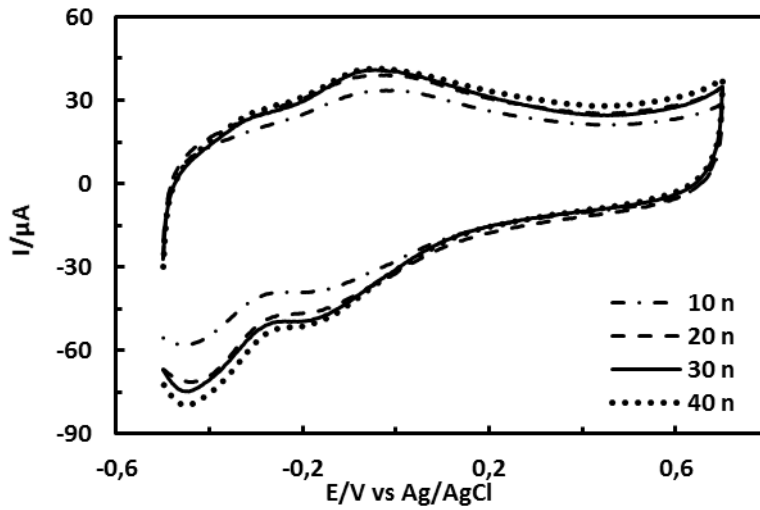
Şekil 1. 1 mM TH'nin SPCE ve SPCE/ERGO üzerindeki elektropolimerizasyonu sırasında elde edilen dönüşümlü voltamogramlar (potansiyel aralığı: -0.5 V ve +1.0 V; tarama hızı: 50 mV s<sup>-1</sup>, 20 döngü, 50 mM pH 7.5 PBS)



Şekil 2. 1 mM TH'nin SPCE/ERGO üzerindeki elektropolimerizasyonu sırasında elde edilen dönüşümlü voltamogramlar A: 10 döngü; B: 30 döngü; C: 40 döngü (potansiyel aralığı: -0.5 V ve +1.0 V; tarama hızı: 50 mV s<sup>-1</sup>, 50 mM pH 7.5 PBS)



TH'nin dönüşümlü voltametri tekniği ile polimerizasyonunda, döngü sayısının optimizasyonu çok önemlidir. Döngü sayısı az olduğunda, polimerin elektrot yüzeyindeki film kalınlığı çok ince olur ve beklenen etki gözlenemez. Fazla sayıda döngü uygulandığında ise elektrot yüzeyinde kalın bir film oluşur ve film boyunca difüzyon azalır. Bu durumda sensör ve biyosensörlerin hassasiyeti azalır [34, 44-45]. PTH filminin oluşumundaki döngü sayısını optimize etmek için, farklı döngü sayılarında (10, 20, 30 ve 40) SPCE/ERGO üzerinde TH'nin elektropolimerizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elektropolimerizasyon sırasında elde edilen dönüşümlü voltamogramlar 20 döngü için Şekil 1B'de, 10, 30 ve 40 döngü için ise sırasıyla Şekil 2A, 2B ve 2C'de verilmiştir. Anodik ve katodik pik akımlarının döngü sayısının artışı ile arttığı, polimerin her döngüde dallanıp büyüdüğü ve elektrot yüzeyine kaplandığı voltamogramlardan anlaşılmaktadır. Şekil 3'te farklı döngü sayılarında hazırlanmış SPCE/ERGO/PTH elektrotlarının fosfat tamponu çözeltisinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları verilmiştir. Döngü sayısı 10'dan 20'ye arttıkça anodik ve katodik pik akımları artarken, 20'den 40'a arttıkça pik akımlarında fazla bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. Elektrot yüzeyindeki polimerin film kalınlığının döngü sayısı artışı ile giderek artması, elektronların elektrot yüzeyine difüzyonunu azaltmıştır.

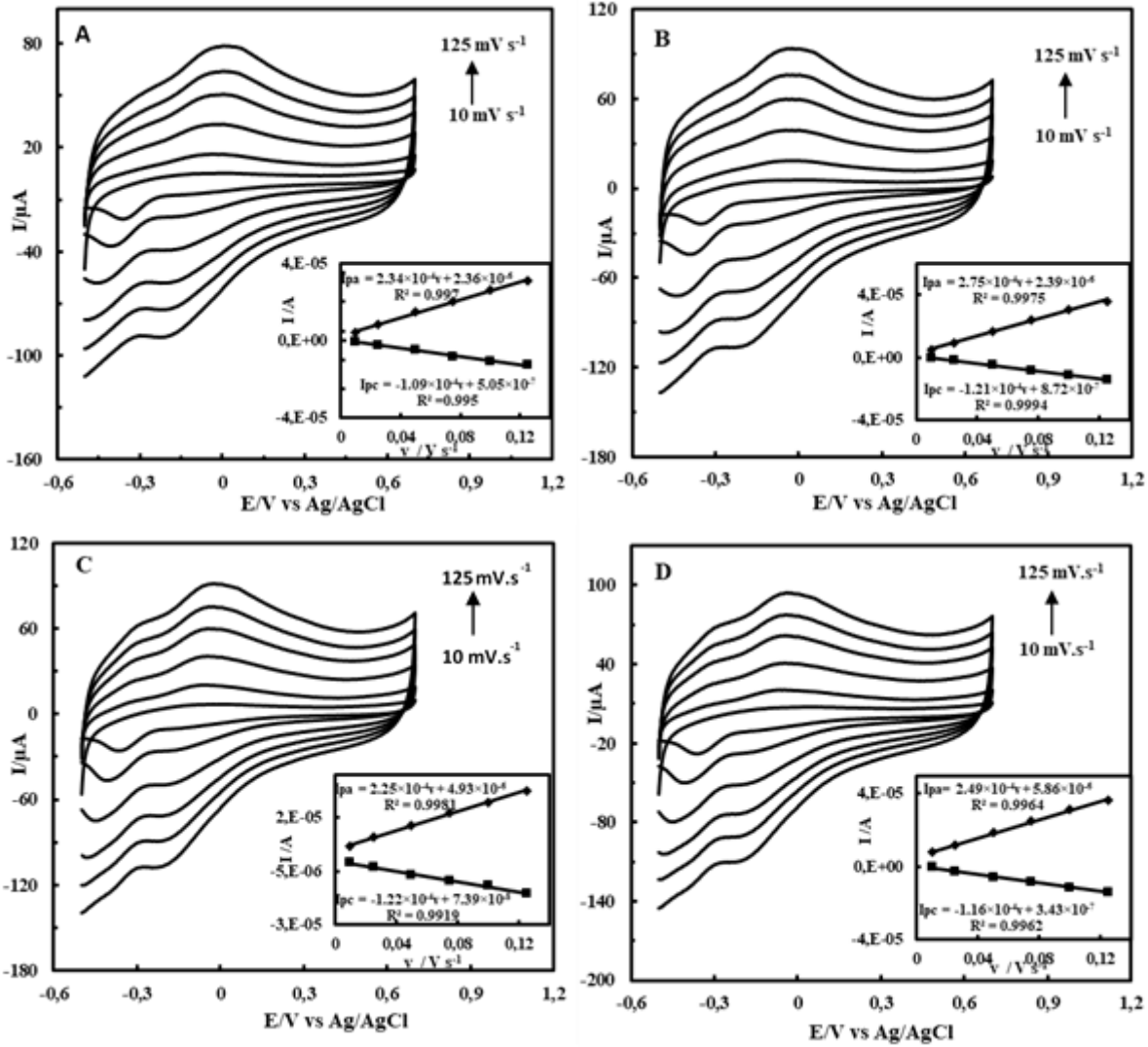


Şekil 3. Farklı döngü sayılarında hazırlanan SPCE/ERGO/PTH elektrotlarının tampon çözeltide -0.5 V ve +0.7 V potansiyel aralığında elde edilen dönüşümlü voltamogramları (döngü sayıları: 10, 20, 30, 40; tarama hızı: 50 mV s<sup>-1</sup>; 50 mM pH 7.0 PBS, 0,1 M KCl)

PTH'nin elektroaktif bölgelerinin ortalama yüzey konsantrasyonlarını hesaplamak için, farklı döngü sayılarında hazırlanan SPCE/ERGO/PTH elektrotlarının 50 mM pH 7.0 fosfat tamponu çözeltisinde farklı tarama hızlarında (10, 25, 50, 75, 100 ve 125 mV s<sup>-1</sup>) dönüşümlü voltamogramları alınmıştır. 10, 20, 30 ve 40 döngü sayılarında hazırlanan SPCE/ERGO/PTH elektrotları için elde edilen voltamogramlar sırasıyla Şekil 4A, 4B, 4C ve 4D'de verilmiştir. Anodik ve katodik pik akımlarının, tarama hızı ile doğrusal olarak arttığı (Şekil 4, iç grafikler) ve elektrokimyasal kinetiğin yüzey kontrollü proses olduğu görülmektedir. Yüzey kontrollü elektrokimyasal proses için SPCE/ERGO elektrotlarının yüzeyindeki PTH'nin elektroaktif bölgelerinin ortalama yüzey konsantrasyonu ( $\Gamma$ ), aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır [46]:

$$I_p = n^2 F^2 \nu A \Gamma / 4 R T \quad (1)$$

Burada  $i_p$  pik akımını, A elektroaktif yüzey alanını (0.205 cm<sup>2</sup>, [14]), n transfer edilen elektronların sayısını,  $\nu$  potansiyel tarama hızını (V s<sup>-1</sup>), T sıcaklığı (293.15 K), R gaz sabitini (8,314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>) ve F ise Faraday sabitini (96485 C mol<sup>-1</sup>) ifade eder. 10, 20, 30 ve 40 döngü sayılarında PTH modifiyeli SPCE/ERGO'lar için  $\Gamma$  değerleri sırasıyla 3.85×10<sup>-10</sup>, 4.53×10<sup>-10</sup>, 4.11×10<sup>-10</sup> ve 3.71×10<sup>-10</sup> mol cm<sup>-2</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek yüzey konsantrasyonu 20 döngü ile hazırlanmış SPCE/ERGO/PTH elektrotunda elde edildiği için optimum döngü sayısı 20 olarak belirlenmiştir.

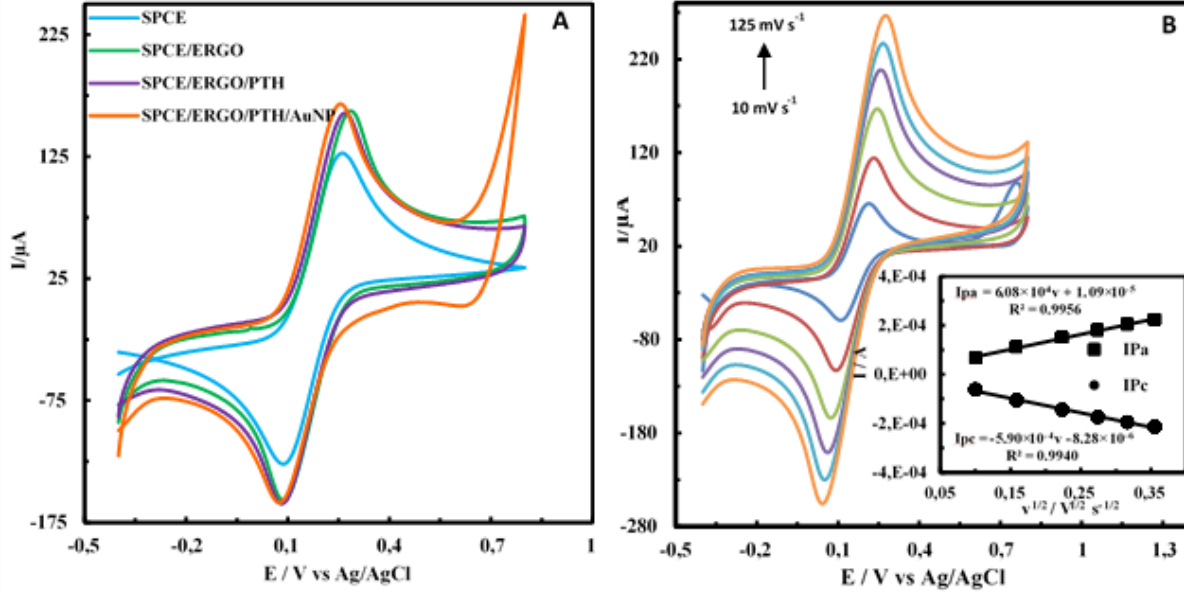


Şekil 4. Farklı döngü sayılarında hazırlanan SPCE/ERGO/PTH elektrotlarının tampon çözeltide farklı tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları A: 10 döngü; B: 20 döngü; C: 30 döngü; C: 40 döngü (potansiyel aralığı: -0.5 V ve +0.7 V; tarama hızları: 10, 25, 50, 75, 100 ve 125 mV s<sup>-1</sup>; 50 mM pH 7.0 PBS, 0,1 M KCl). İç grafikler: dönüşümlü voltamogramlardan elde edilen pik akımları-tarama hızı grafikleri

### B. SPCE/ERGO/PTH/AuNP Elektrotunun Elektrokimyasal Karakterizasyonu

Modifiye edilmiş elektrotların formülasyonunda yer alan ERGO, PTH ve AuNP'nin etkisini incelemek için SPCE, SPCE/ERGO, SPCE/ERGO/PTH ve SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının 5 mM [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-/4-</sup> (1 M KCl) çözeltisinde dönüşümlü voltamogramları alınmış ve elde edilen voltamogramlar Şekil 5A'da verilmiştir. Voltamogramlardan elde edilen anodik pik akımı (Ipa), katodik pik akımı (Ipc), anodik pik potansiyeli (Epa) ve katodik pik potansiyeli (Epc) değerleri ise Tablo 1'de verilmiştir. SPCE üzerine ERGO'nun modifikasyonu ile yalın SPCE elektrotuna göre elektronik iletkenliğin artışıyla birlikte Ipa ve Ipc değerlerinin arttığı da görülmektedir. ERGO, elektronik iletkenliği artırıcı yönde etki etmiştir. SPCE/ERGO elektrotu yüzeyinde PTH filminin oluşturulmasıyla pik akımlarında gözlenen azalış, PTH'nin elektrot yüzeyine kaplandığını ve polimerin film kalınlığına bağlı olarak difüzyonu azaltıcı yönde etki ettiğini göstermektedir. PTH'nin elektrot formülasyonunda yer almasıyla pik potansiyelleri negatif yöne kaymış ve PTH elektrokatalitik etki göstermiştir. SPCE/ERGO/PTH elektrotu üzerinde AuNP'lerin elektrodepozisyonu ile hazırlanan SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda anodik pik akımı artmış, pik potansiyeli ise negatif yöne kaymıştır. Pik potansiyelindeki bu kayma AuNP'nin elektrokatalitik etki gösterdiğini belirtmektedir. ERGO, PTH ve AuNP materyallerinin birlikte elektrot formülasyonunda yer alması sinerjik bir etki göstererek elektronik iletkenliği artırmış, aynı zamanda elektrokatalitik etki de göstermiştir [15, 35, 44]. Şekil 5B'de SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunun 5 mM

[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-/4-</sup> (1 M KCl) çözeltisinde farklı tarama hızlarında (10, 25, 50, 75, 100 ve 125 mV s<sup>-1</sup>) elde edilen dönüşümlü voltamogramları yer almaktadır. Tarama hızı arttıkça, I<sub>pa</sub> ve I<sub>pc</sub> değerleri de doğrusal olarak artmıştır (Şekil 5B, iç grafikler). Bu durum elektrokimyasal prosesin difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir.



Şekil 5 (A) 5 mM [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-/4-</sup> (1 M KCl) çözeltisinde SPCE, SPCE/ERGO, SPCE/ERGO/PTH ve SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının (B) SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunun farklı tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları (tarama hızları: 10, 25, 50, 75, 100 ve 125 mV s<sup>-1</sup>). İç grafikler: dönüşümlü voltamogramlardan elde edilen pik akımları-tarama hızı grafikleri

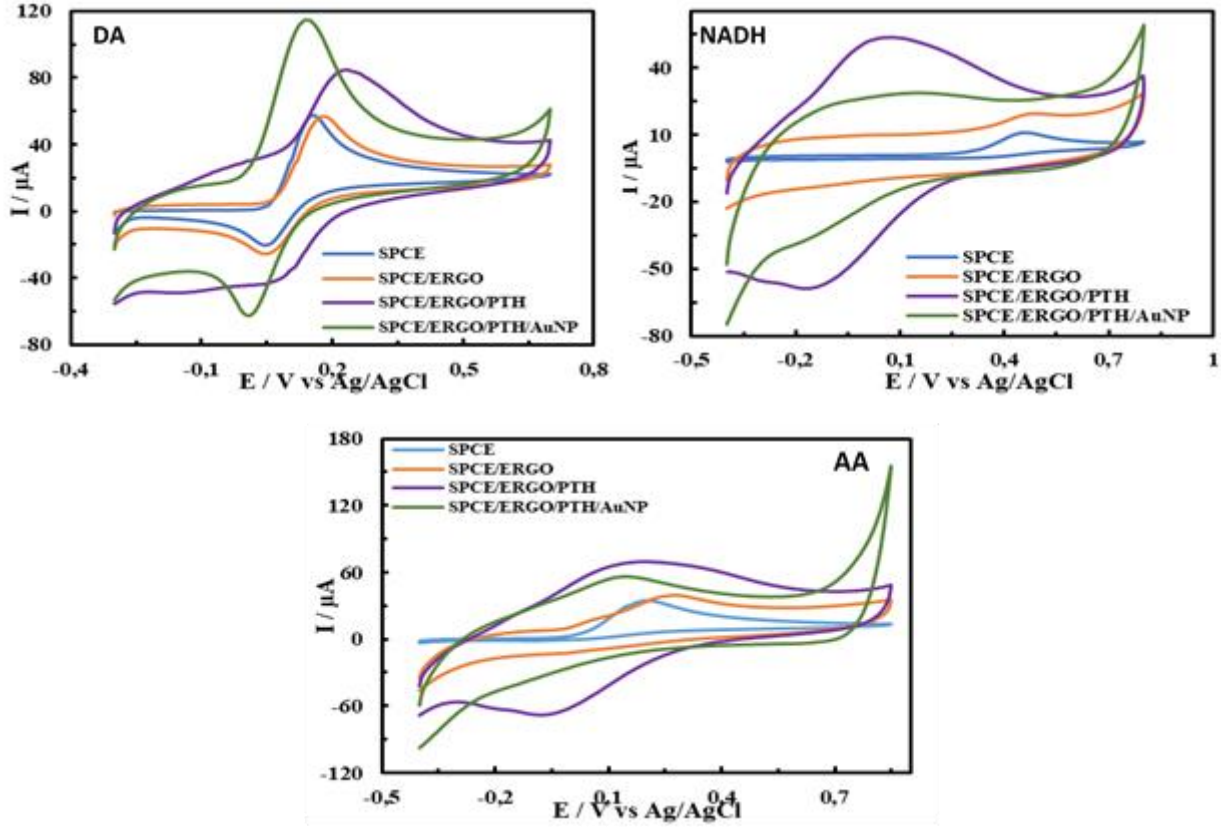
Tablo 1. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunun hazırlanma basamaklarında dönüşümlü voltamogramlardan elde edilen E<sub>p</sub> ve I<sub>p</sub> değerleri

	E <sub>pa</sub> (V)	I <sub>pa</sub> (µA)	E <sub>pc</sub> (V)	I <sub>pc</sub> (µA)
SPCE	0.262	133.3	0.086	-127.9
SPCE/ERGO	0.284	144.7	0.084	-142.9
SPCE/ERGO/PTH	0.266	142.5	0.082	-140.1
SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.252	145.6	0.074	-125.9

### C. SPCE/ERGO/PTH/AuNP Elektrotlarında DA, NADH ve AA'nın Elektroyükseltgenmesi

Çalışmanın bu kısmında DA, NADH ve AA'nın SPCE, SPCE/ERGO, SPCE/ERGO/PTH ve SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları üzerindeki elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 1 mM DA, NADH ve AA çözeltilerine dönüşümlü voltametri uygulanmıştır. Elde edilen voltamogramlar Şekil 6'da, voltamogramlardan elde edilen I<sub>p</sub> ve E<sub>p</sub> değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Yalnız SPCE elektrotunda DA'nın E<sub>pa</sub> değeri +0.158 V iken SPCE/ERGO elektrotunda bu değer artmıştır (+0.180 V). I<sub>pa</sub> değeri ise ERGO'nun modifikasyonu ile azalmıştır. SPCE/ERGO/PTH elektrotunda E<sub>pa</sub> değeri (+0.234 V) artarken, I<sub>pa</sub> değeri de SPCE/ERGO'da gözlenen I<sub>pa</sub> değerine göre artmıştır. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda ise E<sub>pa</sub> (+0.144 V) azalmış, I<sub>pa</sub> değeri 88.91 µA'ye artmıştır (yaklaşık 2 kat). DA'nın redoks pikleri SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda daha belirgindir. Bu sonuçlara göre SPCE/ERGO ve SPCE/ERGO/PTH elektrotları, DA'nın elektroyükseltgenmesinde fazla etki göstermezken, SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotu DA'ya karşı elektrokatalitik etki göstermiştir. GCE/AuNP/PTH elektrotunda DA'nın elektroyükseltgenmesinin incelendiği bir çalışmada PTH ve AuNP'nin sinerjik bir etki göstererek elektroaktif yüzey alanını ve elektron transferini artırdığı bildirilmiştir [47]. Yalnız SPCE'ye göre SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda E<sub>pa</sub> değeri daha düşüktür. Bu etki, elektrot formülasyonunda yer alan SPCE, ERGO ve AuNP'nin sinerjik etkisi ve PTH'nin medyatör olarak görev yapması nedeniyledir. Manyetik kitosan mikroküreler (MCMS) ve PTH ile modifiye edilmiş camı karbon elektrotlarda (GCE) DA'nın elektroyükseltgenmesinin incelendiği bir çalışmada PTH'nin DA'nın elektroyükseltgenmesinde medyatör olarak rol oynadığı rapor edilmiştir [48]. Tabaka tabaka birleştirilmiş çok

katmanlı RGO ve AuNP ile modifiye edilen GCE'lerde DA'nın elektroyükseltgenmesinin incelendiği başka bir çalışmada ise AuNP ve ERGO'nun birlikte sinerjik etki yaptığı bildirilmiştir [3].



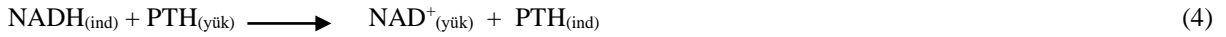
Şekil 6. SPCE, SPCE/ERGO, SPCE/ERGO/PTH ve SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının 1 mM DA, NADH ve AA çözeltilerinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları (50 mM pH 7.0 PBS, 0.1 M KCl; tarama hızı: 100 mV s<sup>-1</sup>)

NADH'nin elektroyükseltgenmesi incelendiğinde, yalın SPCE elektrotunda NADH'nin Epa değeri +0.460 V iken, SPCE/ERGO elektrotunda bu değer +0.466 V'dur. İpa değeri ise SPCE/ERGO elektrotunda azalmıştır. PTH'nin ERGO ile birlikte elektrot formülasyonunda yer almasıyla NADH'nin anodik pik potansiyeli +0.058 V'a azalırken, anodik pik akımı 31.02 µA'e artmıştır. Epa değerindeki 0.408 V'luk azalış ve İpa değerindeki yaklaşık 10 katlık artış, PTH'nin NADH'nin elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik etki gösterdiğini belirtmektedir. NADH'nin elektroyükseltgenmesinde PTH medyatör olarak davranmıştır [49]. ERGO ve PTH ile modifiye edilen GCE'lerde NADH'nin elektroyükseltgenmesinin incelendiği bir çalışmada, PTH ve ERGO'nun NADH'nin elektroyükseltgenmesine sinerjik katalitik bir etki gösterdiği bildirilmiştir [50]. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda NADH'nin Epa değeri +0.122 V'a artmış, İpa değeri de azalmıştır. AuNP, PTH'nin NADH'ye karşı olan medyatör etkisini azaltıcı yönde etki göstermiş olmasına karşın, yalın SPCE'ye göre SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda Epa değeri +0.338 V azalmıştır. SPCE/ERGO, NADH'nin elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik etki göstermezken, SPCE/ERGO/PTH ve SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları NADH'ye karşı elektrokatalitik etki göstermiştir. Yalın SPCE'lerde AA'nın anodik pik potansiyeli +0.268 V'da gözlenirken, SPCE/ERGO'da Epa +0.278 V'da gözlenmiştir ve İpa değeri de azalmıştır. SPCE/ERGO/PTH elektrotunda AA'nın anodik pik potansiyeli +0.188 V'a azalırken, İpa 35.18 µA'e artmıştır (yaklaşık 1.5 kat). Epa'daki azalış ve İpa'daki artış, PTH'nin AA'nın elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik etki yaptığının ve medyatör olarak davrandığının bir göstergesidir. AA'nın SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotundaki Epa değeri +0.122 V'a artarken, İpa değeri biraz azalmıştır. Yalın SPCE'ye göre SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda Epa değeri +0.146 V azalmıştır.

**Tablo 2.** 1 mM DA, NADH ve AA'nın çeşitli elektrot formülasyonlarında dönüşümlü voltamogramlarından elde edilen Ep ve Ip değerleri

Analit	Elektrot formülasyonu	Epa (V)	Ipa (µA)	Epc (V)	Ipc (µA)
<b>DA</b>	SPCE	0.158	51.27	0.046	-27.15
	SPCE/ERGO	0.180	46.7	0.046	-27.25
	SPCE/ERGO/PTH	0.234	50.53	0.068	-25.13
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.144	88.91	0.008	-47.77
<b>NADH</b>	SPCE	0.460	7.17	-	-
	SPCE/ERGO	0.466	3.46	-	-
	SPCE/ERGO/PTH	0.058	31.02	-	-
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.122	6.68	-	-
<b>AA</b>	SPCE	0.268	29.05	-	-
	SPCE/ERGO	0.278	21.77	-	-
	SPCE/ERGO/PTH	0.188	35.18	-	-
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.122	32.14	-	-

DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesine ERGO, PTH ve AuNP'nin etkilerini şu şekilde özetleyebiliriz: ERGO, her üç analit için de elektrokatalitik etki göstermemiştir. PTH'nin ERGO ile birlikte elektrot formülasyonunda yer almasıyla DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik etki göstermiş ve PTH medyatör olarak davranmıştır. AuNP'nin elektrot formülasyonundaki varlığı NADH'nin elektroyükseltgenmesinde medyatör olarak davranan PTH'nin etkisini azaltırken, DA ve AA'da elektrokatalitik etki göstermiştir. DA, NADH ve AA varlığında anodik pik akımlarının artması, DA, NADH ve AA'nın çözeltiden SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının yüzeyine doğru difüzlenerak yükseltgendiğini ve buna karşın yüzeydeki PTH'nin indirgendiğini gösterir. Bu elektrokimyasal işlem zinciri şöyle formüle edilebilir:



SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarında DA, NADH ve AA'nın tüm yükseltgenme reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir.



Tablo 3'de son yıllarda ERGO, PTH ve/veya AuNP ile modifiye edilen elektrotlarda elde edilen DA, NADH ve AA'nın Epa değerleri verilmiştir. Çalışmamızda elde edilen Epa değerlerinin literatürde elde edilen Epa değerlerinden daha düşük potansiyelde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ERGO, PTH ve AuNP'nin sinerjik bir etki göstererek DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik bir etki yaptığını göstermektedir.

**Tablo 3.** Son yıllarda ERGO, PTH ve/veya AuNP ile modifiye edilen elektrotlarda elde edilen DA, NADH ve AA'nın Epa değerleri

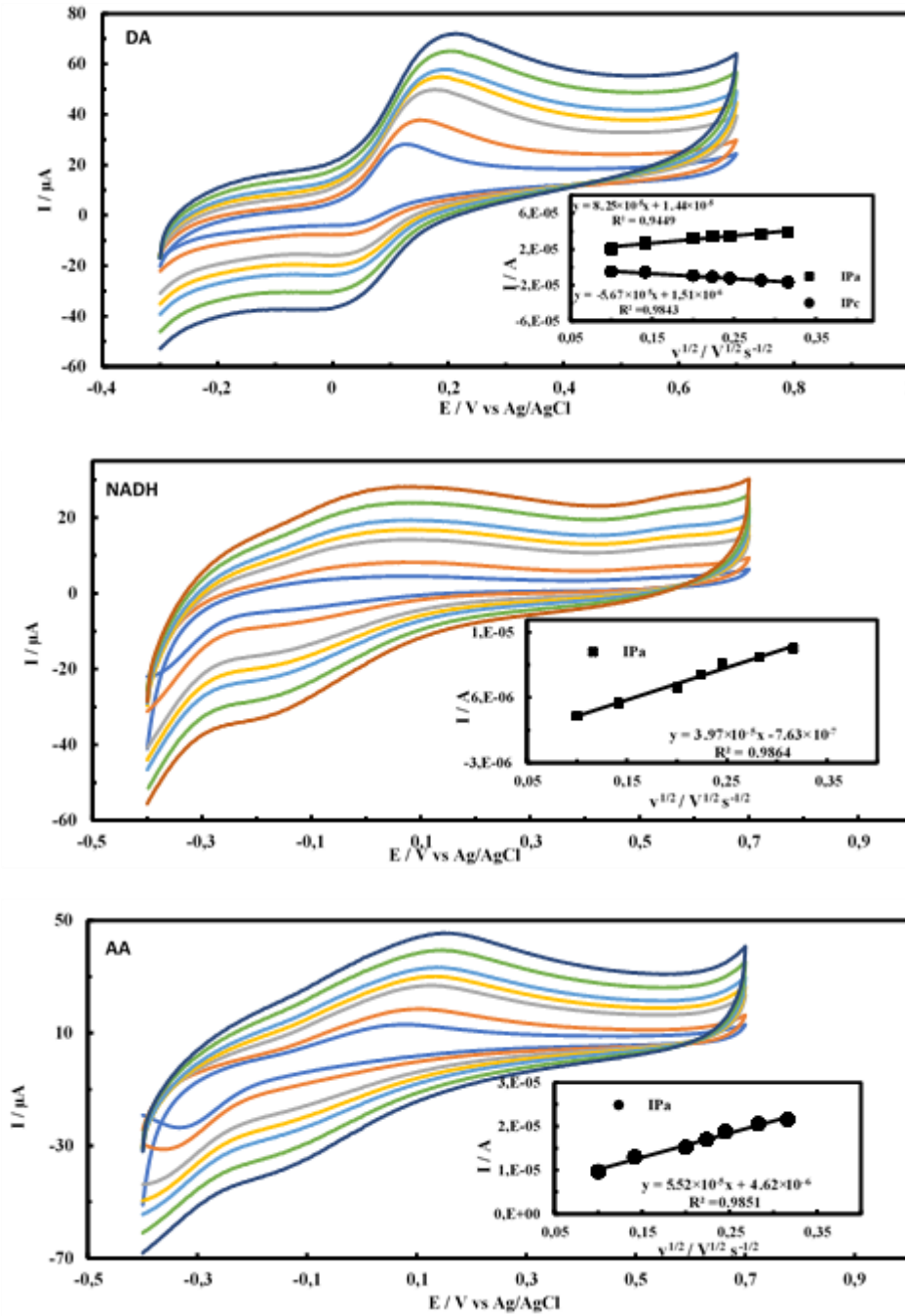
Analit	Elektrot formülasyonu	Epa (V)	Kaynak
DA	GCE/FA/ERGO	0.312	[1]
	GCE/{AuNPs/RGO} <sub>20</sub>	0.171	[3]
	GCE/PTH/AuNP	0.450	[47]
	Au/GR-AuAg	0.200	[51]
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.144	Bu çalışma
NADH	GCE/ERGO/PTH	0.37	[50]
	GCE/Chitosan/RGO/AuNP	0.36	[52]
	GCE/RGO/AuNP	0.52	[53]
	SPE/PAH/ERGO/AuNP	0.51	[54]
	GCE/CRGO	0.40	[55]
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.122	Bu çalışma
AA	GCE/RGO	0.20	[16]
	PIGE/Fc-TH	0.325	[56]
	GCE/AuNP/ERGO/Chitosan	0.27	[57]
	SPCE/ERGO/PTH/AuNP	0.122	Bu çalışma

GCE: camsi karbon elektrot, AuNP: altın nanopartikül, RGO: indirgenmiş grafen oksit, Au: altın elektrot, GR: grafen, AuAg: altın-gümüş kompozit, PTH: politiyonin, SPCE: yüzey baskılı karbon elektrot, ERGO: elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit, PAH: poliiallaminhidroklorür, CRGO: kimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit, PIGE: parafin mumu emdirilmiş grafit elektrot, Fc-TH: ferrosen-tiyonin, FA: ferulik asit

Şekil 7'de 1 mM DA, NADH ve AA çözeltilerinin (50 mM pH 7.0 fosfat tamponu, 0.1 M KCl) SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları üzerinde farklı tarama hızlarında (10, 20, 40, 50, 60, 80 ve 100 mV s<sup>-1</sup>) elde edilen dönüşümlü voltamogramları verilmiştir. Tarama hızı arttıkça DA'nın yükseltgenme ve indirgenme pik akımları, NADH ve AA'nın ise yükseltgenme pik akımları artmıştır. Voltamogramlardan elde edilen pik akımlarına karşı çizilen tarama hızının karekökü grafikleri (Şekil 7, iç grafikler) doğrusaldır. Bu sonuçlara göre DA, NADH ve AA'nın SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları üzerindeki elektroyükseltgenmeleri difüzyon kontrollü prostedir [1, 3, 14-15, 49, 53, 57-58]. Difüzyon kontrollü elektrokimyasal prosesler için Randles-Sevcik eşitliği [59] kullanılarak analitlerin difüzyon katsayısı hesaplanabilir. Randles-Sevcik eşitliği kullanılarak 1 mM DA, 1 mM NADH ve 1 mM AA'nın difüzyon katsayıları sırasıyla 3.37×10<sup>-8</sup>, 7.79×10<sup>-9</sup> ve 1.51×10<sup>-8</sup> olarak hesaplanmıştır. SPCE/ERGO/PTH/AuNP'lerin yüzeyi ve çözelti arasında meydana gelen DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesi için elektron-transfer katsayısı (α) aşağıdaki eşitlikten bulunabilir [60]:

$$E_p = (RT/2\alpha F) \ln v + \text{sabit} \quad (9)$$

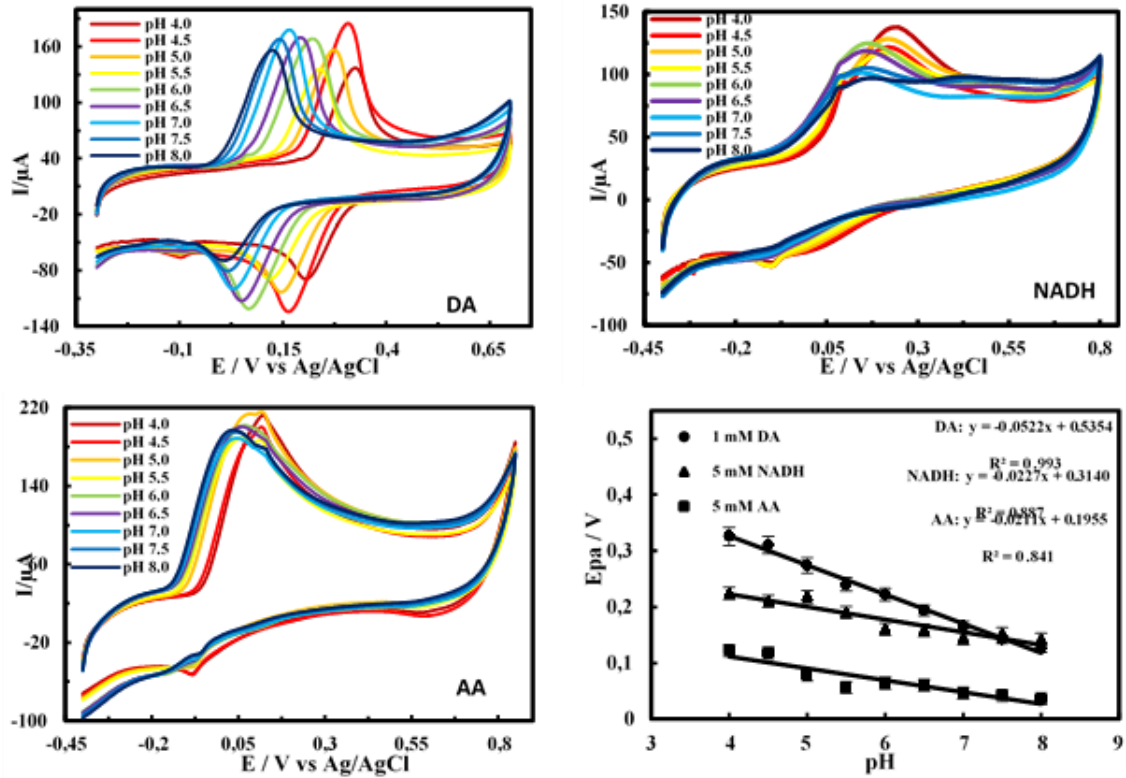
Burada E<sub>p</sub> pik potansiyelini, v potansiyel tarama hızını ifade eder. DA, NADH ve AA için anodik pik potansiyelleri tüm tarama hızı aralığında ln v'ye karşı doğrusal olarak değişmektedir. Bu değişim için doğrusal regresyon denklemleri DA, NADH ve AA için sırasıyla E<sub>pa</sub> = 0.0386 ln v + 0.3035, r = 0.9991; E<sub>pa</sub> = 0.018 ln v + 0.104, r = 0.9884; E<sub>pa</sub> = 0.0338 ln v + 0.2207, r = 0.9954 şeklindedir. Eşitlik 9 kullanılarak 1 mM DA, 1 mM NADH ve 1 mM AA için α değerleri hesaplanmış ve bu değerler sırasıyla 0.327, 0.701, 0.373 olarak bulunmuştur.



Şekil 7. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotlarının 1 mM DA, NADH ve AA çözeltilerinde farklı tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları (50 mM pH 7.0 PBS, 0.1 M KCl; tarama hızları: 10, 20, 40, 50, 60, 80 ve 100 mV s<sup>-1</sup>)

DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmelerine pH'nın etkisini incelemek için 50 mM derişimde farklı pH'larda (4-8 aralığında) asetat ve fosfat tampon çözeltileri hazırlanmıştır. Her bir farklı pH'ya sahip tampon çözeltiler kullanılarak 1 mM sabit derişimde DA, NADH ve AA çözeltileri hazırlanmış ve bu çözeltilere SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları kullanılarak 100 mVs<sup>-1</sup> tarama hızında dönüşümlü voltametri uygulanmıştır. DA, NADH ve AA için farklı pH'larda elde edilen dönüşümlü voltamogramlar ve anodik pik potansiyellerine karşı pH grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Her üç analit için de Epa değerlerinin pH artışı ile azaldığı hem voltamogramlardan hem de grafiklerden anlaşılmaktadır. Epa değerlerinin kayması, elektroyükseltgenmenin pH'ya bağlı olması nedeniyle [1, 16, 61]. Şekil 8'de verilen Epa-pH grafiklerinden elde edilen doğruların eğimi DA, NADH ve AA için sırasıyla -52.2 mV/pH, -22.7 mV/pH ve -21.1 mV/pH'dır.

DA için elde edilen  $-52.2$  mV/pH değeri Nerst eşitliği için verilen teorik değere yakındır ( $-59.2$  mV/pH,  $25$  °C'de). Buna göre, SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda DA'nın elektroyükseltgenme reaksiyonu protona bağlıdır ve transfer edilen elektron sayısı proton sayısına eşittir [1]. DA'nın elektroyükseltgenmesi 2 elektronlu-2 protonlu prosesi içerir [3]. NADH için elde edilen  $-22.7$  mV/pH değeri ise  $-59.2$  mV/pH teorik değerinin yaklaşık yarısına eşittir. NADH'nin SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunda elektroyükseltgenmesi 2 elektronlu-1 protonlu prosesi içerir [62]. AA bir diasit ( $H_2A$ ) olduğu ve 2 basamakta ayrıştığı için ( $pK_{a1}=4.1$ ,  $pK_{a2}=11.8$ ), elektroyükseltgenmesi pH'ya bağlıdır [16, 61]. AA'nın elektrooksidasyonunun 2 elektronlu-2 protonlu prosesi olduğu bilinmektedir [63, 64].



Şekil 8. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotunun 1 mM DA, 5 mM NADH ve 5 mM AA içeren farklı pH'lardaki tampon çözeltilerinde (0.1 M KCl) elde edilen dönüşümlü voltamogramları (tarama hızı:  $100$  mV s<sup>-1</sup>) ve dönüşümlü voltamogramlardan elde edilen anodik pik potansiyeli-pH grafikleri

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada tek kullanımlık yüzey baskılı karbon elektrotlar; ERGO, PTH ve AuNP ile başarılı bir şekilde modifiye edilmiş ve elektrokimyasal karakterizasyonları yapılmıştır. SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları üzerinde DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmelerinde PTH'nin üç analit için de medyatör olarak görev yaptığı belirlenmiştir. DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmelerinde ERGO, PTH ve AuNP'nin birlikte sinerjik elektrokatalitik etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. DA, NADH ve AA'nın difüzyon katsayıları (D) sırasıyla  $3.37 \times 10^{-8}$ ,  $7.79 \times 10^{-9}$  ve  $1.51 \times 10^{-8}$  olarak, elektron transfer katsayıları ( $\alpha$ ) ise sırasıyla 0.327, 0.701 ve 0.373 olarak hesaplanmıştır. DA ve AA'nın elektroyükseltgenmesinde gerçekleşen elektrokimyasal prosenin 2 elektronlu-2 protonlu, NADH'nin ise 2 elektronlu-1 protonlu olduğu gözlenmiştir. DA, NADH ve AA'nın elektroyükseltgenmesinin pH'ya bağlı olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan SPCE/ERGO/PTH/AuNP elektrotları ile DA, NADH ve AA'nın elektrokimyasal tayini için tek kullanımlık, düşük maliyetli ve pratik sensör geliştirilebilir.



#### KAYNAKLAR

- [1] Han, H. S., Seol, H., Kang, D. H., Ahmed, M. S., You, J. M. & Jeon, S. (2014). Electrochemical oxidation and determination of dopamine in the presence of AA using ferulic acid functionalized electrochemically reduced graphene. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 204, 289-296.
- [2] Liu, A., Honma, I. & Zhou, H. (2007). Simultaneous voltammetric detection of dopamine and uric acid at their physiological level in the presence of ascorbic acid using poly (acrylic acid)-multiwalled carbon-nanotube composite-covered glassy-carbon electrode. *Biosensors and Bioelectronics*, 23(1), 74-80.
- [3] Liu, S., Yan, J., He, G., Zhong, D., Chen, J., Shi, L., Zhou, X. & Jiang, H. (2012). Layer-by-layer assembled multilayer films of reduced graphene oxide/gold nanoparticles for the electrochemical detection of dopamine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 672, 40-44.
- [4] Liu, A., Honma, I. & Zhou, H. (2005). Amperometric biosensor based on tyrosinase-conjugated polysaccharide hybrid film: Selective determination of nanomolar neurotransmitters metabolite of 3, 4-dihydroxyphenylacetic acid (DOPAC) in biological fluid. *Biosensors and Bioelectronics*, 21(5), 809-816.
- [5] Wightman, R. M., May, L. J. & Michael, A. C. (1988). Detection of dopamine dynamics in the brain. *Analytical Chemistry*, 60(13), 769A-793A.
- [6] Bergel, A., Soupe, J. & Comtat, M. (1989). Enzymatic amplification for spectrophotometric and electrochemical assays of NAD<sup>+</sup> and NADH. *Analytical Biochemistry*, 179(2), 382-388.
- [7] Rusling, J. F. (Ed.). (2003). *Biomolecular films: design, function, and applications*. CRC Press, New York, 499.
- [8] Omar, F. S., Duraisamy, N., Ramesh, K. & Ramesh, S. (2016). Conducting polymer and its composite materials based electrochemical sensor for Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NADH). *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 763-775.
- [9] Gunes, M. & Dilgin, Y. (2019). Flow injection amperometric determination of NADH at a calmagite-modified pencil graphite electrode. *Monatshefte Fur Chemie*, 150(8), 1425-1432.
- [10] Romay, C. H., Armesto, J., Ramirez, D., Gonzalez, R., Ledon, N. & Garcia, I. (1998). Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoyanin from blue-green algae. *Inflammation Research*, 47(1), 36-41.
- [11] Bhagavan, N. V. (2001). *Medical Biochemistry*. 4<sup>th</sup> ed. Elsevier, Netherlands, 331-363.
- [12] Eitenmiller, R. R., Landen Jr, W. O. & Ye, L. (2016). *Vitamin analysis for the health and food sciences*. CRC press, New York.
- [13] Basu, T. K. & Dickerson, J. W. T. (1996). Vitamin A. *Vitamin A in human health and disease*. Oxon: CAB International, 148-77.
- [14] Altun, M., Bilgi Kamaç, M., Bilgi, A. & Yılmaz, M. (2020). Dopamine biosensor based on screen-printed electrode modified with reduced graphene oxide, polyneutral red and gold nanoparticle. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 100(4), 451-467.
- [15] Bilgi Kamaç, M., Kıymaz Onat, E. & Yılmaz, M. (2020). A new disposable amperometric NADH sensor based on screen-printed electrode modified with reduced graphene oxide/polyneutral red/gold nanoparticle. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 100(4), 419-431.
- [16] de Faria, L. V., Lisboa, T. P., de Farias, D. M., Araujo, F. M., Machado, M. M., de Sousa, R. A., Matos, M. A. C., Munoz, R. A. A. & Matos, R. C. (2020). Direct analysis of ascorbic acid in food beverage samples by flow injection analysis using reduced graphene oxide sensor. *Food Chemistry*, 126509.
- [17] Ghica, M. E. & Brett, C. M. (2010). The influence of carbon nanotubes and polyazine redox mediators on the performance of amperometric enzyme biosensors. *Microchimica Acta*, 170(3-4), 257-265.
- [18] Barsan, M. M., Ghica, M. E. & Brett, C. M. (2015). Electrochemical sensors and biosensors based on redox polymer/carbon nanotube modified electrodes: a review. *Analytica Chimica acta*, 881, 1-23.
- [19] Pauliukaite, R., Ghica, M. E., Barsan, M. M. & Brett, C. M. (2010). Phenazines and polyphenazines in electrochemical sensors and biosensors. *Analytical Letters*, 43(10-11), 1588-1608.
- [20] Tanaka, K., Ikeda, S., Oyama, N., Tokuda, K. & Ohsaka, T. (1993). Preparation of poly (thionine)-modified electrode and its application to an electrochemical detector for the flow-injection analysis of NADH. *Analytical Sciences*, 9(6), 783-789.
- [21] Mi, Q., Wang, Z. W., Chai, C. Y., Zhang, J., Zhao, B. & Chen, C. Y. (2011). Multilayer structured immunosensor based on a glassy carbon electrode modified with multi-wall carbon nanotubes, polythionine, and gold nanoparticles. *Microchimica Acta*, 173(3-4), 459-467.

- [22] Ghica, M. E. & Brett, C. M. (2014). Poly (brilliant green) and poly (thionine) modified carbon nanotube coated carbon film electrodes for glucose and uric acid biosensors. *Talanta*, 130, 198-206.
- [23] Martínez-García, G., Pérez-Julián, E., Agüí, L., Cabré, N., Joven, J., Yáñez-Sedeño, P. & Pingarrón, J. M. (2017). An electrochemical enzyme biosensor for 3-hydroxybutyrate detection using screen-printed electrodes modified by reduced graphene oxide and thionine. *Biosensors*, 7(4), 50.
- [24] Ye, Y., Xie, J., Ye, Y., Cao, X., Zheng, H., Xu, X. & Zhang, Q. (2018). A label-free electrochemical DNA biosensor based on thionine functionalized reduced graphene oxide. *Carbon*, 129, 730-737.
- [25] Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., Piner, R. D., Nguyen, S. T. & Ruoff, R. S. (2006). Graphene-based composite materials. *Nature*, 442(7100), 282-286.
- [26] Patil, A. J., Vickery, J. L., Scott, T. B. & Mann, S. (2009). Aqueous stabilization and self-assembly of graphene sheets into layered bio-nanocomposites using DNA. *Advanced Materials*, 21(31), 3159-3164.
- [27] Wang, Y., Lu, J., Tang, L., Chang, H. & Li, J. (2009). Graphene oxide amplified electrogenerated chemiluminescence of quantum dots and its selective sensing for glutathione from thiol-containing compounds. *Analytical Chemistry*, 81(23), 9710-9715.
- [28] Liu, C., Alwarappan, S., Chen, Z., Kong, X. & Li, C. Z. (2010). Membraneless enzymatic biofuel cells based on graphene nanosheets. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(7), 1829-1833.
- [29] Putzbach, W. & Ronkainen, N. J. (2013). Immobilization techniques in the fabrication of nanomaterial-based electrochemical biosensors: A review. *Sensors*, 13(4), 4811-4840.
- [30] Bilgi, M. & Ayranci, E. (2018). Development of amperometric biosensors using screen-printed carbon electrodes modified with conducting polymer and nanomaterials for the analysis of ethanol, methanol and their mixtures. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 823, 588-592.
- [31] Fanjul-Bolado, P., Hernández-Santos, D., Lamas-Ardiana, P. J., Martín-Pernía, A. & Costa-García, A. (2008). Electrochemical characterization of screen-printed and conventional carbon paste electrodes. *Electrochimica Acta*, 53(10), 3635-3642.
- [32] Wang, J., Tian, B., Nascimento, V. B. & Angnes, L. (1998). Performance of screen-printed carbon electrodes fabricated from different carbon inks. *Electrochimica Acta*, 43(23), 3459-3465.
- [33] Lee, S. X., Lim, H. N., Ibrahim, I., Jamil, A., Pandikumar, A. & Huang, N. M. (2017). Horseradish peroxidase-labeled silver/reduced graphene oxide thin film-modified screen-printed electrode for detection of carcinoembryonic antigen. *Biosensors and Bioelectronics*, 89, 673-680.
- [34] Bilgi, M., Sahin, E. M. & Ayranci, E. (2018). Sensor and biosensor application of a new redox mediator: Rosmarinic acid modified screen-printed carbon electrode for electrochemical determination of NADH and ethanol. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 813, 67-74.
- [35] Bilgi Kamac, M., Kiymaz Onat, E. & Yilmaz, M. (2020). A novel non-enzymatic amperometric H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sensor based on screen-printed electrode modified with reduced graphene oxide, polyneutralred and gold nanoparticles. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 100(4), 408-418.
- [36] Yu, Z., Sun, S. & Huang, M. (2016). Electrodeposition of gold nanoparticles on electrochemically reduced graphene oxide for high performance supercapacitor electrode materials. *Int. J. Electrochem. Sci*, 11(5), 3643-3650.
- [37] Yang, R., Ruan, C., Dai, W., Deng, J. & Kong, J. (1999). Electropolymerization of thionine in neutral aqueous media and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> biosensor based on poly (thionine). *Electrochimica Acta*, 44(10), 1585-1596.
- [38] Karaboğa, M. N. S. & Sezgintürk, M. K. (2019). Cerebrospinal fluid levels of alpha-synuclein measured using a poly-glutamic acid-modified gold nanoparticle-doped disposable neuro-biosensor system. *Analyst*, 144(2), 611-621.
- [39] Yang, R., Ruan, C., Dai, W., Deng, J. & Kong, J. (1999). Electropolymerization of thionine in neutral aqueous media and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> biosensor based on poly (thionine). *Electrochimica Acta*, 44(10), 1585-1596.
- [40] Gao, Q., Cui, X., Yang, F., Ma, Y. & Yang, X. (2003). Preparation of poly (thionine) modified screen-printed carbon electrode and its application to determine NADH in flow injection analysis system. *Biosensors and Bioelectronics*, 19(3), 277-282.
- [41] Feng, H., Wang, H., Zhang, Y., Yan, B., Shen, G. & Yu, R. (2007). A direct electrochemical biosensing platform constructed by incorporating carbon nanotubes and gold nanoparticles onto redox poly (thionine) film. *Analytical Sciences*, 23(2), 235-239.
- [42] Mai, N., Liu, X., Zeng, X., Xing, L., Wei, W. & Luo, S. (2010). Electrocatalytic oxidation of the reduced nicotinamide adenine dinucleotide at carbon ionic liquid electrode modified with polythionine/multi-walled carbon nanotubes composite. *Microchimica Acta*, 168(3-4), 215-220.

- [43] Deng, C., Chen, J., Nie, Z., Yang, M. & Si, S. (2012). Electrochemical detection of nitrite based on the polythionine/carbon nanotube modified electrode. *Thin Solid Films*, 520(23), 7026-7029.
- [44] Sahin, M. & Ayranci, E. (2015). Electrooxidation of NADH on modified screen-printed electrodes: effects of conducting polymer and nanomaterials. *Electrochimica Acta*, 166, 261-270.
- [45] Qu, F., Yang, M., Chen, J., Shen, G. & Yu, R. (2006). Amperometric Biosensors for Glucose Based on Layer-by-Layer Assembled Functionalized Carbon Nanotube and Poly (Neutral Red) Multilayer Film. *Analytical Letters*, 39(9), 1785-1799.
- [46] Bard, A. J. & Faulkner, L. R. (2001). Fundamentals and applications. *Electrochemical Methods*, 2(482), 580-632.
- [47] Zhao, C., Jiang, Z., Cai, X., Lin, L., Lin, X. & Weng, S. (2015). Ultrasensitive and reliable dopamine sensor based on polythionine/AuNPs composites. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 748, 16-22.
- [48] Lai, G., Liu, Y., Yu, A., Han, D. & Zhang, H. (2013). Simultaneous sensitive determination of dopamine and uric acid in the presence of excess ascorbic acid with a magnetic chitosan microsphere/thionine modified electrode. *Analytical Letters*, 46(10), 1525-1536.
- [49] Liu, Y., Zhang, H. L., Lai, G. S., Yu, A. M., Huang, Y. M. & Han, D. Y. (2010). Amperometric NADH biosensor based on magnetic chitosan microspheres/poly (thionine) modified glassy carbon electrode. *Electroanalysis*, 22(15), 1725-1732.
- [50] Li, Z., Huang, Y., Chen, L., Qin, X., Huang, Z., Zhou, Y., Meng, Y., Li, J., Huang, S., Liu, Y., Wang, W., Xie, Q. & Yao, S. (2013). Amperometric biosensor for NADH and ethanol based on electroreduced graphene oxide–polythionine nanocomposite film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 181, 280-287.
- [51] Pruneanu, S., Biris, A. R., Pogacean, F., Socaci, C., Coros, M., Rosu, M. C., Watanabe, F. & Biris, A. S. (2015). The influence of uric and ascorbic acid on the electrochemical detection of dopamine using graphene-modified electrodes. *Electrochimica Acta*, 154, 197-204.
- [52] Chang, H., Wu, X., Wu, C., Chen, Y., Jiang, H. & Wang, X. (2011). Catalytic oxidation and determination of  $\beta$ -NADH using self-assembly hybrid of gold nanoparticles and graphene. *Analyst*, 136(13), 2735-2740.
- [53] Govindhan, M., Amiri, M. & Chen, A. (2015). Au nanoparticle/graphene nanocomposite as a platform for the sensitive detection of NADH in human urine. *Biosensors and Bioelectronics*, 66, 474-480.
- [54] Istrate, O. M., Rotariu, L., Marinescu, V. E. & Bala, C. (2016). NADH sensing platform based on electrochemically generated reduced graphene oxide–gold nanoparticles composite stabilized with poly (allylamine hydrochloride). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 223, 697-704.
- [55] Immanuel, S. & Sivasubramanian, R. (2020). Electrochemical studies of the oxidation of NADH on chemically reduced graphene oxide nanosheets modified glassy carbon electrode. *Materials Chemistry and Physics*, 123015.
- [56] Devendiran, M., Kumar, K. K. & Narayanan, S. S. (2018). Amperometric Determination of ascorbic acid and riboflavin using ferrocene/thionin bimediator modified electrode. *Int JS Res Sci Technol*, 4, 628-634.
- [57] Szoke, A., Zsebe, Z., Turdean, G. L. & Muresan, L. M. (2019). Composite Electrode Material Based on Electrochemically Reduced Graphene Oxide and Gold Nanoparticles for Electrocatalytic Detection of Ascorbic Acid. *Electrocatalysis*, 10(5), 573-583.
- [58] Chethana, B. K. & Naik, Y. A. (2012). Electrochemical oxidation and determination of ascorbic acid present in natural fruit juices using a methionine modified carbon paste electrode. *Analytical Methods*, 4(11), 3754-3759.
- [59] Brett, C. M. A & Brett, A. Maria Oliveira. (1993). *Electrochemistry: principles, methods, and applications*. Oxford: Oxford University Press.
- [60] Harrison, J. A. & Khan, Z. A. (1970). The oxidation of hydrazine on platinum in acid solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 28(1), 131-138.
- [61] Liu, B., Luo, L., Ding, Y., Si, X., Wei, Y., Ouyang, X. & Xu, D. (2014). Differential pulse voltammetric determination of ascorbic acid in the presence of folic acid at electro-deposited NiO/graphene composite film modified electrode. *Electrochimica Acta*, 142, 336-342.
- [62] Mie, Y., Yasutake, Y., Ikegami, M. & Tamura, T. (2019). Anodized gold surface enables mediator-free and low-overpotential electrochemical oxidation of NADH: A facile method for the development of an NAD<sup>+</sup>-dependent enzyme biosensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 288, 512-518.
- [63] Fernández, L. & Carrero, H. (2005). Electrochemical evaluation of ferrocene carboxylic acids confined on surfactant–clay modified glassy carbon electrodes: oxidation of ascorbic acid and uric acid. *Electrochimica Acta*, 50(5), 1233-1240.

- [64] Habibi, B., Jahanbakhshi, M., & Pournaghi-Azar, M. H. (2011). Differential pulse voltammetric simultaneous determination of acetaminophen and ascorbic acid using single-walled carbon nanotube-modified carbon–ceramic electrode. *Analytical Biochemistry*, *411*(2), 167-175.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Tezek Külü İkameli Çimento Harçlarının Mühendislik Özellikleri

## Engineering Features of Dung Ash Substituted Cement Mortars

Yusuf Tahir Altuncu<sup>1\*</sup>, Cenk Öcal<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 06/11/2020*

*Revize / Revised: 12/02/2021*

*Kabul / Accepted: 18/02/2021*

### ÖZ

Bu çalışmada tezek külü ikameli çimento harçlarının mühendislik özellikleri incelenmiştir. İnekten elde edilen tezek malzemesi 400 °C de kalsine edilerek tezek külü haline getirilmiş ve CEM I 42.5 R tipi çimento yerine ağırlıkça %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların; priz süreleri, genleşmeleri, yayılma çapları, birim hacim ağırlıkları ile 2 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak ikame oranı artışı ile priz sürelerinin uzadığı, yayılma çaplarının, birim hacim ağırlıklarının, eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca tezek külünün portland çimentosu yerine ağırlıkça %8 oranına kadar ikame edilmesinin yapılan deneyler açısından performansı olumsuz etkilemediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Kalsinasyon, Tezek Külü, İkameli Çimento, Fiziksel ve Mekanik Özellikler*

### ABSTRACT

In this study, engineering features of dung ash substituted cement mortars were investigated. Cow dung material was calcined at 400 °C and turned into dung ash, and the mixtures were prepared by substituting 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% by weight instead of CEM I 42.5 R type cement. Setting times, expansions, spreading diameters, unit weight and bending, and compressive strengths of 2 and 28 days of prepared mixtures were determined. As a result, with the increase in the rate of substitution; it was determined that setting times were longer, spreading diameters, unit weight, bending, and compressive strengths decreased. In addition, it was determined that the substitution of dung ash up to 8% by weight instead of Portland cement did not affect the performance negatively in terms of the experiments.

**Keywords-** *Calcination, Dung Ash, Substitute Cement, Physical and Mechanical Features*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [yusufaltunci@isparta.edu.tr](mailto:yusufaltunci@isparta.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5418-7742>)

İnşaat Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Çünür, Isparta

<sup>2</sup>İletişim: [cenkocal@isparta.edu.tr](mailto:cenkocal@isparta.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1407-7637>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Çünür, Isparta

## I. GİRİŞ

Çimento üretimi için; maden ocaklarından temin edilen kalker, kil, demir cevheri ve alçıtaşı maddelerine ihtiyaç vardır [1]. Farin döner fırınlarında yüksek sıcaklıklarda ergitilen bu maddeler çimentonun ana ham maddesi olan klinkeri oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle oluşan bu süreçte karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazları ve sera gazları açığa çıkmakta ve bu gazlar hava kirliliğine neden olmaktadır. Klinkerin gerek üretim aşamasında çevreye verdiği zararı azaltmak için gerekse de klinkerin ana hammadde kaynaklarının hızla tükenmesinin önüne geçebilmek adına alternatif olarak yerel ve fazla miktarda bulunan, ekonomik ve çevreci malzeme arayışları sürmektedir [1,2]. Tezek külü de bu alternatif malzemelerden bir tanesidir. Tezek dünyanın birçok yerinde gübre ve yakıt olarak kullanılmaktadır [3]. Tezek malzemesinin yüksek sıcaklık fırınlarında kalsine edilmesi sonucunda üretilen tezek külünün, çimento ve beton içerisinde kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar ise devam etmektedir.

Konu ile ilgili olarak; Ojedokun vd. [4], çalışmalarında tezek külünü çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında ikame ederek 40-100 mm aralığında yayılma çapına sahip ve 28 günlük basınç dayanımı 6.00-21.33 N/mm<sup>2</sup> aralığında olan betonlar üretmişler ve tezek külünün çimento içerisinde %10 oranına kadar kullanılmasını önermişlerdir. Venkatasubramanian vd. [5], çalışmalarında tezek külünü çimento yerine %2.5, %3 ve %3.5 oranlarında ve hindistan cevizi lifini de lif katkı olarak %1 oranlarında ikame ederek beton karışımları oluşturmuşlar ve tezek külü ve hindistan cevizi lifi ikamesi ile basınç dayanımı ve eğilme dayanımı performanslarının %50 ila %70 aralığında arttığını gözlemlenmişlerdir. Sruthy vd. [6], çalışmalarında, tezek külünü çimento yerine %6, %8, %10, %12 ve %14 oranlarında, cam lifini de lif katkı olarak %0.5 oranlarında ikame ederek, %0.5 - %0.7 aralığında kimyasal katkı kullanarak betonlar üretmişler ve %8'e kadar tezek külü ikamesinin betonun basınç dayanımını arttırdığını belirlemişlerdir. Familusi vd. [7], çalışmalarında tezek külünü çimento yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame ederek, 0.55 su/çimento oranında beton bloklar üretmişler ve %15'e kadar tezek külü ikamesi ile üretilen beton blokların Nijerya Endüstri Standartlarını karşıladığını tespit etmişlerdir. Kumar [8], çalışmasında uçucu külü ve tezek külünü çimento yerine değişik oranlarda ikame ederek farklı oranlarda karışımlar üretmiş ve %10 uçucu kül - %5 tezek külü ikameli karışımlarda en yüksek basınç dayanımına ulaşarak, uçucu kül ve tezek külü yüzdesi arttıkça işlenebilirliğin azaldığını ve priz sürelerinin uzadığını tespit etmiştir. Szymajda vd. [9], 2019 yılı Ocak ve Haziran ayları arasında temin ettikleri tezek atığını, yakma işlemine tabi tutarak tezek küllerinin kimyasal bileşimlerini ve karakteristik erime sıcaklıklarını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, tezek atığı 400 °C de kalsine edilerek tezek külü haline getirilmiş ve CEM I 42.5 R tipi çimento yerine %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların; priz süreleri ve genleşme tayinleri, yayılma çapları, birim hacim ağırlıkları ile 2 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

## II. MATERYAL VE METOD

### A. Materyal

Karışımların hazırlanmasında 3.12 g/cm<sup>3</sup> özgül ağırlığında CEM I 42.5 R tipi çimento, 200 µm'luk elekten elenerek kullanılan 2.52 g/cm<sup>3</sup> özgül ağırlığında ve 3300 cm<sup>2</sup>/g blaine özgül yüzey alanına sahip tezek külü, CEN standart kumu ve şebeke suyu kullanılmıştır. CEM I 42.5 R tipi çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 1'de, tezek külünün kimyasal özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Tezek külü; Isparta yöresinde yetiştirilen ineklerden elde edilen tezek atığının etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmasından sonra (Şekil 1a), yüksek sıcaklık fırınında 400 °C de kalsine edilmesiyle elde edilmiştir (Şekil 1b).

Tablo 1. CEM I 42.5 R tipi çimentonun kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Kız. Kay.
20.31	4.54	3.47	63.55	1.51	2.75	0.80	0.87	2.80

Tablo 2. Tezek külünün kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
68.17	4.47	3.16	13.01	2.19	1.33	2.85	0.55	1.42	0.62	0.37



a) Tezeğin etüvde kurutulması

b) Tezeğin kalsine edilmesi

Şekil 1. Tezek külünün elde edilmesi

### B. Metod

Tezek külü ikameli çimento hamurlarının su ihtiyacı değerleri, priz süreleri ve genleşme tayinleri TS EN 196-3 standardına göre belirlenmiştir [10]. Çimento hamuru karışım ve su ihtiyacı oranları Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Tezek külü ikameli çimento hamurlarının su ihtiyacı ve karışım oranları

Karışım kodu	Çimento (%)	Tezek külü (%)	Su (%)
TO	100	0	29.7
T2	98	2	29.9
T4	96	4	30
T6	94	6	30.4
T8	92	8	30.5
T10	90	10	30.9

Tezek külü CEM I 42.5 R tipi çimento yerine %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında ikame edilerek tezek külü ikameli çimento harç karışımları hazırlanmıştır. Karışıma giren kum ve su miktarı tüm numunelerde sabit tutulmuştur. Karışım ile ilgili bilgiler Tablo 4' de verilmiştir.

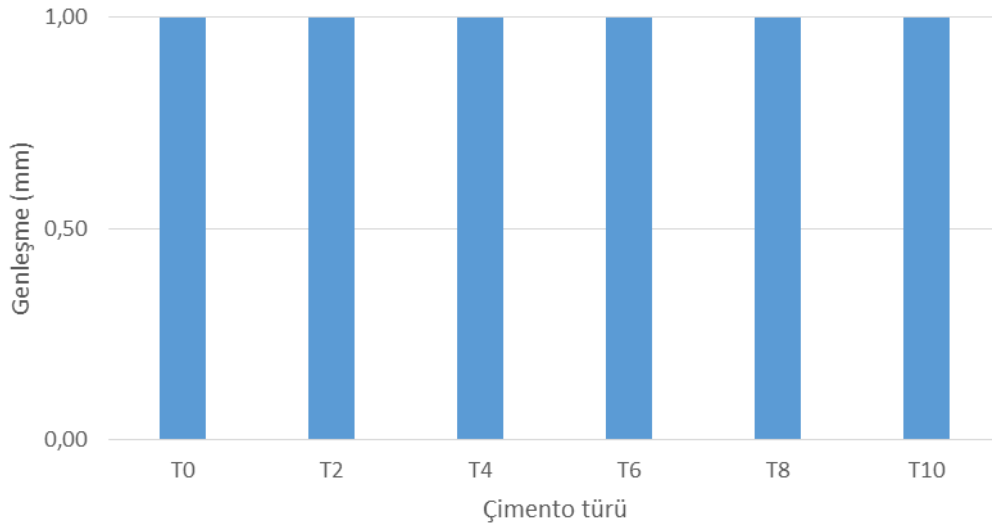
Tablo 4. Tezek külü ikameli çimento harçlarının karışım bilgileri

Karışım kodu	Çimento (g)	Tezek külü (g)	Kum (g)	Su (g)
TO	450	0	1350	225
T2	441	7.27	1350	225
T4	432	14.54	1350	225
T6	423	21.81	1350	225
T8	414	29.08	1350	225
T10	405	36.35	1350	225

Tezek külü ikameli çimento harçlarının üretimleri TS EN 196-1 [11] standardına göre yapılmıştır. Üretilen numunelerin ilk olarak TS EN 1015-3 [12] standardına göre yayılma tablası yayılma çapı değerleri ölçülmüş ardından, tezek külü ikameli çimento harçları TS EN 196-1 [11] standardına göre 4x4x16 cm boyutlu kalıplara doldurulmuş ve 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak kür havuzunda deney gününe kadar bekletilmiştir. Deney günü gelen sertleşmiş harç numunelerinin önce birim hacim ağırlıkları belirlenmiş, ardından TS EN 196-1 [11] standardına göre 2 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

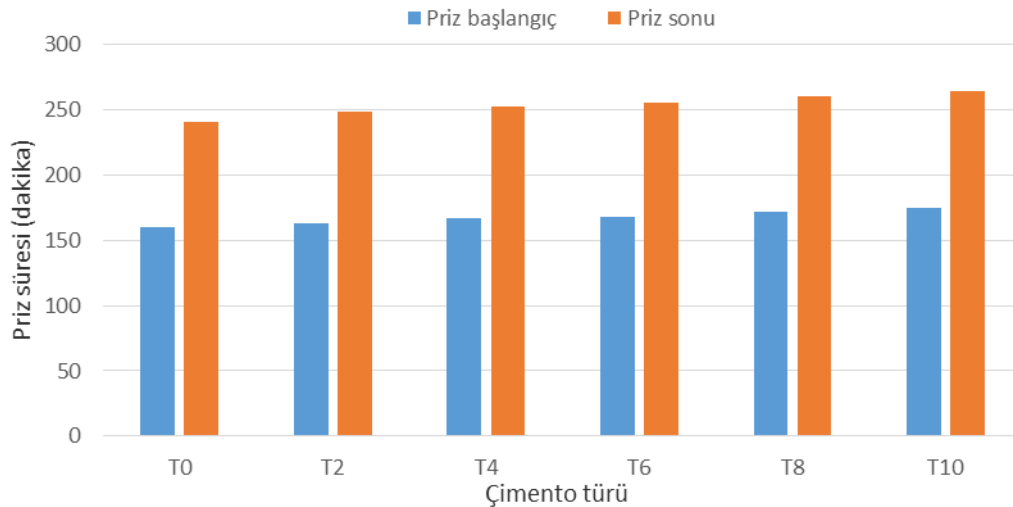
### III.ARASTIRMA BULGULARI

Tezek külü ikameli çimento hamurlarının TS EN 196-3 [10] standardına göre Le Chatelier halkaları kullanılarak yapılan genleşme deney sonuçları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tezek külü ikameli çimento hamurlarının genleşme değerleri

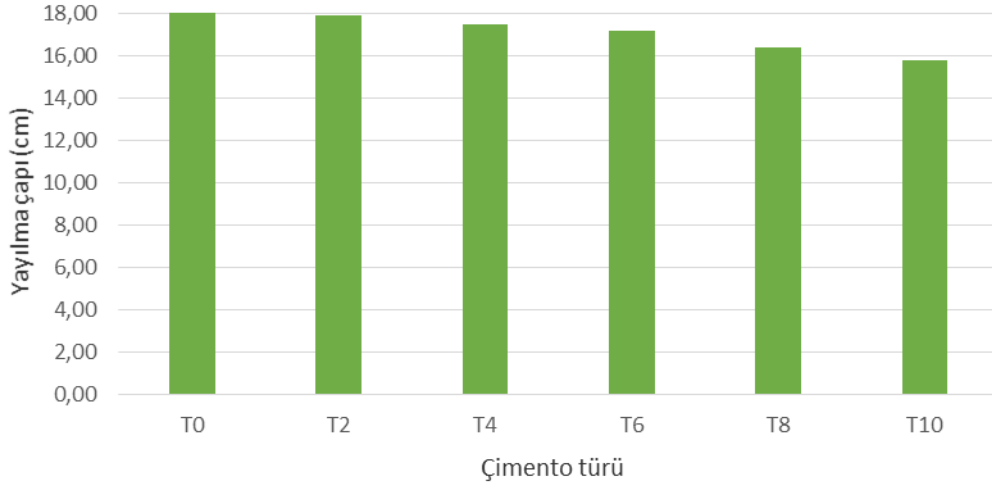
Tezek külü ikameli çimento numunelerinin içerisinde bulunan serbest CaO ve MgO’in su ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşabilecek olası genleşme miktarının TS EN 197-1 [13] standardına göre 10 mm’nin altında olması gerekmektedir. Yapılan çalışma sonucunda genleşme değerlerinin sınır değeri aşmadığı gözlemlenmiştir. Tezek külü ikameli çimento hamurlarının TS EN 196-3 [10] standardına göre yapılan priz başlangıç ve priz sonu süreleri Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Tezek külü ikameli çimento hamurlarının priz süreleri

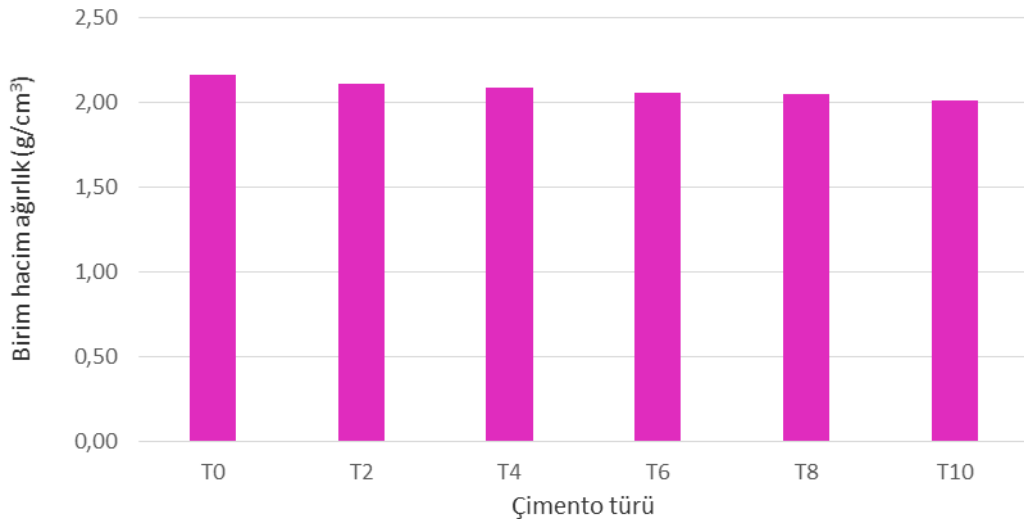


Priz başlangıç ve priz bitiş sürelerinin sırasıyla  $T10>T8>T6>T4>T2>T0$  şeklinde sıralandığı gözlemlenmiştir. Tezek külü ikamesi ile tüm numunelerin priz başlangıç ve priz bitiş sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç daha önceden yapılan benzer çalışmalar ile örtüşmektedir [8,14]. Bununla birlikte tezek külü ikameli tüm numunelerin priz başlama sürelerinin, TS EN 196-3 [10] standardında verilen (priz başlangıç için en az 60 dakika, priz sonu için en çok 600 dakika) sınır değerler içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Tezek külü ikameli çimento harçlarının TS EN 1015-3 [12] standardına göre yapılan yayılma tablası yayılma değerleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Tezek külü ikameli çimento harçlarının yayılma değerleri

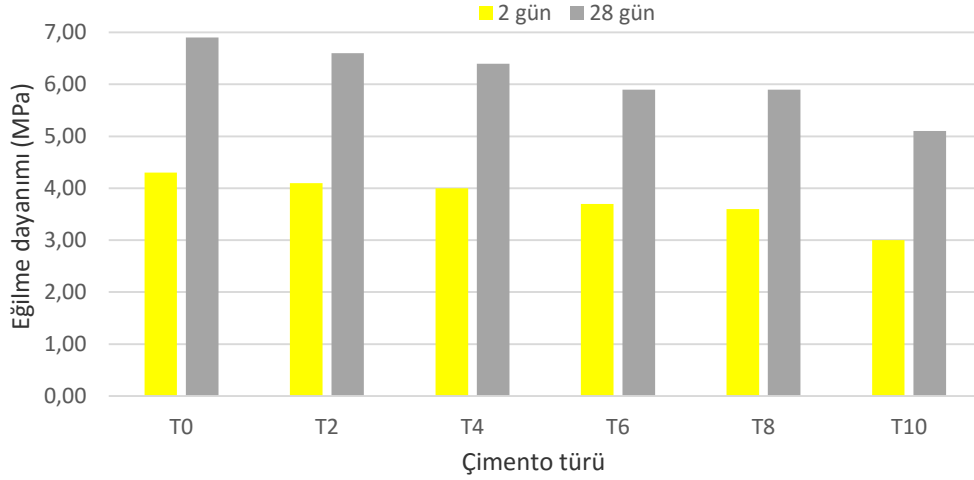
Tezek külü ikameli tüm numunelerin referans harcına göre daha düşük yayılma değerine sahip olduğu, numunelerin yayılma ilişkilerinin  $T0>T2>T4>T6>T8>T10$  şeklinde sıralandığı gözlemlenmiştir. Bu sıralama çimento yoğunluğunun, tezek külü yoğunluğundan fazla olması ile açıklanabilir. Ayrıca karışım yoğunluğunun azalması yayılma tablası yayılma değerini, dolayısıyla da işlenebilirliği azaltmıştır [14]. Tezek külü ikameli çimento harçlarının birim hacim ağırlığı deney sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.



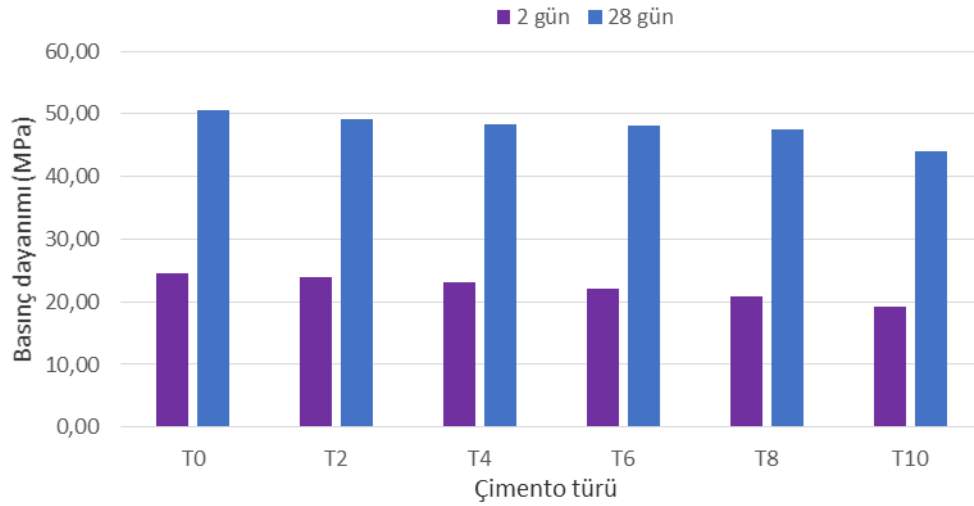
Şekil 5. Tezek külü ikameli çimento harçlarının birim hacim ağırlıkları

Numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre, en ağır örneğin T0 şahit örneği olduğu ve tezek külü ikameli harçların birim hacim ağırlıklarının sırasıyla  $T0>T2>T4>T6>T8>T10$  şeklinde olduğu belirlenmiştir. Tezek külü ikame oranı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Buradaki durum karışıma giren çimento yoğunluğunun ( $3.12 \text{ g/cm}^3$ ) ikame edilen tezek külü yoğunluğundan ( $2.52 \text{ g/cm}^3$ )

daha fazla olması ile açıklanabilir. Tezek külü ikameli çimento harçlarının TS EN 196-1 [11] standardına göre yapılan 2 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Tezek külü ikameli çimento harçlarının 2-28 günlük eğilme dayanımları



Şekil 7. Tezek külü ikameli çimento harçlarının 2-28 günlük basınç dayanımları

Tezek külü ikameli harçlar arasında hem 2 günlük hem de 28 günlük en yüksek basınç ve eğilme dayanımı özelliğine sahip örneğin T0 şahit numunesi olduğu, basınç ve eğilme dayanımı performanslarının sırasıyla T0>T2>T4>T6>T8>T10 şeklinde sıralandığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla tezek külü ikamesi ile basınç ve eğilme dayanımı performansının düştüğü söylenebilir. T10 numunesinin TS EN 197-1 [13] CEM I 42.5 R tipi çimento için belirtilen 2 günlük erken dayanımının en az 20 MPa olması gerekirken tezek külü ikamesi ile bu değer 19.30 MPa’ a düşmüştür. Dolayısıyla %10 tezek külü ikameli çimentolar TS EN 197-1 [13] standardın da belirtilen 2 günlük dayanım kriterini sağlamamaktadır. Bununla birlikte, %8’e kadar ikame yapılan numunelerin (T0, T2, T4, T6 ve T8) tezek külü ikamesine rağmen, TS EN 197-1 [13] standardında CEM I 42.5 R tipi çimento için belirtilen dayanım kriterlerini sağladığı tespit edilmiştir.

#### IV.SONUÇLAR

Bu çalışmada tezek külü ikameli çimento harçlarının mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

- Kimyasal analiz sonuçlarına göre tezek külünün bağlayıcılık özelliği çok yüksek olan silisi yüksek miktarda içerdiği ve  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  oranının %76.24 ile TS 25 [16] standardında belirtilen puzolanik malzeme uygunluk değeri kriterinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.
- %10 ikameye kadar üretilen tezek külü ikameli çimento hamurlarının, TS EN 197-1 [13] standardına göre sınır değer olan 10 mm genleşme sınırını aşmadığı belirlenmiştir.
- Çimento içerisindeki tezek külü miktarı %10 ikameye kadar arttıkça priz sürelerinin uzadığı ancak TSEN 196-3 [10] standardına göre bu sürelerin sınır değerler içerisinde kaldığı belirlenmiştir.
- Tezek külü ikameli çimentolarda, tezek külü miktarı arttıkça, birim hacim ağırlığın, eğilme ve basınç dayanımı ile işlenebilme özelliğinin azaldığı belirlenmiştir.
- Üretilen numunelerden sadece %10 ikameye sahip olan T10 numunesi TS EN 197-1 [13] standardın da CEM I 42.5 R tipi çimento için belirtilen 2 günlük dayanım kriterini sağladığı belirlenmiştir.
- Tezek külünün çimento içerisine en fazla %8 oranına kadar ikame edilerek kullanılması önerilir.
- Tezek külünün puzolanik özelliğini net bir şekilde ifade edebilmek için en azından 56 günlük ve daha ileriki yaşlarda elde edilen verilere göre değerlendirme yapmak gerekmektedir.
- Tezek külünün kalsine sıcaklığı ve tane boyutu; tezek külü ikameli çimentoların karakteristiklerini (özellik yüzey alanı,  $\text{SiO}_2$  bileşen oranı, özgül ağırlık değeri vb.) doğrudan etkileyeceği için bundan sonraki yapılacak çalışmalarda kalsine sıcaklığı ve tane boyutu özelliklerinin dikkate alınması önerilir.
- Ayrıca, tezek külü ikameli harçların termal özelliklerinin ve uzun süreli performans özelliklerinin araştırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Korkmaz, A. V. (2019). Çimento Üretiminde Kil Ham Maddesine Alternatif Olarak Çamurtaşının Kullanılabilirliği. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 58 (1), 7-15.
- [2] Dobiszewska, M. & Beycioğlu, A. (2017). Investigating the Influence of Waste Basalt Powder on Selected Properties of Cement Paste and Mortar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245 (2), 1-10.
- [3] Rayaprolu, V. S. R. P. K. & Raju, P. P. (2012). Incorporation of Cow Dung Ash to Mortar and Concrete. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(3), 580-585.
- [4] Ojedokun, O. Y., Adeniran, A. A., Raheem, S. B. & Aderinto, S. J. (2014). Cow Dung Ash (CDA) as Partial Replacement of Cementing Material in the Production of Concrete. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(24), 3445-3454.
- [5] Venkatasubramanian, C., Muthu, D., Aswini, G., Nandhini, G. & Muhilini, K. (2017). Experimental Studies on Effect of Cow Dung Ash (Pozzolan binder) and Coconut Fiber on Strength properties of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-6.
- [6] Sruthy, B., Krishnan, A. G., Mathew, G. M. & Raj, S. G. (2017). An Experimental Investigation on Strength of Concrete Made with Cow Dung Ash and Glass Fibre. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(3), 492-495.
- [7] Familusi, A. O., Adekunle, A. A., Badejo, A. A. & Olomo, R. O. (2018). Waste Valorisation: Use of Cow Dung Ash as a Partial Replacement for Cement in Sandcrete Blocks. *Proceedings of the 2018 International Conference on STEM: A Driving Force for Sustainable Development Tagged*, 1-10. Abeokuta.
- [8] Kumar, A. (2018). Partial Replacement of Cement with Fly Ash and Cow Dung Ash by Using Quarry Dust as a Fine Aggregate. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(10), 1-11.
- [9] Szymajda, A., Laska, G. & Majewski, M. (2020). Characteristics of Ashes from the Combustion of Cow Dung Biomass. *The 9th Innovations-Sustainability-Modernity-Openness Conference (ISMO'20)*, 1-3. Białystok.
- [10] TSE(Türk Standartları Enstitüsü), 2017. TS EN 196-3: Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini.

- [11] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 2016. TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini.
- [12] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 2000. TS EN 1015-3: Kagir Harcı- Deney Metotları-Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası İle).
- [13] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 2012. TS EN 197-1: Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri
- [14] Kara, İ. B. (2020). Çay Endüstrisi Atık Küllerinin Beton Üretiminde Değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 983-992.
- [15] Özdemir, İ. & Koçak, Y. Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 160-168.
- [16] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 2008. TS 25: Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri.

Araştırma Makalesi - Research Article

## Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşit ve Hatlarında SPAD Metre ve NDVI Ölçümlerinin Kalite Özellikleriyle İlişkilerinin Biplot Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi

### Determining the Relationship of SPAD Reading and NDVI with Quality Traits of Bread Wheat by Biplot Analysis

Merve Bayhan<sup>1\*</sup>, Önder Albayrak<sup>2</sup>, Remzi Özkan<sup>3</sup>, Cuma Akıncı<sup>4</sup>, Mehmet Yıldırım<sup>5</sup>

Geliş / Received: 11/11/2020

Revize / Revised: 14/12/2020

Kabul / Accepted: 23/12/2020

#### ÖZ

Parçalanmış ve azalan tarım alanlarından elde edilen üretimle günümüzde hızla artan nüfusun, yeterli ve dengeli beslenmesi imkânı her geçen gün daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle artan besin ihtiyaçlarının karşılanmasında değişen ekolojik koşulları uyum gösteren, morfolojik ve fizyolojik yönden uygun, verim ve kalite özellikleri iyi olan genotiplerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Diyarbakır koşullarına uyum sağlamada bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde fizyolojik özelliklerden NDVI (normalleştirilmiş vejetasyon farklılık indeksi) ve SPAD (klorofil içeriği) ile bazı kalite özellikleri (protein oranı, nişasta oranı, yaş gluten oranı, zeleny sedimantasyon değeri ve hektolitre ağırlığı) incelenmiştir. Çalışma, Diyarbakır'da Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü araştırma ve uygulama alanında 2018-2019 üretim sezonunda yağışa dayalı koşullarda yürütülmüştür. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada materyal olarak bölgede yoğun olarak yetiştirilen 4 adet ticari çeşit (Dinç, Ceyhan 99, Empire ve Pehlivan) ve CIMMYT (Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi)'ten temin edilen 16 adet ileri ekmeklik buğday hatı kullanılmıştır. SPAD ölçümlerinin protein, gluten ve sedimantasyonla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca SPAD ve NDVI ölçümleri bitkinin farklı gelişim dönemlerinde doğru bir şekilde alındığında ıslah çalışmalarında seleksiyon kriteri olarak ele alınabileceği sonucuna varılmıştır. Fizyolojik ve kalite özellikleri bakımından DZ20-E6 hatının standart çeşitlere ve diğer hatlara üstünlük sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler-** Ekmeklik Buğday, Biplot Analizi, Fizyolojik, Kalite

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [mervebayhan21@gmail.com](mailto:mervebayhan21@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3220-4548>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Dicle Üniversitesi, Sur, Diyarbakır

<sup>2</sup>İletişim: [ondera@dicle.edu.tr](mailto:ondera@dicle.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-2440-7748>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Dicle Üniversitesi, Sur, Diyarbakır

<sup>3</sup>İletişim: [rmziozkan@gmail.com](mailto:rmziozkan@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-6457-5802>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Dicle Üniversitesi, Sur, Diyarbakır

<sup>4</sup>İletişim: [akinci@dicle.edu.tr](mailto:akinci@dicle.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3514-1052>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Dicle Üniversitesi, Sur, Diyarbakır

<sup>5</sup>İletişim: [mehmety@dicle.edu.tr](mailto:mehmety@dicle.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-6953-4479>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Dicle Üniversitesi, Sur, Diyarbakır

## ABSTRACT

It is becoming more and more difficult for the rapidly increasing population to have adequate and balanced nutrition with the production obtained from the fragmented and decreasing agricultural areas. Therefore, it is of great importance to determine genotypes that are well adapted to the changing ecological conditions of the region, morphologically and physiologically appropriate; yield and quality characteristics are good in meeting the increasing nutritional needs. In this study, physiological properties, such as NDVI (normalized vegetation difference index) and SPAD (chlorophyll content) and some quality properties (protein content, starch content, wet gluten content, zeleny sedimentation value and hectoliter weight) in some bread wheat *Triticum aestivum* L.) genotypes under Diyarbakır conditions were investigated. The study was carried out in the research and application area of Dicle University Faculty of Agriculture in Diyarbakır in rainy conditions during the 2018-2019 production season. The experiment was designed as randomized block design with 3 replications. In this study, materials were used as follows: four check cultivars (Dinç, Ceyhan 99, Empire and Pehlivan) which are grown intensively in the region and 16 advanced bread wheat lines obtained from CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). It was determined that SPAD measurements were associated with protein, gluten, and sedimentation parameters. In addition, it was concluded that when SPAD and NDVI measurements are taken correctly in different growth stages of the plant, it can be considered as selection criteria in breeding studies. DZ20-E6 lines in terms of physiological properties and quality characteristics have superiority over standard varieties and other lines.

**Keywords-** *Bread Wheat, Biplot Analysis, Physiological, Quality*

## I. GİRİŞ

Önemli bir kültür bitkisi olan buğday, hem ekiliş alanı olarak hem de üretim miktarı bakımından dünyada ve Türkiye’de ilk sıralarda yer almaktadır. Buğday, insanlar için gıda ürünü olmasının yanında hayvan beslenmesinde de kullanılmaktadır. Dünya’da 216.2 milyon hektar buğday ekilip, 735 milyon ton ürün elde edilmektedir [1]. Türkiye’de buğday ekim alanı 7.6 milyon hektar olup, üretimi ise 20 milyon tondur. Türkiye’de 1.2 milyon ha ekim alanıyla buğday üretiminde önemli bir paya sahip olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi buğday ekim alanlarımızın yaklaşık % 16’sını oluşturmaktadır. Bölgede, ekmeklik buğdayın buğday ekim alanı içerisindeki payının % 30-40 olduğu tahmin edilmekte ve buğday ekim alanının % 24’ünün Diyarbakır ilinde yer aldığı bildirilmektedir [2].

Son yıllarda buğdayda verim ve kaliteye katkıda bulunan fizyolojik özellikler ıslah yöntemlerine dahil edilerek çeşit geliştirme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bu fizyolojik özelliklerin belirlenmesi için hızlı, basit, ucuz ve bitkiye zarar vermeden ölçüm yapabilen SPAD metre, termal kamera, NDVI (Normalleştirilmiş Vejetasyon Farklılık İndeksi), (Greenseeker) ve yaprak alanı indeksi gibi spektral yansıtma cihazları kullanılmaktadır. Islah çalışmalarındaki temel hedef, verimlilik ve kalite özelliklerini geliştirmek üzerine olmuştur. Yetiştirme çalışmalarındaki farklılıkların belirlenmesinde birçok gözlem, ölçüm ve yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin etkili, sürdürülebilir, güvenilir, zaman kazandıran ve uygulaması kolay olmalıdır. Uzaktan algılama yöntemleri bu amaçlar için geliştirilmiştir ve hassas tarımsal uygulamaların önemli bir bileşenidir. Bitki büyümesini, bitki biyokütlesini, yaprak alan indeksini (LAI), azot (N) içeriğini ve tane verimi tahminlerini izlemek için kullanılan bu sistemler hızlı olup bitki kesilmesine gerek duyulmaz [3]. NDVI, tane verimini tahmin etmek için kullanılan en yaygın spektral indekstir. NDVI klorofilin kıvılcığı enerjisiyle yakın yansıma ve kırmızı ışığı emme kabiliyeti nedeniyle, yaprak yoğunluğu yüksek olan alanların nispeten az yapraklı alanlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda NDVI, bitki örtüsü değişimi, bitki örtüsü sınıflandırması ve bazı parametrelerin hesaplanmasında oldukça başarılı olduğu kanıtlanan bitki örtüsü endeksidir. Özellikle çiçeklenme ve tane dolum döneminde NDVI’nın tane verimi ile güçlü korelasyon ilişkisi bulunmaktadır [4].

Spektral yansıtma bazlı çalışan SPAD metre, tane verimi artırma endeksli yapılan ıslah çalışmalarında bitki ıslahçıları tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. SPAD metre cihazı yaprakta mevcut klorofil ve azot miktarını dolaylı bir şekilde ölçebilmektedir. SPAD metre, kullanımı kolay, maliyetinin ucuz olmasının yanı sıra taşınabilir olması ve ölçüm yapılırken yaprağa zarar vermemesi özellikleri ile son zamanlarda yapılan birçok

çalışmalarda kullanılmıştır. Bavec ve Bavec (2001) [5], yaptıkları çalışmada SPAD değeri ile tane verimi arasında başaklanma, tane dolum dönemlerinde önemli ve olumlu ilişkiler saptamışlardır.

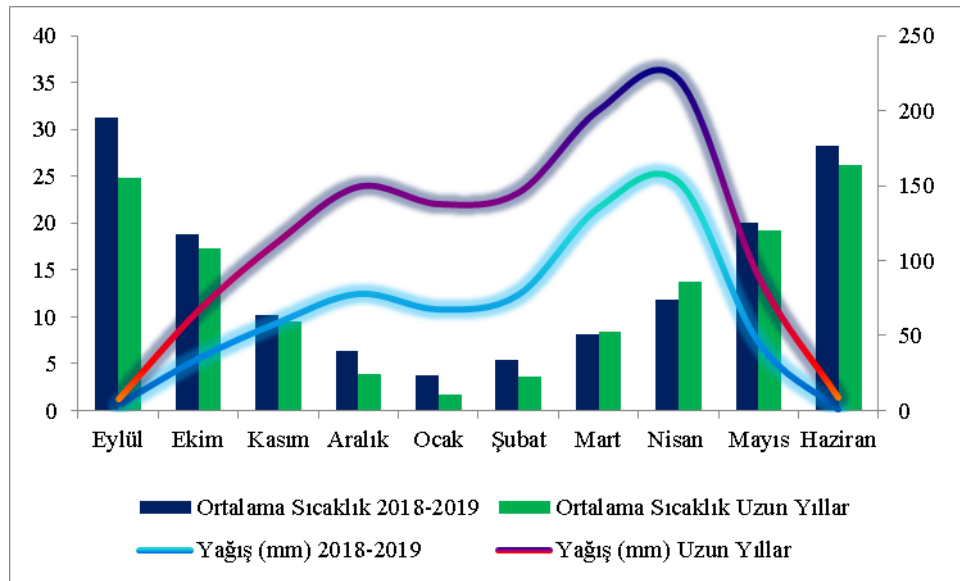
Ülkemizde yabancı ot, hastalık, zararlılar, kuraklık ve tuzluluk vb. etmenler buğdayda verim ve kaliteyi ciddi oranda olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etmenler ile mücadele edebilecek yeni buğday çeşitlerin geliştirilmesi bitki ıslahçıları açısından zorunlu olmaktadır.

Biplot analizi, iki yönlü bir tablo tasarımı olup, satır ve sütun faktörlerini grafiksel olarak göstermektedir. Bu analiz metodunda satır ve sütun faktörlerinin hem tek tek kendi arasındaki ilişkileri hem de ikili interaksyonları görsel olarak sergilenabilmektedir. Biplot analizi ile genotiplerin çok sayıda özellik ve çevrede iki yönlü veri analizi yapılabilmektedir [6].

Yapılan bu çalışmada, Diyarbakır'da yetiştirilen bazı ekmeklik buğday çeşitleri ile ileri kademe ekmeklik buğday hatlarında fizyolojik parametreler ile kalite özellikleri arasındaki ilişkileri biplot analiz yöntemi ile saptanması amaçlanmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, 2018-2019 buğday yetiştirme sezonunda Diyarbakır'da Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma ve uygulama sahasında yağışa dayalı şartlarda yürütülmüştür. Araştırmada materyal olarak bölgede yoğun olarak yetiştirilen 4 adet ticari çeşit (Dinç, Ceyhan 99, Empire ve Pehlivan) ve CIMMYT (Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi)'ten temin edilen 16 adet ileri ekmeklik buğday hatı kullanılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü 2018-2019 sezonu ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Denemenin kurulduğu yıllara ilişkin iklim verileri

Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrürlü olarak kurulmuştur. Denemede her parsel 1.2 m x 4 m= 4.8 m<sup>2</sup> olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekim işlemi metrekaresine 500 tohum hesabıyla 5 Şubat tarihinde deneme mibzeri ile yapılmıştır. Ekimle birlikte, taban gübresi olarak 6 kgda<sup>-1</sup> saf azot (N) ve 6 kgda<sup>-1</sup> saf fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) uygulanırken, 6 kgda<sup>-1</sup> saf azot (N) ise sapa kalkma periyodunda üst gübre olarak verilmiştir. Yabancı otlarla mücadelede herbisit kullanılmıştır. Hasat işlemi parsel biçerdöveri ile 3.8 m<sup>2</sup>'lik alana denk gelecek şekilde 17 Temmuz 2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada kullanılan fizyolojik ölçümlerden NDVI, yakın kızılötesi (NIR) ve görünür kırmızı (RED) bantlar arasındaki kontrastı arttırmak veya iki banttan tek bir bant halinde bilgi toplamak ve alandaki bitki varlığını incelemek için kullanılır [7]. NDVI okumaları bitkiler başaklanma döneminde iken 0.00-0.99 değerleri aralığında ölçüm yapan Trimble Greenseeker cihazı ile açık havada rüzgarın olmadığı 11:00-14:00 saatleri arasında yapılmıştır. SPAD değeri, yaprakta bulunan klorofil miktarını ifade etmektedir. SPAD metre (Minolta

SPAD-502, Osaka, Japan) ile parseldeki bitkileri başaklanma (GS 55) dönemindeyken bitkinin bayrak yaprağında sabah 10-12 ve öğleden sonra 14-16 saatleri arasında açık havada ölçüm alınmıştır. Protein oranı (%), yaş gluten oranı (%), nişasta oranı (%), hektolitreye ağırlığı (kg/hl) ve Zeleny sedimantasyon (ml) değerlerini belirlemek için taneler öğütme işlemine tabi tutulmadan NIR System Infratec 1241 Grain Analyzer (Foss, Hillerod, Danimarka) cihazıyla ölçülmüştür [8, 9].

Çalışma sonunda elde edilen değerler Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre JUMP Pro 13 (SAS Institute Inc., US) istatistik paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar LSD testi ile ortaya konmuştur [10]. Biplot analizleri ise GGE Biplot istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [11].

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan varyans analizinde; çeşitler arasında incelenen özellikler bakımından istatistiksel olarak önemli görülen ( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ) farklılıklar Tablo 1'de verilmiştir.

Genotiplere ait NDVI değerleri 0.53 ile 0.67 arasında değişim gösterirken, denemeye ait ortalama NDVI değerinin 0.61 olduğu tespit edilmiştir. NDVI değeri bakımından en yüksek değer %0.67 ile DZ20-E3 hatından ve Pehlivan (%0.67) kontrol çeşidinden elde edilirken, en düşük değer ise %0.53 ile DZ20-E9 genotipinden elde edilmiştir. Yüksek NDVI değerleri sağlıklı bitki gelişimini göstermektedir [12]. Crusiol ve ark.(2017) [13], NDVI değerinin ölçüm aşaması (kardeslenme, sapa kalkma, başaklanma ve sonrası) ölçüm aralığı (günün farklı saatleri arasında) sensörün kullanım mesafesi (yüksekliği) ve çevre gibi birçok faktörden etkilendiğini bildirmiştir. Kızılgöçü ve ark.(2017) [14], bazı tritikale genotiplerinde fizyolojik parametrelerin verim ve kalite özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla iki farklı lokasyonda yaptıkları çalışmada; başaklanma döneminde ölçülen NDVI değerlerinin Diyarbakır lokasyonunda 0.77-0.81 arasında olduğunu, Mardin lokasyonunda ise 0.72-0.77 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Kızılgöçü ve Yıldırım (2019) [15], başaklanma döneminde ölçülen NDVI değerlerinin 0.42-0.85 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

**Tablo 1.** Araştırmada incelenen ekmeklik buğday genotiplerine ait ortalamalar ve oluşan gruplar

Genotip	NDVI Değeri	SPAD Değeri	Protein Oranı (%)	Nişasta Oranı (%)	Hektolitreye Ağırlığı (kg/hl)	Yaş Gluten Oranı (%)	Zeleny Sedimantasyon Değeri (ml)
DZ20-E1	0.62 a-c	39.90 a-e	16.86 b	62.22 gh	78.48 f-1	33.34 a-c	51.79 ab
DZ20-E2	0.63 a-c	<b>45.67 a</b>	15.25 d-g	61.91 hi	80.16 b-g	30.92 cd	50.46 a-d
DZ20-E3	0.61 b-d	44.60 ab	15.90 c-e	61.46 j	77.39 ij	32.37 a-d	50.42 a-d
DZ20-E4	<b>0.67 a</b>	35.90 de	14.56 f-1	60.08 k	<b>75.93 j</b>	29.08 cd	43.62 f
DZ20-E5	0.63 a-c	37.87 b-e	14.63 f-1	63.29 bc	81.81 a-c	29.99 cd	47.10 d-f
DZ20-E6	0.58 c-e	<b>45.63 a</b>	<b>18.43 a</b>	61.50 j	<b>83.25 a</b>	35.97 ab	51.84 ab
DZ20-E7	0.66 ab	41.97 a-d	14.38 g-1	62.52 fg	80.61 b-e	28.68 d	49.15 a-d
DZ20-E8	0.62 a-c	39.90 a-e	16.07 b-d	62.71 ef	<b>82.80 a</b>	31.90 b-d	<b>52.22 a</b>
DZ20-E9	<b>0.53 e</b>	37.77 b-e	<b>13.73 ı</b>	63.45 ab	81.35 a-d	<b>28.24 d</b>	<b>39.11 g</b>
DZ20-E10	0.65 ab	38.77 a-e	15.12 e-g	63.00 c-e	80.05 c-g	29.84 cd	50.62 a-d
DZ20-E11	0.61 a-d	42.90 a-d	14.65 f-1	62.10 hi	79.15 e-1	<b>36.64 a</b>	50.78 a-d
DZ20-E12	0.55 de	40.03 a-e	14.74 f-h	61.86 ı	<b>83.17 a</b>	29.41 cd	48.65 a-d
DZ20-E13	0.57 c-e	43.23 a-d	14.40 g-1	<b>63.73 a</b>	<b>82.91 a</b>	28.86 cd	47.55 c-f
DZ20-E14	0.60 b-e	37.40 b-e	13.91 hi	<b>61.36 j</b>	78.27 g-1	28.91 cd	44.22 ef
DZ20-E15	0.63 a-c	37.67 b-e	16.09 b-d	62.69 ef	82.05 a-c	31.36 cd	51.48 a-c
DZ20-E16	0.60 b-d	37.00 c-e	15.41 c-f	62.00 hi	80.47 b-f	31.31 cd	51.28 a-c
Ceyhan-99	0.65 ab	36.07 de	14.92 fg	63.12 b-d	79.56 d-h	30.41 cd	47.87 b-e
Dinç	0.63 a-c	<b>34.43 e</b>	14.66 f-1	62.20 gh	82.11 ab	30.24 cd	51.27 a-c
Empire	0.66 ab	44.20 a-c	16.27 bc	62.91 de	81.22 a-d	31.40 cd	51.80 ab
Pehlivan	<b>0.67 a</b>	45.33 a	14.76 f-h	63.42 ab	77.76 h-j	30.72 cd	49.76 a-d
<b>Ortalama</b>	<b>0.61</b>	<b>40.31</b>	<b>15.23</b>	<b>62.37</b>	<b>80.42</b>	<b>30.97</b>	<b>49.05</b>
<b>LSD</b>	<b>0.06**</b>	<b>7.37*</b>	<b>0.92**</b>	<b>0.32**</b>	<b>2.04**</b>	<b>4.52*</b>	<b>4.12**</b>

\* %5, \*\* %1 düzeyinde önemli

Çalışmada ele alınan genotiplere ait SPAD (klorofil miktarı) değerleri 34.43 ile 45.67 arasında değişim gösterirken, kullanılan genotiplerin ortalama SPAD değeri 40.31 olarak belirlenmiştir. SPAD değeri bakımından



en yüksek değer DZ20-E2 (45.67) ve DZ20-E6 (45.63) genotiplerinde ve en düşük değer Dinç (34.43) kontrol çeşidinde gözlemlenmiştir. Bitkilerin klorofil içeriğinin yüksek olması arzu edilmektedir. Son yıllarda çok kullanılan bu özelliğin seleksiyon kriteri olarak ıslah programlarında yer alarak verimde ilerleme sağladığı bildirilmektedir [16, 34, 35]. Benzer bir çalışmada bitkiler başaklanma döneminde iken yapılan ölçümde ortalama SPAD değerinin anaçlarda 46.1, F<sub>1</sub> melezlerinde ise 46.8 olduğunu, bitkiler erken hamur olum döneminde iken yapılan ölçümde ise ortalama SPAD değerinin anaçlarda 50.6, F<sub>1</sub> melezlerinde ise 58.0 olduğunu bildirmişlerdir. Genotiplerin klorofil miktarının bitkinin gelişim safhalarına göre farklılaşabileceği, bu yüzden erken bir dönemde ölçülen düşük klorofil içeriği ileri dönemlerde artabileceği ve bu yüzden spad ölçümüne dayalı seleksiyonun tek ölçüm bazlı değil birden fazla dönemde yapılmasının yararlı olabileceğini bildirmişlerdir [17].

Çalışmada kullanılan genotiplere ait protein oranı değerleri % 13.73(DZ20-E9) -18.43 (DZ20-E6) arasında değişim gösterirken, ortalama protein oranı değeri % 15.23 olarak tespit edilmiştir. Tanede protein miktarı çevre şartlarından, yetiştirme tekniğinden ve çeşidin genetik özelliklerinden etkilenmektedir. Yüksek protein miktarına sahip buğday taneleri genelde daha sert bir tane yapısına sahip olup protein miktarından doğrudan etkilenen diğer kalite özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir. Bazı araştırmacılara göre buğday tanesinde protein içeriği % 8 ile 18 arasında değişebilirken [18], bazı kaynaklara göre buğday tanesinde protein içeriği % 25 [19] oranına kadar çıkabilmektedir.

Genotiplerin nişasta oranı değerleri % 61.36(DZ20-E14) -63.73 (DZ20-E13) arasında değişim göstermiş ve deneme ortalaması 62.37 olarak tespit edilmiştir. Nişasta oranının artan protein oranı ile genel olarak bir azalma gösterdiği ve yüksek protein içeriğine sahip genotiplerin nişasta oranının düşük olduğu saptanmıştır. Mahla ve ark., 2015 [20] tarafından yapılan çalışmada nişasta oranının genotipe ve bitkinin yetiştirme şartlarına göre farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular Mut ve ark. (2017)'nın [21] elde ettiği bulgular (% 61.6-65.0) ile benzerlik göstermektedir.

Genotiplere ait hektolitre ağırlığı değeri 75.93-83.25 kg/hl arasında değişim göstermekte olup, denemeye ait ortalama hektolitre ağırlığı değeri 80.42 kg/hl olarak tespit edilmiştir. İncelenen genotipler arasında maksimum hektolitre ağırlığı değeri DZ20-E6 (83.25 kg/hl), DZ20-E8 (82.80 kg/hl), DZ20-E12 (83.17 kg/hl) ve DZ20-E13 (82.91 kg/hl) hatlarından, minimum hektolitre ağırlığı değeri ise 75.93 kg/hl ile DZ20-E4 hatından elde edilmiştir. Hastalık, zararlı ve yatma gibi çevresel etmenlerin yanı sıra başakta başakçık ve tane sayısı gibi verim öğeleri de hektolitre ağırlığını etkilemektedir [22]. Bu çalışmadan elde edilen bulgular Mut ve ark. (2007)'nin[23] ekmeçlik buğday genotiplerinin verim ve kalite özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, hektolitre bakımından çeşitler arasında farklılık olduğunu bildiren bulguları ile (76.1-81.4kg/hl) uyum göstermektedir.

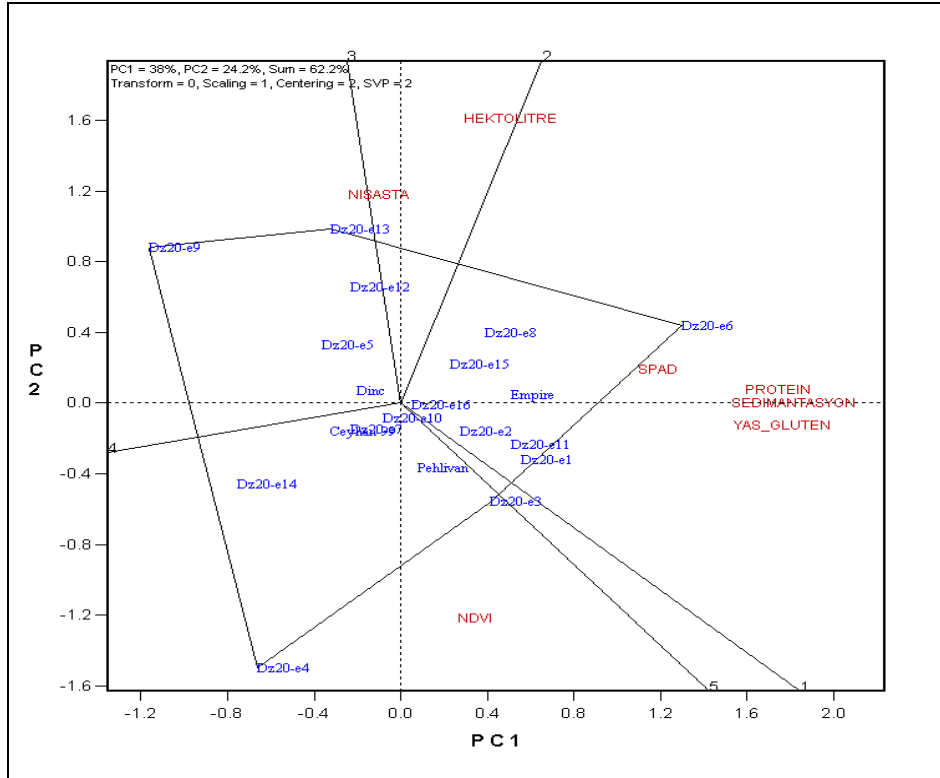
Araştırmada genotiplere ait elde edilen yaş gluten değerleri % 28.24 (DZ20-E9)-36.64 (DZ20-E11) arasında değişim gösterirken, denemeye ait ortalama yaş gluten oranı değeri % 30.97 olarak belirlenmiştir. Ekmeçlik unlarda gluten proteinleri hamurun kabarması ve elastikiyeti açısından önemli bileşenlerdendir. İyi kalitede hamur elde etmek için unlarda yaş glutenin % 28'in üzerinde olması istenmektedir [24]. Çalışmada genotiplere ait ortalama gluten oranları standart değer üzerinde yer almaktadır. Daha önce yapılan benzer çalışmalarda, Egesel ve ark. (2009) [25], 1. yıl yaş gluten oranı ortalamasını % 33.1, 2. yılda ise % 34.6; Kızılgöçü ve Yıldırım (2019)[26], 1. yıl % 29.84, 2. yıl ise % 43.07 olarak saptamışlardır.

Zeleny sedimantasyon değeri bakımından genotiplerden elde edilen değerler 39.11 ile 52.22 ml arasında değişim gösterirken, deneme ortalaması 49.05 ml olarak gözlenmiştir. Çalışmada zeleny sedimantasyon değeri bakımından en yüksek değer DZ20-E8 (52.22 ml) ve DZ20-E6 (51.84 ml) hatlarından, en düşük değer ise DZ20-E9 (39.11 ml) hatından elde edilmiştir. Zeleny sedimantasyon protein kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilen ve sanayiciler tarafından yaygın olarak kullanılan bir özelliktir. Aydoğan ve ark. (2013) [27], kuru koşullarda 21 ekmeçlik buğday çeşidinin Zeleny sedimantasyon değerinin 19.5-62.5 ml arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

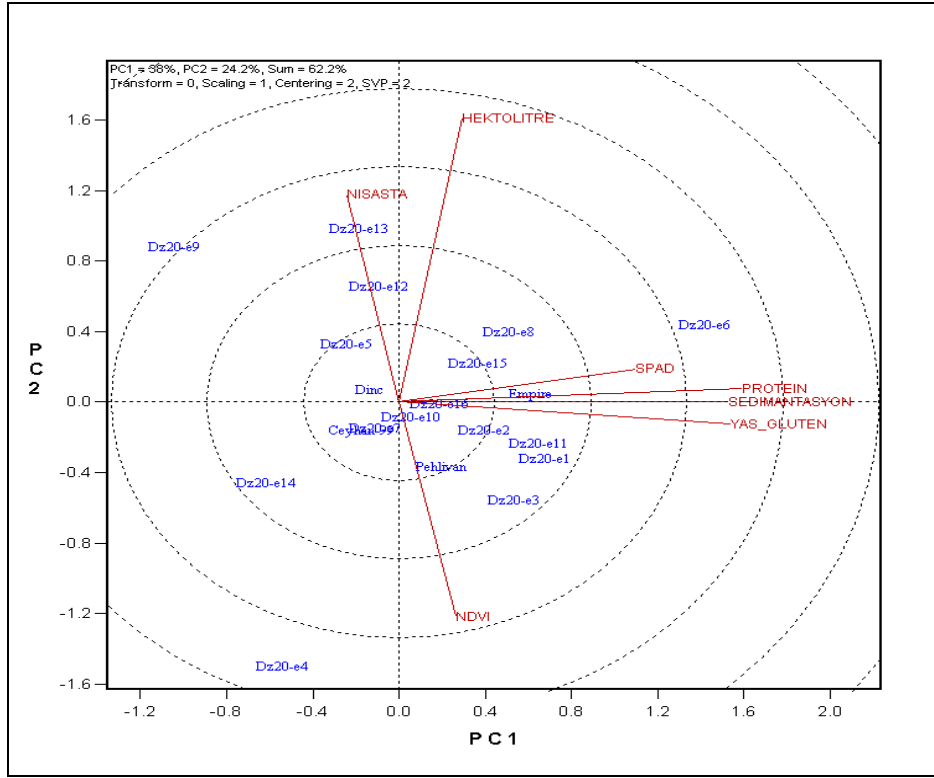
#### A. Biplot Analiz Sonuçları ve Grafiklerin Yorumlanması

GGE biplot analizi, görsel olarak verilerin değerlendirilmesini ve mega-ortam tanımlamasını kolaylaştıracak şekilde çoklu çevre deneme verilerinin Genotip + Genotip x Çevre interaksyonunu grafiksel olarak göstermektedir [28, 29, 30].

Araştırmada incelenen özelliklerin genotiplere göre sınıflandırılması Şekil 2’de verilmiştir. Bu çalışmada scatter biplot yöntemi ile yapılan analizde PC1 % 38 ve PC2 % 24.2, toplam varyasyonun % 62.2’sini oluşturmuştur. Genotiplere göre özelliklerin sınıflandırma grafiği, temel olarak 5 mega-çevreden oluşmuştur. Bir GGE biplotunun “hangisi nerede ön plana çıktı (which-won-where)” çokgen görünümü, genotip ve özellik arasındaki ilişkinin modellerini görselleştirmenin etkili bir yoludur (Şekil 2). Çokgen köşeleri, biplot merkezinden maksimum uzakta olan genotipleri temsil etmektedir. Biplotu, mega çevreye bölen çizgiler bir dizi varsayımı temsil eder. Çokgenin açısız bir tepe noktasında yer alan bir genotip ve bu genotipe ait bir özellik (veya birkaç özellik) bir mega çevre içine düşerse, bu genotipin sahip olduğu özellik kapasitesinin bu özel bölgede en yüksek olduğu anlamına gelir. Bu biplotun bir başka önemli özelliği de, farklı mega ortamların olası varlığını gösteren çevresel gruplamaları göstermesidir. Bu nedenle, çalışmamızda ilk mega çevre, yüksek SPAD, protein, sedimentasyon ve yaş gluten özellikleri ile DZ20-E6 genotipinden oluşur. NDVI değeri ile DZ20-E4 genotipi farklı bir grup; nişasta değeri ile DZ20-E9 ve DZ20-E13 genotipleri ise başka bir mega bölgeyi oluşturur. Ayrıca, DZ20-E13 genotipi hem nişasta hem de hektolitre değeri bakımından en yüksek değere sahip genotip olarak ön plana çıkmıştır.

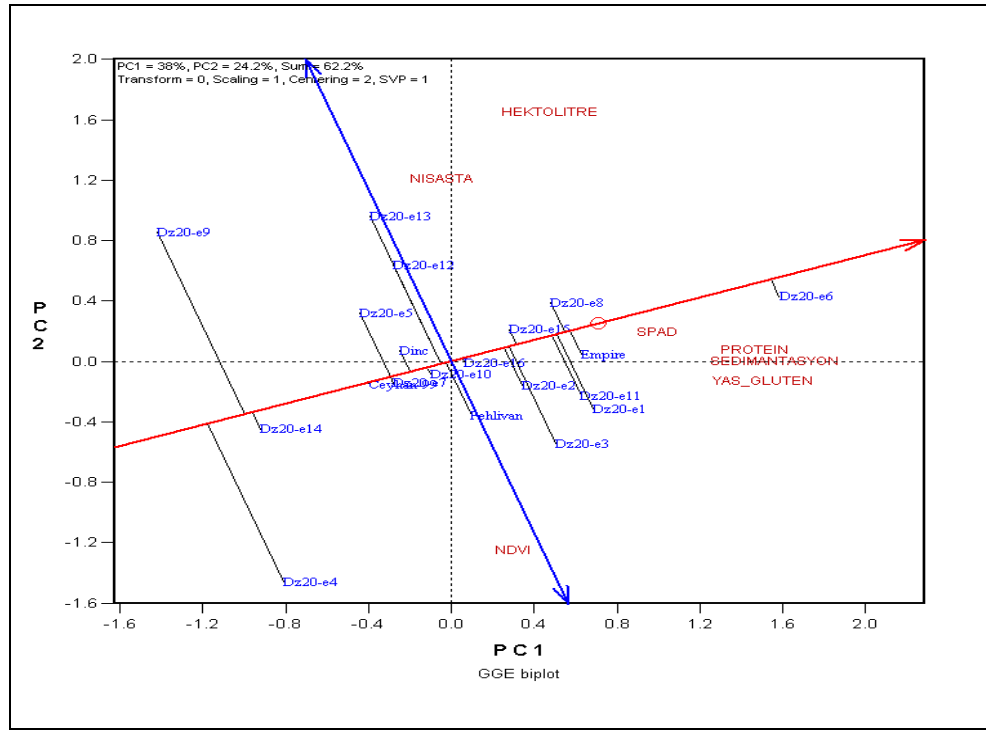


Şekil 2. Genotip ve özelliklerin “hangisi nerede ön plana çıktı (which-won-where)” GGE biplotunun çokgen modeli



Şekil 3. Scatter biplot yöntemi ile eş merkezli daireler içerisinde özellikler arasındaki ilişkilerin gösterilmesi

Özelliklere ait vektör uzunlukları, genotiplerin eş merkezli daireler içerisindeki konumları, genotip \* özellik ilişkisini ve özellikler arası ilişkileri gösteren Scatter biplot grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Özelliklere ait vektör uzunluklarının orjine olan uzaklığı incelenen özelliğin genotipler bazında stabilitesini vermektedir. Şekil 2’de de görüldüğü gibi nişasta, SPAD ve NDVI özellikleri diğer incelenen özelliklere kıyasla daha kısa vektör uzunluklarına sahip oldukları için daha stabildir. Vektör uzunlukları arasındaki açılar özelliklerin birbirleri ile olan ilişkilerini göstermektedir. İki vektör arasındaki açı daraldıkça özellikler arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu; geniş açuya sahip vektörler ise özellikler arasındaki ilişkinin zayıflığını göstermektedir. Vektörel olarak dar açuya sahip SPAD, protein, sedimantasyon ve yaş glüten özelliklerinin arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde vektörel olarak dar açuya sahip nişasta ve hektolitire özellikleri de kendi aralarında güçlü bir ilişkiye sahipken ters tarafta yer alan NDVI değeri bu iki özellik ile negatif korelasyon göstermektedir (Tablo 2). Aynı yöne ve aynı daire içerisinde yer alan genotipler birbirlerine yakın değerlere sahip olduğu söylenebilir [31].



Şekil 4. Ranking biplot yöntemi ile incelenen özellikler bakımından genotiplerin stabilitesi

İdeal genotip, hem yüksek ortalamaya hem de yüksek stabiliteye sahip olan genotiptir. Ranking biplot yöntemi, genotipleri çok sayıda özelliklerin ortalamaları ve stabiliteyi ile bir doğru üzerinde sıralar (Şekil 4). Ortalamalara ait x eksenini (performans çizgisi), çift eksenli orijinden, eksenin pozitif ucunu gösteren bir okla keser ve genotipleri performanslarına göre sıralar. Çift eksenli orijinden geçen stabilite eksenine ise, ortalamalara ait x eksenine diktir. Genotiplerin ortalama kapasiteleri, belirteçlerinin x eksenine izdüşümleri ile tahmin edilir. DZ20-E6, DZ20-E8 ve Empire genotipleri en yüksek ortalama değerlere sahipken, DZ20-E4, DZ20-E9 ve DZ20-E14 genotipleri ise incelenen özelliklere ait en düşük değere sahip genotiplerdir. Ceyhan-99, DZ20-E7, DZ20-E10, DZ20-E15 ve DZ20-E16 genotipleri stabil genotipler; DZ20-E9 ve DZ20-E4 genotipleri ise stabil olmayan genotipler olarak ön plana çıkmıştır. Benzer sonuçlar daha önce GGE Biplot'ta çalışma yapan araştırmacılar tarafından da ifade edilmiştir [32, 33].

Özellikler arası korelasyon ilişkisinde SPAD değeri ile protein ve sedimantasyon değerleri, NDVI ile sedimantasyon değerleri arasında pozitif yönlü ve önemli; NDVI ile hektolitreye değeri arasında negatif yönlü ancak önemli ilişkiler saptanmıştır (Tablo 2) Elde edilen korelasyon analizi sonuçları GGE Biplot analizi sonuçlarını destekler niteliktedir.

Tablo 2. Özellikler arası korelasyon ilişkisi

	NDVI	SPAD	Protein	Nişasta	Hektolitreye	Yaş Gluten
SPAD	0,05					
Protein	0,09	0,33*				
Nişasta	-0,04	0,05	-0,19			
Hektolitreye	-0,28*	-0,07	0,17	0,38**		
Yaş Gluten	0,04	0,18	0,52**	-0,13	0,08	
Sedimantasyon	0,26*	0,36**	0,66**	-0,01	0,1	0,44**

\* %5, \*\* %1 düzeyinde önemli

#### IV. SONUÇ

Araştırma neticesinde incelenen özellikler bakımından genotipler arasında istatistiksel farklılıklar olduğu ve hatların gerek fizyolojik özellikler bakımından gerekse incelenen kalite özellikleri bakımından geniş bir varyasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Fizyolojik ve kalite özellikleri bakımından DZ20-E6 genotipinin

standart çeşitlere ve diğer hatlara üstünlük sağladığı belirlenmiştir. SPAD değerinin protein, yaş gluten ve sedimantasyon ile ilişkili bulunması, kalite yönünden seleksiyon kriteri olabileceğini göstermektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] FAO. (2018). World Total Cereal Production. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [2] Türkiye istatistik kurumu. (2018). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>.
- [3] Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A., Bort, J., Nogués, S. & Araus, J. (2011). NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Res. Commun.* 39,147-159.
- [4] Mkhabela, M.S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., & Yang, Y. (2011). Crop yield forecasting on the Canadian prairies using MODIS NDVI data. *Agric. For. Meteorol.* 151, 385-393.
- [5] Bavec, F., & Bavec, M. (2001). Chlorophyll meter readings of winter wheat cultivars and grain yield prediction. *Commun. Soil Sci. Plant Anal. Res.*, 32, 2709-2719.
- [6] Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86, 623-645.
- [7] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I*, 309-317.
- [8] Osborne, B.G. (2006). Applications of near infrared spectroscopy in quality screening of early-generation material in cereal breeding programmes. *J. Near Infrared Spectrosc.* 14, 93-101.
- [9] Silva, C. F. L., Milach, S. C. K., Silva S. D. A., & Montero. C. R. (2008). Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess protein and lipid contents in *Avena sativa* L. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 8, 127- 133.
- [10] Peterson, R. G. (1994). *Agricultural Field Experiments Design and Analysis*. Marcel Dekker.Inc. 409 p. Corvallis. Oregon.
- [11] Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnins., Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
- [12] Kızılgöçü, F., Yıldırım, M., & Hossain, A. (2019). Evaluation of growth, yield, quality and physiological parameters of eleven Australian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown under the ecological condition of Diyarbakir, Turkey. *Int. J. Agric. Environ. Food Sci.*, 3(1), 34-40.
- [13] Crusiol, L. G. T., Carvalho, J. de F. C., Sibaldelli, R. N. R., Neiverth, W., Rio, A. do, Ferreira, L. C., Procópio, S. De O., Mertz-Henning, L. M., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., & Farias, J. R. B. (2017). NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars. *Precis. Agric.*, 18, 470.
- [14] Kızılgöçü, F., Akıncı, C., Albayrak, Ö., & Yıldırım, M. (2017). Tritikale hatlarında bazı fizyolojik parametrelerin verim ve kalite özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 337-344.
- [15] Kızılgöçü, F., & Yıldırım, M. (2019). Durum buğdayın başaklanma dönemine ait bazı fizyolojik ölçümlerin verim ve kalite özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 6(4), 777-785.
- [16] Yıldırım, M., Bahar, B., Yücel, C., & Genç, İ. (2009a). Cimmyt buğday verim denemesi setlerinde bitki sıcaklığı değişimleri. *Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi*, 19-22 Ekim, Hatay, 427-432.
- [17] Yıldırım, M., Akıncı, C., Koç, M., & Barutçular, C. (2009b). Bitki örtüsü serinliği ve klorofil miktarının makarnalık buğday ıslahında kullanım olanakları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3), 158-166.
- [18] Christen O. (2009). *Winterweizen, das Handbuch für Profis*, 383 s., DLG Verlag, Frankfurt, Almanya.
- [19] Gooding M. J., & Davies W. P. (1997). Wheat production and utilization, *CAB International*, Wallingford.
- [20] Mahla, R., Madan, S., Munjal, R., & Hasija, R. J. (2015). Drought stress induced changes in quality and yield parameters and their association in wheat genotypes. *Environment and Ecology*, 33(4), 1639-1643.
- [21] Mut, Z, Erbaş, K. Ö. D. & Akay, H. (2017). Bazı ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin tane Verimi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 85-95.
- [22] Schuler, S. F., Bacon, R. K. & Gbur, E. E. (1994). Kernel and spike character influence on test weight of soft red winter wheat. *Crop Sci.* 34, 1309-1313.

- [23] Mut, Z., Aydın, N., Bayramoğlu, N.O. & Özcan, H. (2007). Bazı ekmelik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin verim ve başlıca kalite özelliklerinin belirlenmesi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 193-201.
- [24] Ereku, O., Oncan, F., Ereku, A., Yava, İ., Engün, B. & Koca, Y. O. (2005). İleri ekmelik buğday hatlarında verim ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, 5-9 Eylül, Antalya, I, 111-116.
- [25] Egesel, C.Ö., Kahrıman, F., Tayyar, Ş. & Baytekin, H. (2009). Ekmelik buğdayda un kalite özellikleri ile dane veriminin karşılıklı etkileşimleri ve uygun çeşit seçimi. *Anadolu J. Agric. Sci.*, 24(2), 76-83.
- [26] Kızılgöçü, F. & Yıldırım, M., 2019. Durum buğdayın başaklanma dönemine ait bazı fizyolojik ölçümlerin verim ve kalite özellikleriyle ilişkilerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 777-785, 2019.
- [27] Aydoğan S., Göçmen Akçacık, A., Şahin, M., Önmez, H., Demir, B. & Yakışır, E. (2013). Ekmelik buğday çeşitlerinde fizikokimyasal ve reolojik özelliklerin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Araştırma Dergisi*, 22 (2), 74-85.
- [28] Yan, W. & Rajcan, I. (2002). Biplots analysis of the test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42, 11-20.
- [29] Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P.L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science* 47, 643-655.
- [30] Yan, W. (2014). *Crop variety trials: Data management and analysis*. John Wiley and Sons Inc., New York, 349.
- [31] Kendal, E. & Sener, O. (2015). Examination of genotype environment interactions by GGE biplot analysis in spring durum wheat, *Ind. J. of Genet. and Plant Breed*, 75(3), 341-348.
- [32] Kendal, E., Tekdal, S., Aktaş, H., Karaman, M., Berekatoğlu, K. & Doğan, H. (2014). Biplot analizi kullanılarak yazlık arpa genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 15(2), 95-103.
- [33] Solonechnyi, P., Vasko, N., Naumov A., Solonechnaya, O., Vazhenina, O., Bondareva, O. & Logvinenko, Y. (2015). GGE biplot analysis of genotype by environment interaction of spring barley varieties. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 431-436.
- [34] Bayhan, M., Özkan, R., Albayrak, Ö., Yıldırım, M. & Akıncı, C. (2019). Aşırı kurak sezonda ekmelik buğday genotiplerinin performanslarının test edilmesi. 2. *Uluslararası Mardin Artuklu Bilimsel Araştırmalar Kongresi*. 23-25 Ağustos, Mardin, 162-169.
- [35] Albayrak, Ö., Bayhan, M., Yıldırım, M. & Akıncı, C. (2020). Comparison of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines for yield in Diyarbakir conditions. *9th. International Conference on Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences*. 23-26 January, Marrakech, Morocco, 36-42.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Çok Kademeli Buhar Sıkıştırılmalı İdeal Soğutma Çevrimlerinde Farklı Soğutucu Akışkanlar Kullanarak Enerji ve Ekserji Analizi

## Energetic And Exergetic Analysis of a Multistage Vapor Compression Refrigeration System With Various Refrigerants

Alaattin Metin Kaya<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 17/11/2020*

*Revize / Revised: 01/02/2021*

*Kabul / Accepted: 03/02/2021*

### ÖZ

Çok kademeli buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimleri, düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmasının yanı sıra, sıcaklık farkının yüksek olduğu soğutma uygulamalarında da tercih edilmektedir. Son yıllarda çevresel faktörlerin daha fazla önem kazanması ile birlikte alternatif soğutucu akışkanlar kullanımı araştırılmaktadır. Soğutma çevrimlerinde enerji tasarrufunu araştırmanın ve sağlamanın yolu her ne kadar kompresör işini minimuma indirmek gibi görünse de, birim soğutma için gerekli minimum gücü verdiği için Performans Katsayısını (COP) optimize etme üzerinde çalışmak daha cazip gelmektedir. Bu çalışmada, iki kademeli buhar sıkıştırılmalı ideal bir soğutma çevriminde kullanılması durumunda farklı soğutucu akışkanların performansları parametrik olarak incelenerek mukayeseleri yapılmıştır. Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının değişimi ile her bir akışkan için sistemin ayrı ayrı COP değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin kompresör işi ve soğutma yüklerinin değişimleri de sunulmuştur. Sistemde en yüksek COP değeri, 6.593 ile soğutucu akışkan R600 kullanılması durumunda 5 °C buharlaşma sıcaklığında elde edilirken, en düşük değer 3.311 ile 50 °C yoğuşma sıcaklığında R227ea kullanılması durumunda elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler - Çok Kademeli Soğutma Sistemleri, Performans Katsayısı, Enerji, Ekserji**

### ABSTRACT

Multi-stage vapor compression refrigeration cycles are used in low temperature applications, as well as in refrigeration applications where temperature difference is high. In recent years, as environmental factors have gained more importance, the use of alternative refrigerants has been investigated. Although the way to research and achieve energy savings in refrigeration cycles seems to be minimizing compressor work, it is more attractive to work on optimizing the Coefficient of Performance (COP) as it gives the minimum power required for unit cooling. In this study, the performances of different refrigerants when used in an ideal two-stage vapor compression refrigeration cycle are analyzed parametrically and compared. Separate COP values of the system were calculated for each refrigerant by changing the evaporation and condensation temperatures. In addition, the compressor work and the changes of the cooling loads of the system are also presented. The highest COP value in the system was obtained at 5 °C evaporation temperature in case of using the refrigerant R600 with 6.593, while the lowest value was obtained as 3.311 when R227ea was used at 50 °C condensation temperature.

**Keywords - Multistage Refrigeration, Coefficient of Performance, Energy, Exergy**

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [alaattinkaya@uludag.edu.tr](mailto:alaattinkaya@uludag.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1940-8749>)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa, Türkiye.

## I. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı ve kullanımı günden güne artmakta ve daha da önemli hale gelmektedir. Enerji tasarrufu konusunda dikkat edilmesi gereken alanlardan birisi de soğutma sistemleridir. Soğutma sistemleri için mükemmel örneği, tümden tersinir olan Carnot Çevrimi oluşturmaktadır. Carnot çevriminde, çevrimin performans katsayısı (COP), kullanılan cihazlara ve akışkanlara bağlı kalmaksızın sadece sıcaklık limitlerine bağlıdır. Soğutma uygulamalarında hedef her zaman, Carnot çevriminin performans katsayısına ulaşmak olmaktadır. Bu amaçla bazı kabuller yapılarak Tersine Carnot Çevrimi, ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinde kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalarında ya da yüksek yoğunlaşma sıcaklıkları gerektiren durumlarda basit buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri, bazı dezavantajlara sahiptir. Yüksek sıkıştırma oranı; kompresör gücünün artması ve dolayısıyla yağlama problemlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Ayrıca kompresör gövdesinin aşırı ısınmasına neden olur ve pistondan akışkan kaçaklarına neden olur. Kompresör girişinde artan soğutucu akışkan hacmi; kompresörün hacimsel verimini düşürmektedir. Bu durum daha büyük kompresör kullanımını gerektirmektedir. Aksi takdirde soğutma etkisi azalacaktır. Yüksek kompresör çıkış sıcaklığı; ilave yük getirmekte [1] ve yağlama yağının yanmasına neden olmaktadır [2]. Çok kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri uygulanarak söz konusu bu soruna azaltılmaya çalışılmaktadır. Buharlaşma sıcaklığı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki farkın 40 K ve daha fazla olduğu uygulamalarda [3] soğutma işlemini iki veya daha fazla kademede gerçekleştirmek başvurulan yollardan birisidir. Böyle durumlarda, birbiri ile seri olarak çalışan iki veya daha fazla soğutma çevrimini kullanan ardışık soğutma sistemleri tercih edilmektedir. Ardışık soğutma sistemlerinde alt çevrimde ve üst çevrimde farklı akışkanlar kullanılarak avantaj sağlanabilmektedir. Tek tip akışkan kullanılan durumlarda ise, bir karışma odası veya buharlaşma odası kullanılarak çok kademeli soğutma sistemleri kullanılır [4].

Çok kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde sistemin ekonomisini etkileyen önemli faktörlerden birisi de ara kademe basıncıdır. Ara kademe basıncının hangi değerde olması gerektiği ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Kompresör işini en aza indireyecek şekilde seçilebildiği gibi, soğutucu akışkanın, faz değişimlerinde ideal gaz davranışını sergilemediğini nedeniyle bu şekilde hassas olarak belirlenemeyeceğini savunan araştırmacılar da mevcuttur [5]. Saleh vd. teorik olarak, dört değişkenli parametreleri, sistemin buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarını değiştirerek COP değerlerini en üst düzeye çıkarmak için çok kademeli bir buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin performansını araştırdı. Sistem modellemesinde Mühendislik Denklem Çözücü (EES) yazılımı kullanılmıştır ve maksimum % 1.14 hata ile yayınlanmış verilere göre doğrulanmıştır. R717, R22, R134a, R1234yf, R1234ze (E), R410A, R404A ve R407C soğutucu akışkanlarının incelendiği çalışma sonucunda, en yüksek COP değeri amonyak kullanılması durumunda (6.17) elde edilirken, minimum COP değeri R407C ile elde edilmiştir (4.95). Optimizasyon sonuçları ayrıca, R717'nin tüm soğutucu akışkanlarla karşılaştırıldığında en iyi seçenek olduğunu söylerken, R407C'nin kullanılması önerilmemiştir [6]. Liu vd. sabit kompresör çıkış basıncında ve en uygun soğutma sıcaklığı koşullarında beş farklı soğutma sistemi için iki kademeli soğutma çevriminin performans analizlerini yaptılar. Analizleri sonucunda, tek kısımlı vanası kullanılan iki kademeli soğutma sistemi en yüksek enerji tüketimine sahipken, iki kısımlı vanası kullanılan sistemin en iyi performansa sahip olduğunu buldular [7]. Voloshchuk, iki kademeli, buhar sıkıştırımlı bir sistemin termodinamik hesaplamalarını bilgisayar programı yazarak yapmış ve kullanılan bağıntıları ve hesaplama sonuçlarını paylaşmıştır [8]. Xuan, çok kademeli bir soğutma sisteminin analizlerini yaparak, termoelektrik malzemelerin de hesaba katılması gerektiği sonucuna varmıştır ve termoelektrik özelliklerin sıcaklık bağımsızlıkları açısından incelendiğinde, birçok kademeli termoelektrik soğutucunun en uygun ara kademe parametresinin elektriksel konfigürasyonundan bağımsız olduğunu bulmuşlardır [9]. Nikolaidis vd. soğutucu akışkan R22 kullanılan iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin performansı için, ekserji analizi yaptı ve buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarındaki değişimin, sistemin tersinmezlikleri açısından çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır [10]. Prasad, R12 soğutucu akışkanı için iki kademeli soğutma çevrimlerinde, en yüksek COP değerini verecek, en uygun ara kademe basıncını belirlediği çalışmada en uygun ara kademe basıncının, buharlaşma ve yoğunlaşma basınçlarının geometrik ortalaması olduğunu bulmuştur [11]. Zubair ve Khan [12], optimum ara kademe basıncının, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı sıcaklıklarının aritmetik ortalaması olan sıcaklığa karşılık gelen doyma basıncına çok yakın olduğunu bulmuşlardır. Zubair vd. R134a için en yüksek COP değerini verecek en uygun ara kademe basıncının, buharlaşma ve yoğunlaşma basınçlarının aritmetik ortalamasına yakın olduğunu göstermişlerdir [13]. Ratts ve Brown [14], iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için, entropi üretimi minimizasyon metodunu kullanarak en uygun ara kademe sıcaklığını R134a kullanılması durumunda belirlemişlerdir ve bu yöntemin, R502 ile kıyaslandığında, geometrik ortalama ile bulunan ara kademe sıcaklığından daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.



Soğutma çevrimlerinde enerji tasarrufunu araştırmanın ve sağlamanın yolu her ne kadar kompresör işini minimuma indirmek gibi görünse de, birim soğutma için gerekli minimum gücü verdiği için COP optimize etme üzerinde çalışmak daha cazip gelmektedir. COP değerini incelemek, sistemin enerji korunumu hakkında yeterli bilgiyi verir fakat sistem performansının nasıl, nerede ve ne kadar düştüğü de araştırılmak istendiğinde ekserji analizi de incelenmelidir [15]. Küresel ısınma ile mücadele yıllardır sürdürülen ve gittikçe artan tedbirler ile devam eden bir konudur. 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda imzalanan ilk uluslararası anlaşmadır. Birleşmiş Milletler üyesi bütün ülkelerin imzaladığı Montreal Protokolü'ne göre, ozon tükenme potansiyeli (ODP) olan kimyasalların kullanımını yasaklamakta ve azaltılmaktadır. Kigali Antlaşması'nda ise, hidroflorokarbonların (HFCs) tüketiminin ve üretiminin kademeli olarak azaltılması konusunda fikir birliğine varılmıştır. Paris Antlaşması'nda da benzer olarak gelişmiş ülkeler, iklim değişikliğine neden olan kimyasalların kullanımını azaltacaklarını beyan etmişlerdir. On yıllardır küresel ısınma ile mücadele sürmektedir. Küresel ısınma ile mücadele kapsamında, soğutma çevrimlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar önemli bir yer tutmaktadır. Soğutucu akışkanlardan bazıları yasaklanmakta, bir kısmı ise kademeli olarak kullanımdan kaldırılmaktadır. Soğutucu akışkanların ODP, Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) veya parlayıcılığı nedeni ile kaçak problemlerinin olmaması için ilave güvenlik tedbirleri gerektirdiklerinden ikame soğutucu akışkan bulma konusunda arayış yıllardan beri süregelmektedir ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır. Günümüzde de, hem alternatif soğutucu akışkan bulma çabası hem de enerji tasarrufu açısından, farklı şartlarda farklı akışkanların kullanılması daha fazla fayda sağlayacağından benzer çalışmalar devam etmektedir ve küresel ısınma konusunda hassasiyet sürdükçe en verimli soğutucu akışkan-sistem bulma çalışmaları da sürecektir. Bu çalışmada da, kaynama sıcaklıkları yakın soğutucu akışkanlardan (-10 °C ile -40 °C arasında) ODP değerleri sıfır ve sıfıra yakın R22, R1234yf, R227ea ve R600 soğutucu akışkanları kullanılarak, iki kademeli buhar sıkıştırımlı ideal bir soğutma çevriminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Sistem modellemesi Mühendislik Denklem Çözücüsü yazılımı kullanılarak tamamlandı. Modelleme için yazılan programın doğruluğunu test etmek amacıyla literatürdeki diğer çalışmalar, yazılan kod ile çalıştırılarak benzer sonuçlar elde edildiği gözlemlenerek hesaplamalarda kullanılmıştır. Buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi ile her bir akışkan için sistemin ayrı ayrı COP değerleri ve ekserji yıkımları hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin kompresör işi ve soğutma yüklerinin değişimleri de sunulmuştur.

## II. MATERYAL VE METOT

### A. Sistem

Şekil 1'de şematik görünümü sunulan iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde tek akışkan kullanılmaktadır. Akışkan önce alçak basınç kompresöründe, ardından buharlaşma odasında oluşan buhar ile birlikte yüksek basınç kompresöründe sıkıştırılarak yoğunlaştırıcıya gönderilir. Burada ısıyı dış ortama veren soğutucu akışkan doymuş sıvı olarak yoğunlaştırıcıya terk eder. Birinci genleşme vanasından geçen soğutucu akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşer. Ani basınç düşüşü esnasında meydana gelen buhar kısmı, alçak basınç kompresöründen gelen kızgın buhar halindeki buhar ile birleşerek tekrar yüksek basınç kompresörüne gönderilir. Birinci genleşme vanasından geçen soğutucu akışkanın sıvı kısmı ise ikinci genleşme vanasından geçerek doymuş sıvı-buhar karışımı fazında buharlaştırıcıya gönderilir. Buharlaştırıcıdan doymuş buhar fazında çıkan soğutucu akışkan, alçak basınç kompresörüne gönderilir ve kompresörde basıncı ve sıcaklığı artırılarak karışma odasına gönderilir.

Hesaplamalarda ara kademe basıncının bulmak için kullanılan eşitlik Denklem 1'de sunulmuştur.

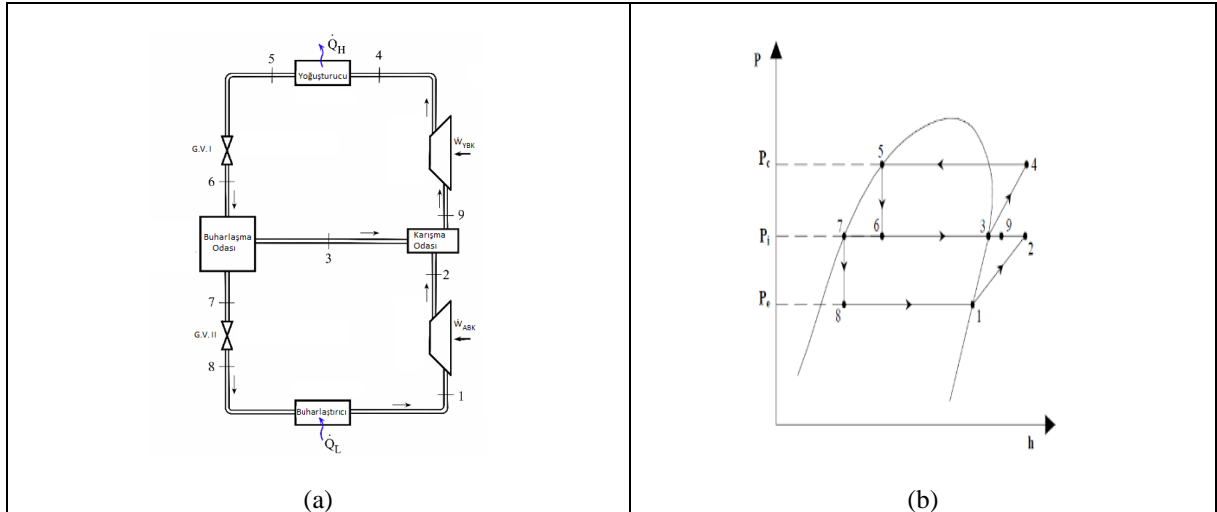
$$P_i = \sqrt{P_c \cdot P_e} \quad (1)$$

Burada ara kademe basıncı ( $P_i$ ), yoğunlaştırıcı basıncı ( $P_c$ ) ve buharlaştırıcı basıncının ( $P_e$ ) geometrik ortalaması şeklinde alınmıştır. Hesaplama koşulları Tablo 1'de sunulmaktadır.

**Tablo 1.** Analiz Koşulları

	Sembol	Değer	Birim
Yoğusturucu Sıcaklığı	$T_c$	37	°C
Buharlaştırıcı Sıcaklığı	$T_e$	-3	°C
Alçak Basınç Kompresörü Verimi	$\mu_{ABK}$	82	%
Yüksek Basınç Kompresörü Verimi	$\mu_{YBK}$	82	%
Ortam Basıncı	$P_a$	1	atm
Soğutulan Ortam Giriş – Çıkış Sıcaklığı	$T_a$	15-10	°C
Isı atılan Ortam Giriş – Çıkış Sıcaklığı	$T_w$	20-25	°C
Soğutucu Akışkan Debisi	$\dot{m}$	0,1	kg/s

Ara kademe sıcaklığı belirlenmesinde, önce yoğusturucu sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncı olan yoğusturucu basıncı belirlenir. Aynı şekilde buharlaştırıcı sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncı olan buharlaştırıcı basıncı belirlenir. Daha sonra geometrik ortalamaları ile ara kademe basıncı belirlenir. Ara kademe basıncına karşılık gelen doyma sıcaklığı olan ara kademe sıcaklığı belirlenir ve analizler yapılmaya başlanır.



**Şekil 1.** İki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ile T-s ve P-h diyagramları

Şekil 1’de hesaplamaları yapılan iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine ait şematik görünüm (a) ve P-h diyagramı (b) sunulmuştur.

### B. Soğutucu Akışkanlar

Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanlara ait özellikler Tablo 2’de sunulmaktadır. ODP değerleri sıfır olan üç farklı soğutucu akışkanla birlikte, 0.05 olan R22 soğutucu akışkanı da incelenmiştir.

**Tablo 2.** Soğutucu akışkanların özellikleri

Soğutucu Akışkan	Kimyasal Formül	Fiziksel Faktörler				Çevresel Faktörler		
		M g/mol	NBP °C	$T_c$ °C	$P_c$ MPa	ALT	ODP	GWP 100 yr
R1234yf	$C_3H_2F_4$	114	-29.4	94,7	3.382	0.03	0	4
R22	$CHClF_2$	86.5	-40.7	96.14	4.990	12	0.05	1.760
R227ea	$C_3HF_7$	170	-16.4	102.8	2.980	34.2	0	3.350
R600	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	58.1	-11.7	152.01	3.796	12	0	4

### C. Termodinamik Analiz

Çalışmada, sistemin kararlı olduğu, sistem borularında meydana gelen basınç kayıplarının ihmal edildiği, soğutucu akışkanların buharlaştırıcıda, yoğuşturucuda ve alçak basınç kompresörü girişinde doymuş halde olduğu kabuller yapılarak ısı kapasiteler belirlenmesi için aşağıdaki kütle ve enerji denge denklemleri kullanılmıştır. Tablo 3'te sistemin elemanlarında enerji ve ekserji hesaplamaları için kullanılan denklemler sunulmaktadır.

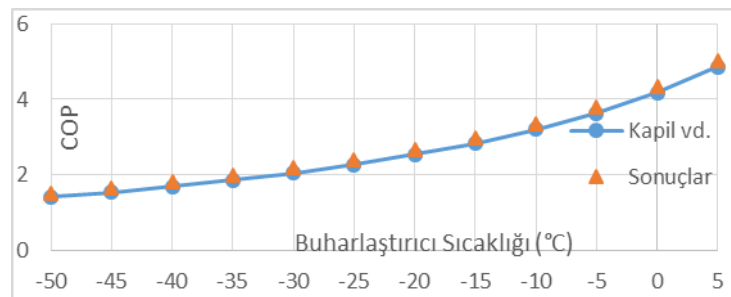
**Tablo 3.** Termodinamik analiz denklemleri

	Enerji	Ekserji
Buharlaştırıcı	$\dot{Q}_L = \dot{m}_8(h_1 - h_8)$	$\dot{E}x_8 + \dot{E}x_{12} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{dest,B}$
Yoğuşturucu	$\dot{Q}_H = \dot{m}_4(h_4 - h_5)$	$\dot{E}x_4 + \dot{E}x_{10} = \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{dest,Y}$
Yüksek Basınç Kompresör Gücü	$\dot{W}_{ABK} = \dot{m}_1(h_2 - h_1)$	$\dot{W}_{YBK} + \dot{E}x_9 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{dest,YBK}$
Alçak Basınç Kompresör Gücü	$\dot{W}_{YBK} = \dot{m}_9(h_4 - h_9)$	$\dot{W}_{ABK} + \dot{E}x_1 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{dest,ABK}$
Genleşme Vanası I:	$h_6 = h_5$	$\dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{dest,GV1}$
Genleşme Vanası II:	$h_7 = h_8$	$\dot{E}x_7 = \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{dest,GV2}$
Buharlaşma Odası	$\dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_3 h_3$	$\dot{E}x_6 = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{dest,BO}$
Karışma Odası:	$\dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3$	$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_2 = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_{dest,KO}$
Toplam Kompresör Gücü	$\dot{W}_{NET} = \dot{W}_{ABK} + \dot{W}_{YBK}$	
Performans Katsayısı	$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{NET}}$	

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. Doğrulama

Çalışma esnasında kullanılan ve hesaplamaların yapıldığı kodun doğruluğu literatürde mevcut olan bir çalışmanın sonuçlarının tekrarlanması yöntemi ile gösterilmiştir. Kapil vd. [16] tarafından yayınlanan çalışma sonuçları, yoğuşturucu sıcaklığı 45 °C'de sabit tutularak, % 80 kompresör verimi şartlarında soğutucu akışkan R600 için, buharlaştırıcı sıcaklığı -50 °C'den 5 °C'ye değiştirilerek tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile diğer çalışmanın sonuçları Şekil 2'de sunulmaktadır. Sonuçlarda, önemli farklılık görülmediği için, makul fark ile çalışma yapılmıştır.



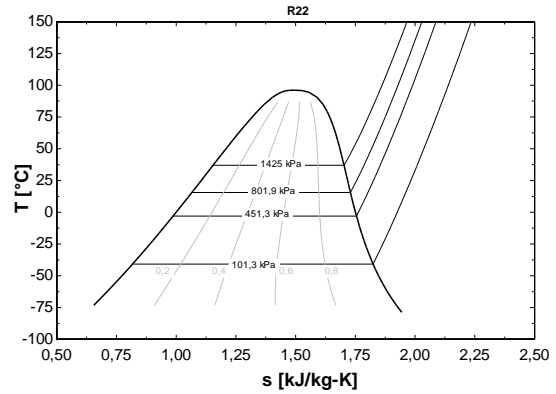
**Şekil 2.** Doğrulama çalışmaları

## B. Sonuçlar

Gerçekleştirilen analizlerin sonuçları ve soğutucu akışkanlara ait T-s grafikleri, aşağıda sunulmaktadır. Tablo 4'te R22'ye ait sonuçlar sunulmaktadır. Buharlaştırıcı basıncı 451,3 kPa, yoğuşturucu basıncı 1425 kPa ve ara kademe basıncı bu değerlerin geometrik ortalaması 801,9 kPa olarak hesaplanmıştır ve Tablo 4'te sunulmaktadır. T-s diyagramında basınç kademelerinin gösterimi Şekil 3'te görülmektedir.

**Tablo 4.** R22 Analiz Sonuçları

	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	x
1	451,3	-3	403,8	0,08582	1
2	801,9	28,64	420,8	0,08582	-
3	801,9	15,53	410,3	0,01418	1
4	1425	61,1	437,5	0,1	-
5	1425	37	245,8	0,1	0
6	801,9	15,53	245,8	0,1	0,1418
7	801,9	15,53	218,7	0,08582	0
8	451,3	-3	218,7	0,08582	0,107
9	801,9	26,74	419,3	0,1	-

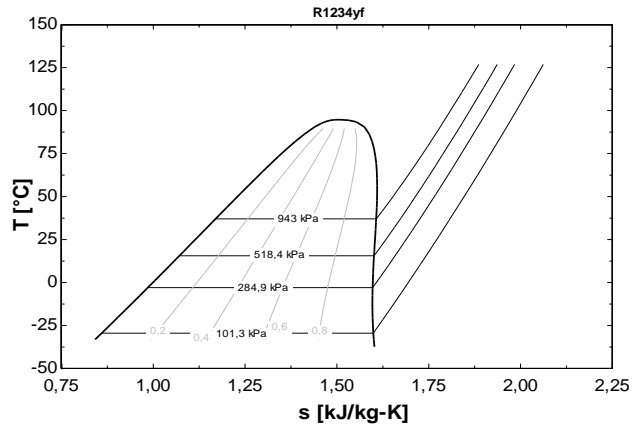


**Şekil 3.** R22 T-s diyagramı

Tablo 5'te R1234yf soğutucu akışkanına ait analiz sonuçları sunulmaktadır. Buharlaştırıcı basıncı 284,9 kPa, yoğuşturucu basıncı 943 kPa ve ara kademe basıncı da 518,4 kPa olarak hesaplanmıştır. T-s diyagramında basınç kademelerinin gösterimi Şekil 4'te görülmektedir.

**Tablo 5.** R1234yf Analiz Sonuçları

	P(kPa)	T (°C)	h(kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	x
1	284,9	-3	361,3	0,08058	1
2	518,4	16,73	374,4	0,08058	-
3	518,4	15,53	373,1	0,01942	1
4	943	38,43	387,2	0,1	-
5	943	37	249,4	0,1	0
6	518,4	15,53	249,4	0,1	0,1942
7	518,4	15,53	219,6	0,08058	0
8	284,9	-3	219,6	0,08058	0,1454
9	518,4	16,48	374,1	0,1	-

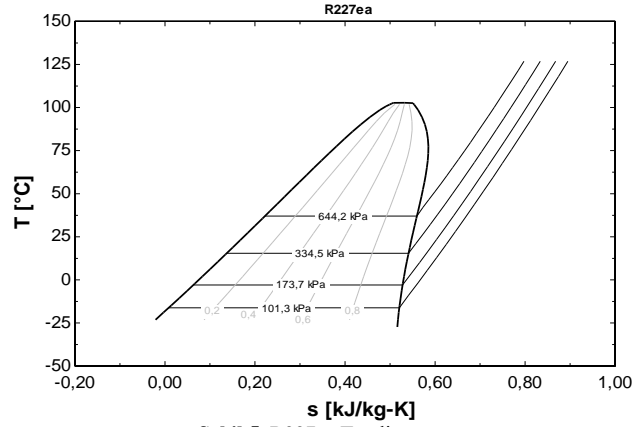


**Şekil 4.** R1234yf T-s diyagramı

Tablo 6'da R227ea soğutucu akışkanına ait analiz sonuçları sunulmaktadır. Buharlaştırıcı basıncı 173,7 kPa, yoğuşturucu basıncı 644,2 kPa ve ara kademe basıncı da 334,5 kPa olarak hesaplanmıştır. T-s diyagramında basınç kademelerinin gösterimi Şekil 5'te görülmektedir.

**Tablo 6.** R227ea Analiz Sonuçları

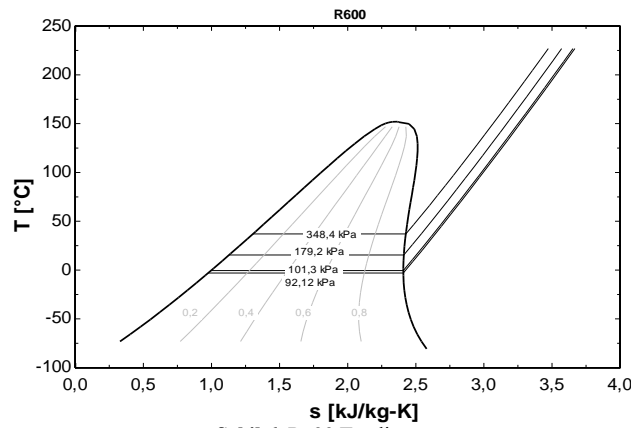
	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	x
1	173,7	-3	142,2	0,07807	1
2	334,5	15,45	152	0,07807	
3	334,5	15,45	154	0,02193	1
4	644,2	37	162,1	0,1	
5	644,2	37	63,01	0,1	0
6	334,5	15,45	63,01	0,1	0,2193
7	334,5	15,45	37,45	0,07807	0
8	173,7	-3	37,45	0,07807	0,1661
9	334,5	15,45	152,4	0,1	



**Şekil 5.** R227ea T-s diyagramı

**Tablo 7.** R600 Analiz Sonuçları

	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	x
1	92,12	-3	580,3	0,0858	1
2	179,2	18,03	611	0,0858	
3	179,2	15,46	606,5	0,0142	1
4	348,4	39,8	642,5	0,1	
5	348,4	37	289	0,1	0
6	179,2	15,46	289	0,1	0,14
7	179,2	15,46	236,4	0,0858	0
8	92,12	-3	236,4	0,0858	0,11
9	179,2	17,66	610,4	0,1	



**Şekil 6.** R600 T-s diyagramı

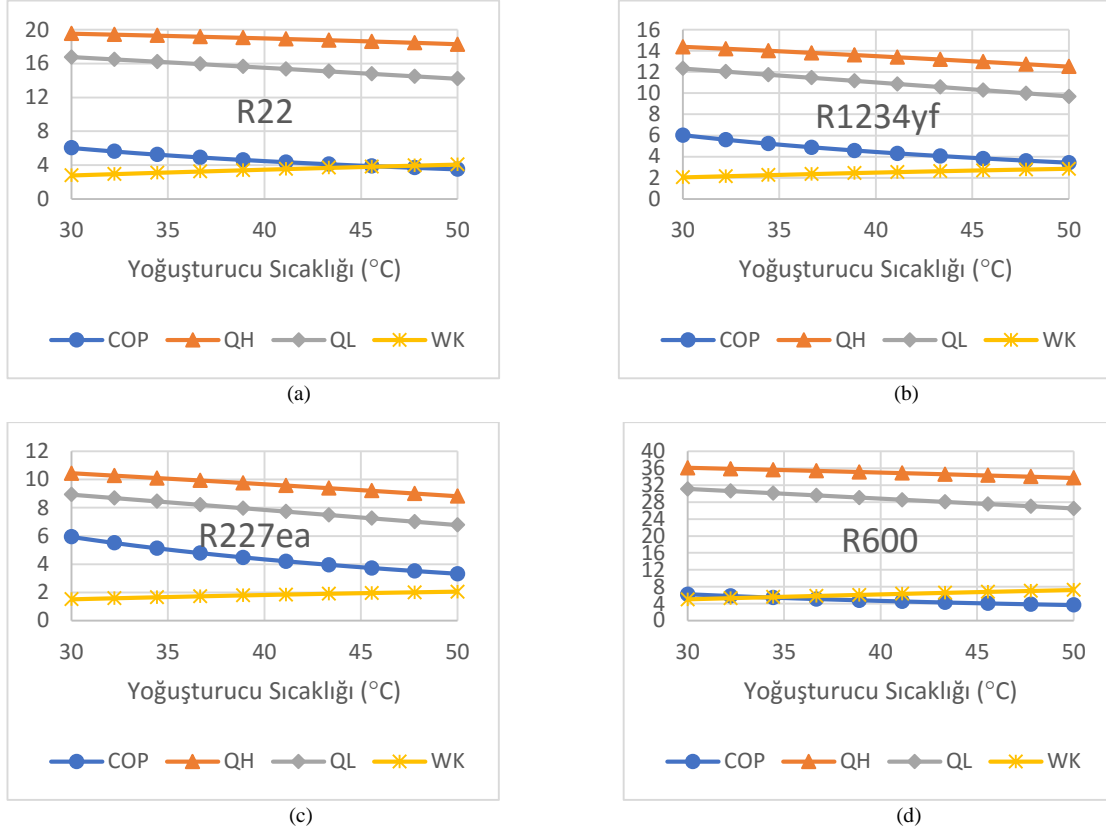
Tablo 7’de R600 soğutucu akışkanına ait analiz sonuçları sunulmaktadır. Buharlaştırıcı basıncı 92,12 kPa, yoğuşturucu basıncı 348,4 kPa ve ara kademe basıncı da 179,2 kPa olarak hesaplanmıştır. T-s diyagramında basınç kademelerinin gösterimi Şekil 6’da görülmektedir.

**Tablo 8.** Soğutucu Akışkanların Performans Analizleri

	COP	$\dot{Q}_H$	$\dot{Q}_L$	$\dot{W}_{NET}$
<b>R22</b>	4,861	19,16	15,89	3,269
<b>R1234yf</b>	4,83	13,78	11,42	2,364
<b>R227ea</b>	4,735	9,904	8,177	1,727
<b>R600</b>	5,04	35,35	29,5	5,853

Tablo 8’de soğutucu akışkanlara ait, mevcut analiz koşullarında hesaplanan değerler sunulmaktadır. Burada en düşük kompresör işinin R227ea soğutucu akışkanına ait olduğu, diğer taraftan en küçük soğutma yüküne sahip ve yine en düşük performans katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Soğutucu akışkanların soğutma yükleri değerleri arasında fark yüksek görünse de performans katsayıları arasındaki farkın çok büyük olmadığı görülmektedir.

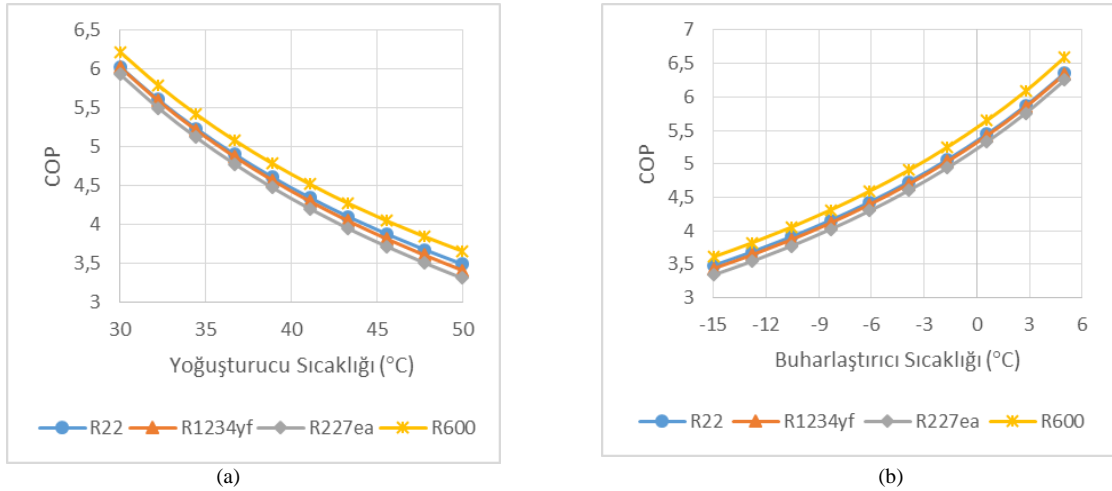
### C. Parametrik Enerji Analizi



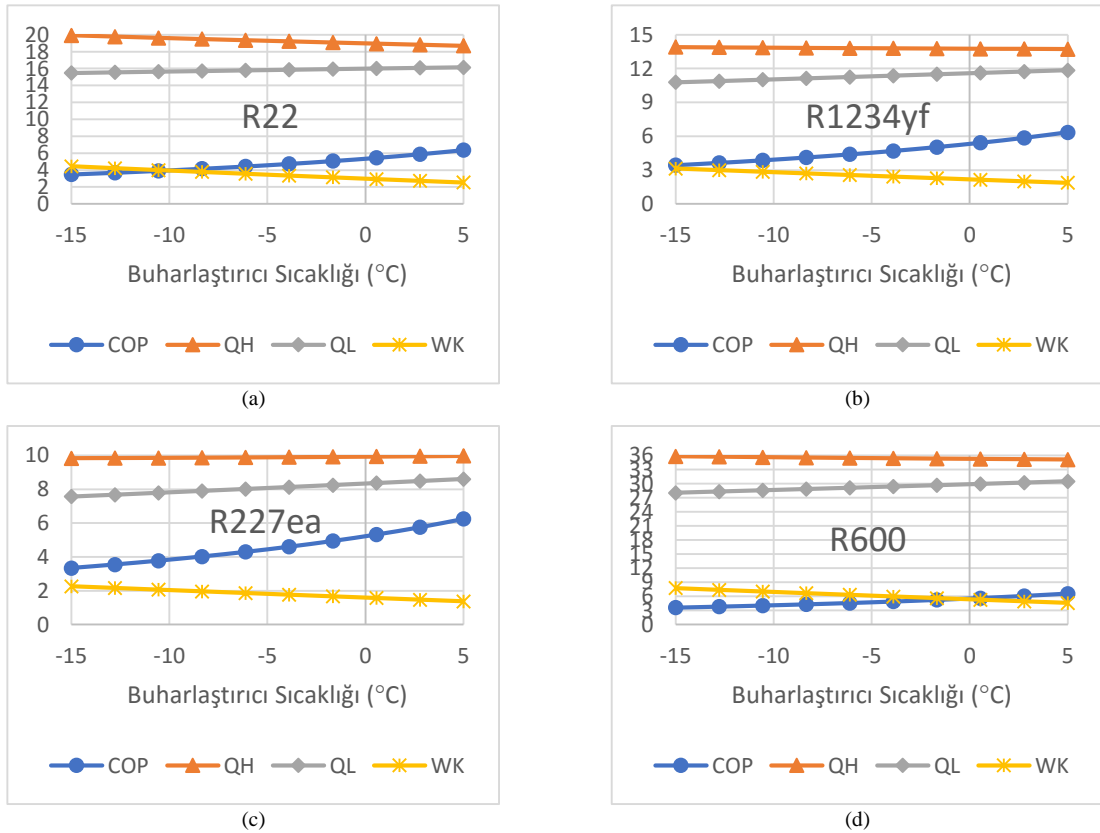
Şekil 7. Yoğuşturucu Sıcaklığı değişiminin sistem performansına etkisi

Yoğuşturucu sıcaklığının değişiminin sistemin performansına etkisini incelemek amacı ile değişik yoğuşturucu sıcaklıklarında analizler tamamlanmıştır. Sistemdeki bütün değerlerin Tablo 1’de sunulan değerlerde sabit tutulup sadece yoğuşturucu sıcaklığının 30 °C’den 50 °C’ye kadar değişimlerinde sistemin performans değişimi Şekil 7’de sunulmaktadır. Şekil 7’de R22 (a), R1234yf (b), R227ea (c) ve R600 (d) soğutucu akışkanları için, değişen yoğuşturucu sıcaklığının sistem üzerinde etkisi görülmektedir. Yoğuşturucu sıcaklığının artışı ile literatürde çoğu çalışmaya benzer olarak beklendiği gibi kompresör işi artmakta, dolayısıyla sistemin COP değeri azalmaktadır. Şekil 8 (a)’da artan yoğuşturucu sıcaklığı ile COP değerinin değişimi sunulmakla birlikte, Şekil 7’de söz konusu değişimin nedeni ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Şekil 7 (d)’de, en büyük kompresör işi R600 için 7,24 kW (R227ea’nın 3,5 katı, R1234yf’nin 2,5 katı, R22’nin 1,8 katı) olarak hesaplanması ile birlikte, sistemin COP değeri, diğer soğutucu akışkan kullanılan sistemlere göre en yüksek olarak çıkmaktadır. Şekil 8 (a)’da, en yüksek COP değerinin 6,222 ile R600 soğutucu akışkanının, en düşük yoğuşturucu sıcaklığında hesaplanmıştır. En düşük değer ise R227ea ile en yüksek yoğuşturucu sıcaklığında 3,311 olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında R22 ile R1234yf değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı, R227ea değerlerinin ise en düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Çevrim değerlerinin Tablo 1’deki değerler olarak alındığı ve -15 °C ile 5 °C arasında değiştirilen buharlaştırıcı sıcaklıklarında sistem performans değişimi Şekil 9’da sunulmaktadır. Burada, bütün soğutucu akışkanlar için, artan buharlaştırıcı sıcaklığı neticesinde kompresör işinin azalması ve dolayısıyla COP arttığı (literatürde geçerli olan durum) görülmektedir. Şekil 8 (a) incelendiğinde R600 soğutucu akışkanı, diğer soğutucu akışkanlara göre %3’ten daha yüksek COP farklı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, literatürdeki çalışmalarda araştırmacıların; azalan yoğuşturucu sıcaklığı ile ekserji yıkımının da azaldığı [17], buharlaştırıcı sıcaklığının tersine, artan yoğuşturucu sıcaklığı ile hem COP hem de ekserji verimlerinin azaldığı [18], ekserji kayıplarının arttığı [14], ekserji yıkımının azaldığı [16], ekserji veriminin azaldığı [19] ve ekserji kayıplarının arttığı sonuçları [20] ile uyum sağlamaktadır.

Şekil 8 (b)'de değişen buharlaştırıcı sıcaklıkları ile sistemin performans katsayısının değişimi sunulmaktadır. Yine beklendiği gibi buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile sistemin performans katsayısının arttığı görülmektedir. Bu sonuç, buharlaştırıcı sıcaklığının artışı ile ekserji verimi artacaktır [17], ekserji kayıpları azalacaktır [16], [19]–[21] ve ekserji kayıpları daha düşük çıkacaktır [22] sonuçları ile uyum halindedir. En yüksek performans katsayısı değeri 6,593 değeri ile R600 soğutucu akışkanının 5 °C sıcaklık değerinde elde edilirken, en düşük değeri ise 3,341 ile R227ea akışkanının -15 °C sıcaklığındaki değerinde hesaplanmıştır.



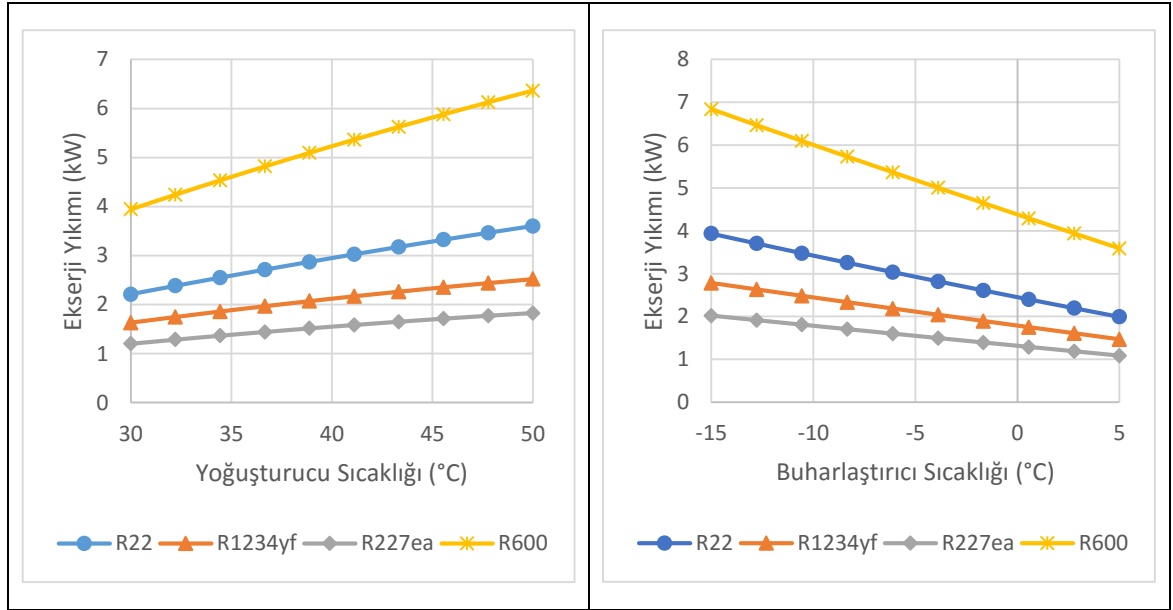
Şekil 8. Yoğuşturucu sıcaklığı- Performans Katsayısı değişimi (a) ve Buharlaştırıcı sıcaklığı - Performans Katsayısı değişimi (b)



Şekil 9. Buharlaştırıcı sıcaklığının sistem performansına etkisi

#### D. Parametrik Ekserji Analizi

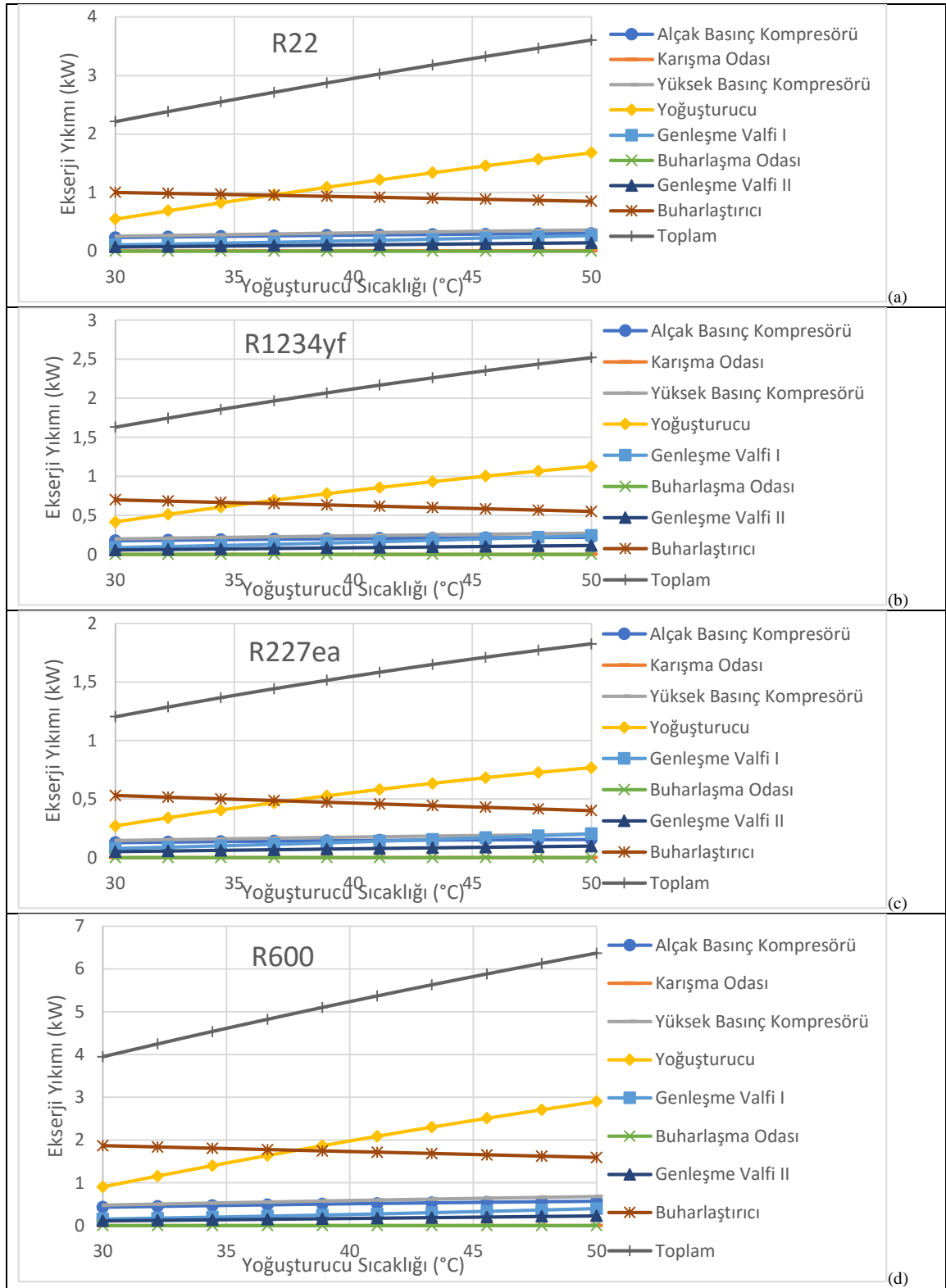
Sadece enerji analizine dayanan incelemeler her zaman yeterli olmayabilmektedir. Aynı buharlaştırıcı veya yoğuşturucu, farklı koşullarda çalıştırıldığında farklı verimler elde edilebilmektedir. Bu farklılıklar ikinci yasa analizi ile belirlenebilir [21]. Enerji sistemlerinde, sistem tasarımı, optimizasyonu ve performans değerlendirmelerinde güçlü bir araç olan [15] ekserji analizi, sistemdeki kayıpları ve ne oranda olduklarını belirlemek amacı ile irdelenmiştir. Sistemdeki ekserji yıkımının artan yoğuşturucu sıcaklığı ile ve azalan buharlaştırıcı sıcaklığı ile arttığı Şekil 10'da gösterilmektedir. Her iki durumda da en yüksek kaybın R600 soğutucu akışkanı kullanılması durumunda meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Yoğuşturucu ve Buharlaştırıcı sıcaklığının ekserji yıkımına etkisi

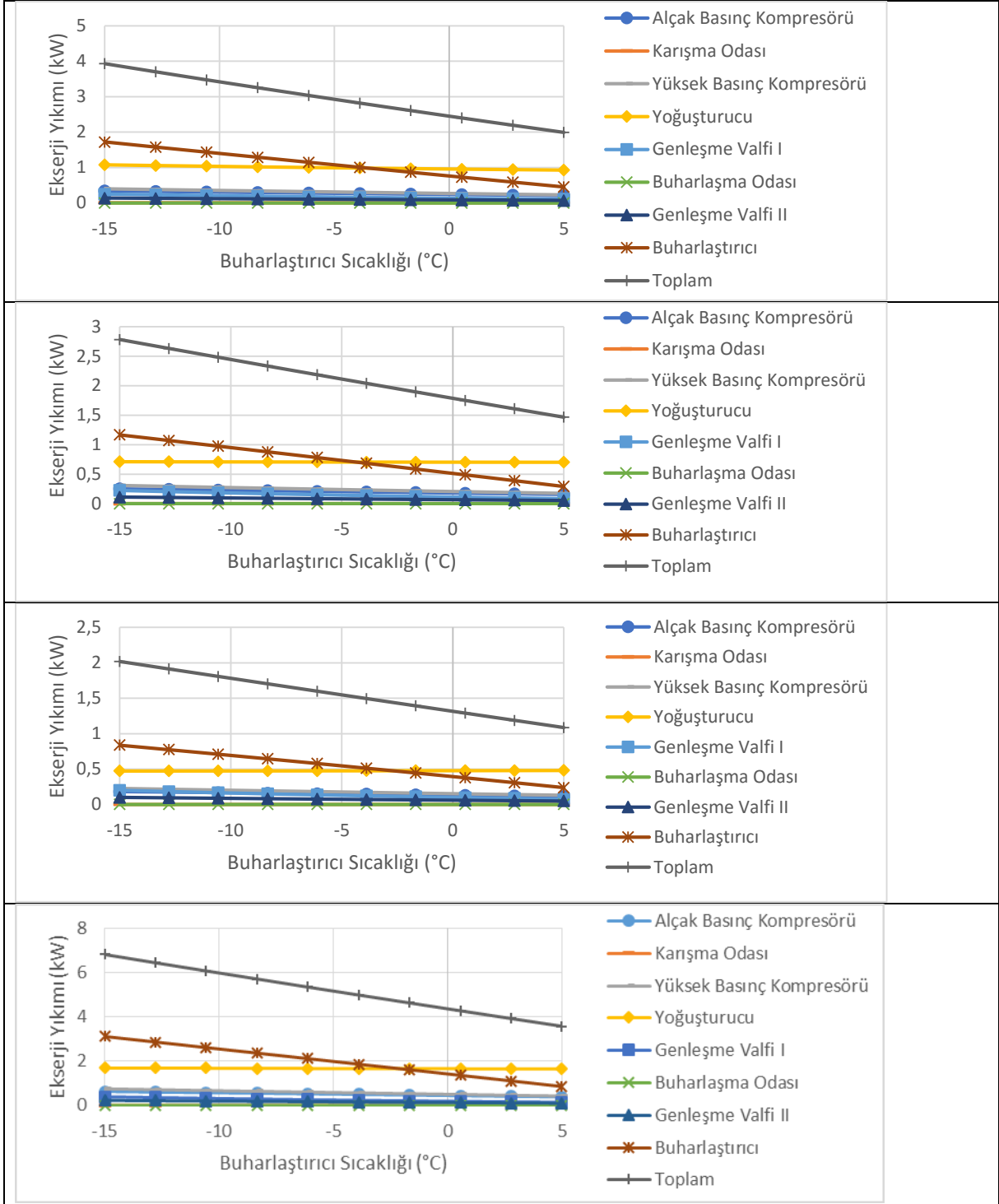
Şekil 11'de her bir soğutucu akışkan için, değiştirilen yoğuşturucu sıcaklıklarında, sistem elemanlarında meydana gelen ekserji kayıpları ve sistemin toplam ekserji kaybı sunulmaktadır. Sistemde en yüksek ekserji yıkımının R600 soğutucu akışkanı kullanılması durumunda meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bütün soğutucu akışkanlar için benzer bir eğilim gözlemlenmekle birlikte, yoğuşturucu sıcaklığı 37 °C'nin üzerine çıktığı durumlarda sistemin ekserjisini etkileyen en büyük faktörün buharlaştırıcı olduğu gözlemlenmektedir. -3 °C buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığının artırılması ile buharlaştırıcıda meydana gelen ekserji yıkımının önemli oranda arttığı ve buna bağlı olarak, sistemin ekserji yıkımının da önemli oranda arttığı görülmektedir. Yoğuşturucu sıcaklığı düşük olduğu durumlarda ise, sistemin ekserji yıkımında en önemli parametre olarak yoğuşturucu olduğu gözlemlenmektedir.





Şekil 11. Yoğuşturucu sıcaklığına bağlı olarak sistem elemanlarının ekserji yıkımları

Şekil 12’de, azalan buharlaştırıcı sıcaklığı ile sistemin ekserji yıkımının arttığı, 37 °C yoğuşturucu sıcaklığında yapılan hesaplamalarda, buharlaştırıcı sıcaklığı belirli bir sıcaklıktan daha düşük seviyelere indikçe (-3 °C), sistemin ekserji değişiminde en etkili parametrenin yine buharlaştırıcı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 12. Buharlaştırıcı sıcaklığına bağlı olarak sistem elemanlarının ekserji yıkımları

#### IV. SONUÇLAR

R22, R1234yf, R227ea ve R600 soğutucu akışkanlarının iki kademeli buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevriminde; yoğuşma sıcaklığı 37 °C, buharlaşma sıcaklığı -3 °C, % 82 kompresör verimleri ve 20 °C dış ortam sıcaklığı koşullarında kullanılmaları durumunda performans hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda, en yüksek performans katsayısına sahip soğutucu akışkanın hem farkı yoğuşma sıcaklıklarında hem de farklı buharlaşma sıcaklıklarında R600 olduğu gözlemlenmiştir. Yoğuşturucu sıcaklığı değişimlerinde R600, diğer soğutucu akışkanlardan en az % 3 daha yüksek COP değerlerine sahipken, farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında bu fark % 3,5 değerinden daha fazla olmaktadır. R22 ile R1234yf değerleri birbirine çok yakın çıkmakla beraber, artan yoğuşturucu sıcaklıklarında ve azalan buharlaştırıcı sıcaklıklarında R22 kullanılması durumunda COP değerleri biraz daha fazla olmaktadır. R227ea kullanılması durumunda ise en düşük COP değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, soğutucu akışkan olarak R600 kullanılması durumunda, sistemdeki en yüksek basınç 348 kPa olmaktadır. Diğer soğutucu akışkanların hepsinde daha yüksek basınçlar ortaya çıkmaktadır. Yüksek basınç, kompresör gövdesinin ısınmasına neden olmakla beraber, debi kaçaklarının artmasına dolayısı ile hacimsel debinin düşmesine neden olabilmektedir.

Enerji tasarrufunu araştırmanın ve sağlamanın yolu her ne kadar kompresör işini minimuma indirmek gibi görünse de, birim soğutma için gerekli minimum gücü verdiği için performans katsayısı üzerinde değerlendirme yapmak daha cazip gelmektedir. Fakat kısıtlamalardan dolayı kullanılacak kompresör kapasitesine göre seçim yapılabileceği gibi soğutma yüküne göre de farklı akışkanların kullanılabilmesi da analizlerden çıkan bir diğer sonuçtur. R600 soğutucu akışkanı kullanıldığında daha yüksek soğutma kapasitesine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Sistem elemanlarında ve bütün sistemde meydana gelen kayıpları ve bu kayıpların sistem performansına etkilerini incelemek amacı ile yapılan ekserji analizi hesaplamalarında, artan yoğuşturucu sıcaklığı ve azalan buharlaştırıcı sıcaklıkları ile birlikte sistemin ekserji yıkımının da arttığı gözlemlenmiştir. Parametrik olarak yapılan hesaplamalarda, -3 °C sabit buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yoğuşturucu sıcaklığının 37 °C'den yüksek olduğu durumlarda sistemin ekserji yıkımında en önemli faktörün buharlaştırıcı olduğu gözlemlenmektedir. Benzer olarak, 37 °C sabit yoğuşturucu sıcaklığında yapılan parametrik hesaplamalar neticesinde, buharlaştırıcı sıcaklığının -3 °C'den daha düşük olduğu durumlarda yine sistemin ekserji yıkımında en etkili faktörün buharlaştırıcı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, literatürde yer alan, iki kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin sıcaklık farkı 40 °C ve üzerinde olduğu durumlarda tercih edilmektedir bilgisi ile uyumaktadır. Verilen koşullarda, enerji tasarrufu açısından en uygun soğutucu akışkanın R600 olduğu sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Gupta, V. K. (1982). Optimization of multi stage refrigerating systems. Doktora Tezi, Chhatrapati Sahuji Maharaj, Kanpur University, Institute of Engineering & Technology.
- [2] Öcal, P. & Pıhtılı, K. (2014). Kademeli Soğutma Sistemlerinde Belirli Soğutucu Akışkanlar İçin İkinci Kanun Analizi. 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi, 23-25 Ekim 2014, Balıkesir.
- [3] Torrella, E., Llopis, R. & Cabello, R. (2009). Experimental evaluation of the inter-stage conditions of a two-stage refrigeration cycle using a compound compressor, *Int. J. Refrig.*, 32 (2), 307–315.
- [4] Çengel, Y. A. & Boles, M.A. (2002). Thermodynamics: An Engineering Approach, 4<sup>th</sup> ed. McGraw Hill, New York.
- [5] Ouadha, A., En-nacer, M., Adjlout, L. & Imine, O. (2005). Exergy analysis of a two-stage refrigeration cycle using two natural substitutes of HCFC22, *Int. J. Exergy*, 2 (1),14–30.
- [6] Baakeem, S. S., Orfi, J. & Alabdulkarem, A. (2018). Optimization of a multistage vapor-compression refrigeration system for various refrigerants, *Appl. Therm. Eng.*, 136, 84–96.
- [7] Liu, S., Lu, F., Dia, B., Nian, V., Li, H., Qi, H. & Li, J. (2019). Performance analysis of two-stage compression transcritical CO2 refrigeration system with R290 mechanical subcooling unit, *Energy*, 189, 116-143.
- [8] Voloshchuk. V., Thermodynamic Calculations of Two-Stage Vapor Compression Refrigeration Cycle with Flash Chamber and Separate Vapor.
- [9] Xuan, X. C. (2003) Optimum staging of multistage exo-reversible refrigeration systems, *Cryogenics*, 43 (2), 117–124.
- [10] Nikolaidis C. & Probert, D. (1998). Exergy-method analysis of a two-stage vapour-compression refrigeration-plants performance, *Appl. Energy*, 60 (4), 241–256.

- [11] Prasad, M. (1981). Optimum interstage pressure for two stage refrigeration system, *ASHRAE J.*, 23, 58–60.
- [12] Zubair, S. M. & Khan, S. H. (1995). On Optimum Interstage Pressure for Two-Stage and Mechanical-Subcooling Vapor-Compression Refrigeration Cycles, *J. Sol. Energy Eng.*, 117 (1), 64–66.
- [13] Zubair, S., Yaqub, M. & Khan, S. (1996). Second-law-based thermodynamic analysis of two-stage and mechanical-subcooling refrigeration cycles, *Int. J. Refrig. Int. Du Froid - INT J Refrig.*, 19, 506–516.
- [14] Ratts, E. B. & Steven Brown, J. (2000). A generalized analysis for cascading single fluid vapor compression refrigeration cycles using an entropy generation minimization method, *Int. J. Refrig.*, 23(5), 353–365.
- [15] Yumrutaş, R., Kunduz, M. & Kanoğlu, M. (2002). Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems, *Exergy, An Int. J.*, 2 (4), 266–272.
- [16] Chopra, K., Sahni, V. & Mishra, R. S. (2015). Energy, exergy and sustainability analysis of two-stage vapour compression refrigeration system, *J. Therm. Eng.*, 1 (4), 440–445.
- [17] Anand, S., Gupta, A. & Tyagi, S. K. (2013). Simulation studies of refrigeration cycles: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 17, 260–277.
- [18] Kabul, A., Kizilkan, Ö. & Yakut, A. K. (2008). Performance and exergetic analysis of vapor compression refrigeration system with an internal heat exchanger using a hydrocarbon, isobutane (R600a), *Int. J. Energy Res.*, 32 (9), 824–836.
- [19] Kalaiselvam, S. & Saravanan, R. (2009). Exergy analysis of scroll compressors working with r22 , r407c , and r417a as refrigerant for hvac system, *Thermal Science*, 13(1), 175–184.
- [20] Ahamed, J. U., Rahman, S. & Masjuki, H. H. (2010). Thermodynamic Performance Analysis of R-600 and R-600a as Refrigerant, *Eng. e-Transaction*, 5 (1), 11–18.
- [21] Ahamed, J. U., Saidur, R. & Masjuki, H. H. (2011). A review on exergy analysis of vapor compression refrigeration system, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15(3), 1593–1600.
- [22] Vincent, C. E. & Heun, M. K. (2006). Thermo-economic Analysis & Design of Domestic Refrigeration Systems.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Exact Solutions of the Benney–Luke Equation via $(1/G')$ -Expansion Method

### $(1/G')$ -Açılım Yöntemi ile Benney-Luke Denklemine Tam Çözümleri

Hülya Durur<sup>1\*</sup>, Asıf Yokuş<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 29/11/2020*

*Revize / Revised: 17/01/2021*

*Kabul / Accepted: 18/02/2021*

#### ABSTRACT

In this study, the  $(1/G')$ -expansion method was implemented to solve the Benney–Luke (BL) equation. Exact solutions of the BL equation were obtained via this method. The solutions obtained from the BL equation were in hyperbolic form. 3D, 2D and contour graphs of obtained solutions are presented. Results show that the  $(1/G')$ -expansion method provides an efficient and straightforward mathematical instrument for finding solutions of nonlinear evolution equations (NLEEs).

**Keywords-**  $(1/G')$ -Expansion Method, Benney–Luke Equation, Exact Solution, Traveling Wave Solution

#### ÖZ

Bu çalışmada, Benney-Luke (BL) denklemini çözmek için  $(1/G')$ -açılım yöntemi uygulanmıştır. BL denkleminin tam çözümleri bu yöntem ile elde edilmektedir. BL denkleminde elde edilen çözümler hiperbolik formdadır. Elde edilen çözümlerin 3 boyutlu, 2 boyutlu ve kontur grafikleri sunulmaktadır. Sonuçlar,  $(1/G')$ -açılım yönteminin doğrusal olmayan evrim denklemlerinin çözümlerini bulmak için etkili ve basit bir matematiksel enstrüman olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-**  $(1/G')$ -Açılım Yöntemi, Benney–Luke Denklemi, Tam Çözüm, Yürüyen Dalga Çözümü

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [hulyadurur@ardahan.edu.tr](mailto:hulyadurur@ardahan.edu.tr) (<http://orcid.org/0000-0002-9297-6873>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ardahan Üniversitesi, Ardahan, 75000, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [asfyokus@yahoo.com](mailto:asfyokus@yahoo.com) (<https://orcid.org/0000-0002-1460-8573>)

Matematik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 23100, Türkiye

## I. INTRODUCTION

NLEEs are usually used to describe the nonlinear phenomena of waves in plasma physics, quantum mechanics, solid-state physics, and variety branches of engineering. There are many methods for obtaining exact solutions of NLEEs have been employed successfully, such as Homotopy analysis and Homotopy-Pade methods [1],  $(G'/G)$ -expansion method [2], Variational iteration algorithm-I [3],  $(G'/G, 1/G)$ -expansion method [4], sumudu transform method [5],  $(1/G')$ -expansion method [6-9] the Clarkson–Kruskal direct method [10], the auto-Bäcklund transformation method [11], decomposition method [12], homogeneous balance method [13], the first integral method [14], residual power series method [15], collocation method [16], modified Kudryashov method [17], sine-Gordon expansion method [18,19], the improved Bernoulli sub-equation function method, [20] and so on [21-23,30-43].

Consider the BL equation of the form [24],

$$u_{tt} - u_{xx} + \alpha u_{xxx} - \beta u_{xxt} + u_t u_{xx} + 2u_x u_{xt} = 0, \quad (1)$$

the relation between the constants in Eq. (1) is  $\alpha - \beta = \sigma - \frac{1}{3}$  and where  $\alpha, \beta$  are positive numbers. Also, where  $\sigma$  is named the bond number, it is an officially valid approach to capture the effects of surface tension and gravitational force and to define bi-directional water wave propagation in the presence of surface tension [25].

The BL equation appears in a variety study, such as exact solutions of BL equation were found by using enhanced  $(G'/G)$ -expansion method [26] analytic solutions of BL equation were obtained with the help of improved  $(G'/G)$ -expansion method [27], the exact solution was obtained using homogeneous balance method for BL equation [28], the shock wave solution of the BL equation was obtained using ansatz method [29], exact solutions of the BL equation were found by using modified simple equation method [24].

In this study, we consider obtaining exact solutions for the BL equation using  $(1/G')$ -expansion method.

## II. MATERIAL AND METHOD

### A. Description of the Method

Consider a form of NLPDEs,

$$P\left(u, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \dots\right) = 0. \quad (2)$$

Let  $u = u(x, t) = u(\xi)$ ,  $\xi = x - vt$ ,  $v \neq 0$ , here  $v$  is the velocity of the wave and constant. We can transform it the following nODE for  $u(\xi)$ :

$$q(u, u', u'', \dots) = 0. \quad (3)$$

The solution of Eq. (3) is supposed that with the form

$$u(\xi) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{1}{G'}\right)^i, \quad (4)$$

where  $a_i$ ,  $i = (1, \dots, n)$  are scalars,  $G = G(\xi)$  ensures following second-order IODE

$$G'' + \lambda G' + \mu = 0, \quad (5)$$

here  $\mu$  and  $\lambda$  are constants to be determined,

$$\frac{1}{G'(\xi)} = \frac{1}{-\frac{\mu}{\lambda} + B \cosh[\xi\lambda] - B \sinh[\xi\lambda]} \quad (6)$$

The wanted derivatives of Eq. (4) were calculated and written into Eq. (3), obtaining a polynomial with  $(1/G')$ . Equating the coefficients of this polynomial to zero, an algebraic system of equations was created. The equation was solved via the package program and the default Eq. (3) was put in its place in the solution function. Eventually, the solutions of Eq. (2) were found.

### III. SOLUTIONS OF THE BL EQUATION

The traveling wave transmutation allows us to convert Eq. (1) into an ODE for  $u = u(\xi)$ ,

$$(v^2 - 1)u'' + (\alpha - \beta v^2)u^{iv} - 3vu'u'' = 0, \quad (7)$$

In Eq. (7), once the integration is taken according to  $\xi$  and the integration constants are equal to zero, we attain

$$(v^2 - 1)u' + (\alpha - \beta v^2)u''' - \frac{3}{2}v(u')^2 = 0. \quad (8)$$

In Eq. (8), we find  $n = 1$  from balancing term and in Eq. (4), the following situation is attain

$$u(\xi) = a_0 + a_1 \left( \frac{1}{G'} \right), \quad a_1 \neq 0. \quad (9)$$

By writing Eq. (9) into Eq. (8) and equating the coefficients of Eq. (1) to zero, systems of equations can be found in the form

$$\begin{aligned} \left( \frac{1}{G'[\xi]} \right)^1 &: -\lambda^2 a_1 + v^2 \lambda^2 a_1 + \alpha \lambda^4 a_1 - v^2 \beta \lambda^4 a_1 = 0, \\ \left( \frac{1}{G'[\xi]} \right)^2 &: -3\lambda \mu a_1 + 3v^2 \lambda \mu a_1 + 15\alpha \lambda^3 \mu a_1 - 15v^2 \beta \lambda^3 \mu a_1 - 3v \lambda^3 a_1^2 = 0, \\ \left( \frac{1}{G'[\xi]} \right)^3 &: -2\mu^2 a_1 + 2v^2 \mu^2 a_1 + 50\alpha \lambda^2 \mu^2 a_1 - 50v^2 \beta \lambda^2 \mu^2 a_1 - 12v \lambda^2 \mu a_1^2 = 0, \\ \left( \frac{1}{G'[\xi]} \right)^4 &: 60\alpha \lambda \mu^3 a_1 - 60v^2 \beta \lambda \mu^3 a_1 - 15v \lambda \mu^2 a_1^2 = 0, \\ \left( \frac{1}{G'[\xi]} \right)^5 &: 24\alpha \mu^4 a_1 - 24v^2 \beta \mu^4 a_1 - 6v \mu^3 a_1^2 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

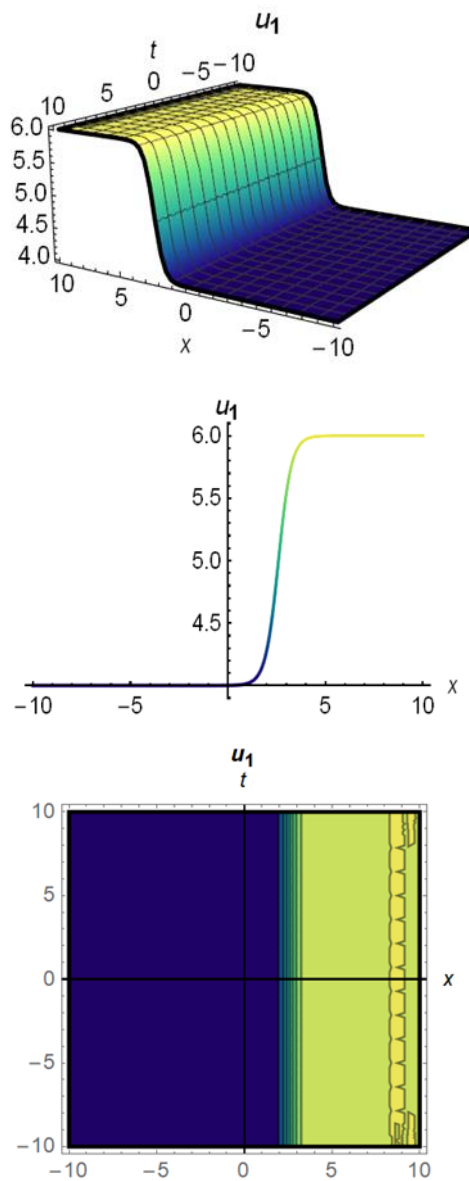
We can offer the following solutions using the system of Eq. (10) computer technology.

**Case1.**

$$a_1 = -\frac{4(-\mu + v^2\mu)}{v\lambda^2}, \quad \alpha = \frac{1 - v^2 + v^2\beta\lambda^2}{\lambda^2}, \quad (11)$$

by writing the values in Eq. (11) in Eq. (9), we get hyperbolic type solution of Eq. (1)

$$u_1(x, t) = -\frac{4(-\mu + v^2\mu)}{v\lambda^2 \left( -\frac{\mu}{\lambda} + B \cosh[(-tv + x)\lambda] - B \sinh[(-tv + x)\lambda] \right)} + a_0. \quad (12)$$



**Figure 1.** 3D, 2D and contour graphs for  $B = 0.6$ ,  $\mu = -0.3$ ,  $v = 2$ ,  $\lambda = 3$ ,  $a_0 = 4$ ,  $t = 1$  values of Eq. (12).

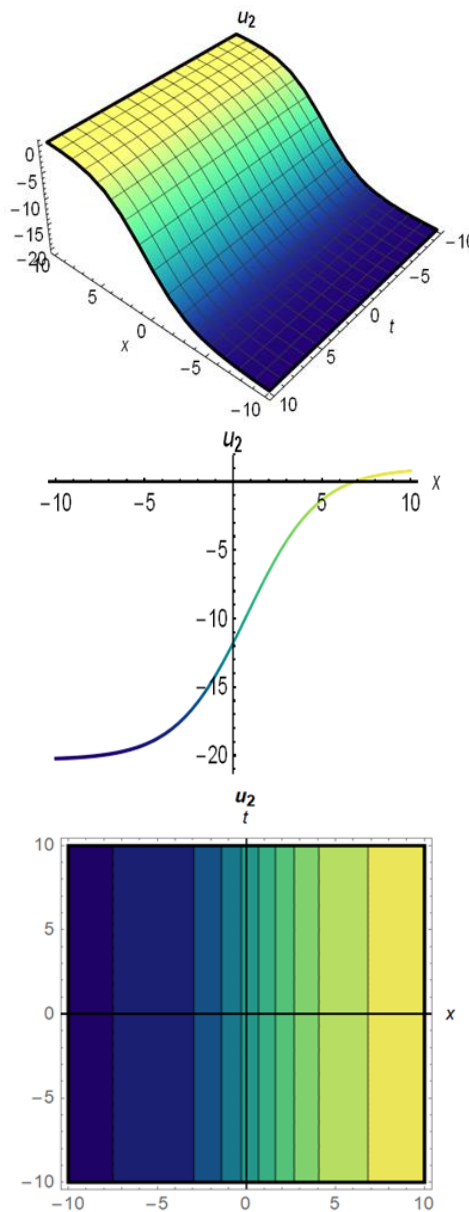


**Case2.**

$$a_1 = -\frac{4(-\alpha\mu + v^2\alpha\mu)}{v}, \quad \beta = \alpha, \quad \lambda = -\frac{1}{\sqrt{\alpha}}, \quad (13)$$

by writing the values in Eq. (13) in Eq. (9), we get hyperbolic type solution of Eq. (1)

$$u_2(x, t) = -\frac{4(-\alpha\mu + v^2\alpha\mu)}{v \left( \sqrt{\alpha}\mu + B \cosh \left[ \frac{-tv + x}{\sqrt{\alpha}} \right] + B \sinh \left[ \frac{-tv + x}{\sqrt{\alpha}} \right] \right)} + a_0. \quad (14)$$



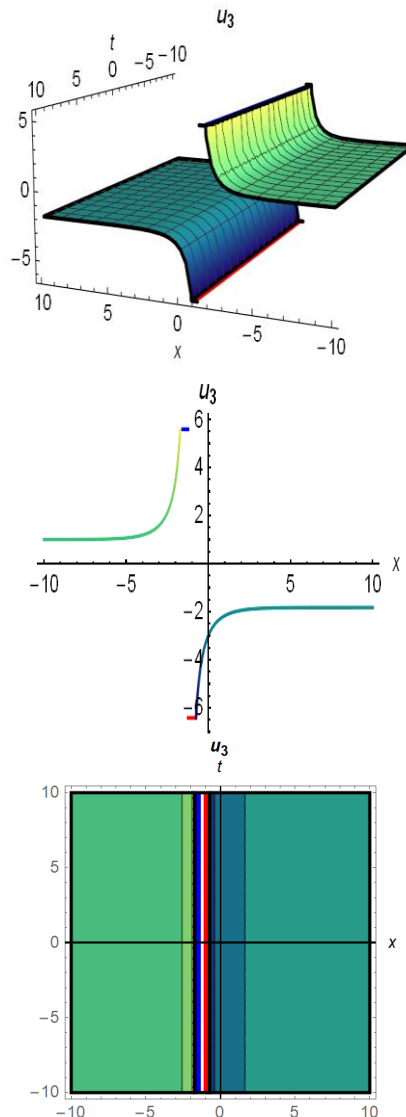
**Figure 2.** 3D, 2D and contour graphs for  $B = 0.6$ ,  $\mu = 0.1$ ,  $t = 1$ ,  $\lambda = 2$ ,  $\alpha = 4$ ,  $v = 3$ ,  $a_0 = 1$  values of Eq. (14).

**Case3.**

$$a_1 = \frac{4}{-1 + \alpha\lambda^2} \left( \frac{\alpha\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}\mu}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} - \frac{\beta\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}\mu}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} \right), \quad v = -\frac{\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}}, \quad (15)$$

by writing the values in Eq. (15) in Eq. (9), we get hyperbolic type solution of Eq. (1)

$$u_3(x, t) = \frac{4 \left( \frac{\alpha\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}\mu}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} - \frac{\beta\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}\mu}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} \right)}{(-1 + \alpha\lambda^2) \left( -\frac{\mu}{\lambda} + B \cosh \left[ \lambda \left( x + \frac{t\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} \right) \right] - B \sinh \left[ \lambda \left( x + \frac{t\sqrt{-1 + \alpha\lambda^2}}{\sqrt{-1 + \beta\lambda^2}} \right) \right] \right)} + a_0. \quad (16)$$



**Figure 3.** 3D, 2D and contour graphs for  $B = 0.6$ ,  $\mu = 0.5$ ,  $t = 1$ ,  $\lambda = 1$ ,  $\alpha = 3$ ,  $v = 2$ ,  $a_0 = 1$ ,  $\beta = 2$  values of Eq. (16).

The graphs presented in Figures 1-2-3 are hyperbolic type traveling wave solution and represent the standing wave at any time. It has been observed that the Eqs. (12-14-16) used in drawing these figures provide the BL equation.

#### IV. CONCLUSIONS

In this article, we achieved hyperbolic type exact solutions for the BL equation with the aim of  $(1/G')$ -expansion method. Literature review of some methods used to obtain analytical solutions for NPDEs in mathematics was conducted. Also, studies for certain equations in the literature were mentioned. In this study, the methodology of the  $(1/G')$ -expansion method, which we discussed in this study, was presented with its main lines. Then unlike the solutions presented in the literature, the solutions in Eq. (6) format were successfully obtained with this method. 3D, 2D and contour graphs of the solutions attained were drawn. A computer package program was utilized in the construction of these solutions. The BL equation, which plays a significant role in mathematical physics, was tested by the effectiveness and reliability of the method.

#### REFERENCES

- [1] Kheiri, H., Alipour, N. & Dehghani, R. (2011). Homotopy analysis and Homotopy-Pade methods for the modified Burgers-Korteweg-de-Vries and the Newell Whitehead equation. *Mathematical Sciences*, 5(1), 33-50.
- [2] Durur, H. (2020). Different Types Analytic Solutions of the (1+1)-Dimensional Resonant Nonlinear Schrödinger's Equation Using  $(G'/G)$ -Expansion Method. *Modern Physics Letters B*, 34(03), 2050036.
- [3] Ahmad H., Rafiq, M., Cesarano, C. & Durur, H. (2020). Variational Iteration Algorithm-I with an Auxiliary Parameter for Solving Boundary Value Problems. *Earthline Journal of Mathematical Sciences* (ISSN: 2581-8147), 3(2), 229-247.
- [4] Duran, S. (2020). Solitary Wave Solutions of the Coupled Konno-Oono Equation by using the Functional Variable Method and the Two Variables  $(G'/G, 1/G)$ -Expansion Method. *Adiyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 585-594.
- [5] Yavuz, M. & Özdemir, N. (2018). An Integral Transform Solution for Fractional Advection-Diffusion Problem. *Mathematical Studies and Applications*, 4-6, 442.
- [6] Yokus, A., Durur, H., Ahmad, H., Thounthong, P. & Zhang, Y. F. (2020). Construction of exact traveling wave solutions of the Bogoyavlenskii equation by  $(G'/G, 1/G)$ -expansion and  $(1/G')$ -expansion techniques. *Results in Physics*, 19, 103409.
- [7] Yokus, A., Durur, H. & Ahmad, H. (2020). Hyperbolic type solutions for the couple Boiti-Leon-Pempinelli system. *Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics*, 35(2), 523-531.
- [8] Durur, H. & Yokuş, A. (2020) Vakhnenko-Parkes Denkleminin Hiperbolik Tipte Yürüyen Dalga Çözümü. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 550-556.
- [9] Yokus, A., Durur, H., Ahmad, H. & Yao, S. W. (2020). Construction of Different Types Analytic Solutions for the Zhiber-Shabat Equation. *Mathematics*, 8(6), 908.
- [10] Su-Ping, Q. & Li-Xin, T. (2007). Modification of the Clarkson–Kruskal Direct Method for a Coupled System. *Chinese Physics Letters*, 24(10), 2720.
- [11] Yokuş, A. & Kaya, D. (2020). Comparison exact and numerical simulation of the traveling wave solution in nonlinear dynamics. *International Journal of Modern Physics B*, 34(29), 2050282.
- [12] Yavuz, M. & Özdemir, N. (2018). A Quantitative Approach to Fractional Option Pricing Problems with Decomposition Series. *Konuralp Journal of Mathematics*, 6(1), 102-109.
- [13] Rady, A. A., Osman, E. S. & Khalfallah, M. (2010). The Homogeneous Balance Method and Its Application to the Benjamin–Bona–Mahoney (BBM) Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 217(4), 1385-1390.
- [14] Darvishi, M., Arbabi, S., Najafi, M. & Wazwaz, A. (2016). Traveling Wave Solutions of a (2+1)-Dimensional Zakharov-Like Equation by the First Integral Method and the Tanh Method. *Optik*, 127(16), 6312-6321.
- [15] Durur, H., Şenol, M., Kurt, A. & Taşbozan, O. (2019). Approximate Solutions of the Time-Fractional Kadomtsev-Petviashvili Equation with Conformable Derivative. *Erzincan University Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 796-806.
- [16] Aziz, I. & Šarler, B. (2010). The Numerical Solution of Second-Order Boundary-Value Problems by Collocation Method with the Haar Wavelets. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(9-10), 1577-1590.

- [17] Kumar, D., Seadawy, A. R. & Joardar, A. K. (2018). Modified Kudryashov Method Via New Exact Solutions for Some Conformable Fractional Differential Equations Arising in Mathematical Biology. *Chinese journal of physics*, 56(1), 75-85.
- [18] Baskonus, H. M., Bulut, H. & Sulaiman, T. A. (2019). New Complex Hyperbolic Structures to the Lonngren-Wave Equation by Using Sine-Gordon Expansion Method. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 4(1), 129-138.
- [19] Eskitaşçıoğlu, E. İ., Aktaş, M. B. & Baskonus, H. M. (2019). New Complex and Hyperbolic Forms for Ablowitz–Kaup–Newell–Segur Wave Equation with Fourth Order. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 4(1), 105-112.
- [20] Dusunceli, F., Celik, E., Askin, M. & Bulut, H. (2020). New Exact Solutions for the Doubly Dispersive Equation Using the Improved Bernoulli Sub-Equation Function Method. *Indian Journal of Physics*, 1-6.
- [21] Kaya, D., Yokuş, A. & Demiroğlu, U. (2020). Comparison of Exact and Numerical Solutions for the Sharma–Tasso–Olver Equation. In *Numerical Solutions of Realistic Nonlinear Phenomena*, 53-65.
- [22] Durur, H., Kurt, A. & Tasbozan, O. (2020). New Travelling Wave Solutions for KdV6 Equation Using Sub Equation Method. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 5(1), 455-460.
- [23] Durur, H., Tasbozan, O. & Kurt, A. (2020). New Analytical Solutions of Conformable Time Fractional Bad and Good Modified Boussinesq Equations. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 5(1), 447-454.
- [24] Akter, J. & Akbar, M. A. (2015). Exact Solutions to the Benney–Luke Equation and the Phi-4 Equations by Using Modified Simple Equation Method. *Results in Physics*, 5, 125-130.
- [25] Quintero, J. R. & Grajales, J. C. M. (2008). Instability of Solitary Waves for a Generalized Benney–Luke Equation. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications*, 68(10), 3009-3033.
- [26] Islam, S. R., Khan, K. & Woadud, K. A. A. (2018). Analytical Studies on the Benney–Luke Equation in Mathematical Physics. *Waves in Random and Complex Media*, 28(2), 300-309.
- [27] Islam, Z., Hossain, M. M. & Sheikh, M. A. N. (2017). Exact Traveling Wave Solutions to Benney-Luke Equation. *GANIT: Journal of Bangladesh Mathematical Society*, 37, 1-14.
- [28] Ibrahim, I. A., Taha, W. M. & Noorani, M. S. M. (2019). Homogenous Balance Method for Solving Exact Solutions of the Nonlinear Benny-Luke Equation and Vakhnenko-Parkes Equation. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 31(s4), 52-56.
- [29] Triki, H., Yildirim, A., Hayat, T., Aldossary, O. M. & Biswas, A. (2012). Shock wave solution of Benney-Luke equation. *Romanian Journal of Physics*, 57(7-8), 1029-1034.
- [30] Yavuz, M. & Sene, N. (2020). Approximate solutions of the model describing fluid flow using generalized p-laplace transform method and heat balance integral method. *Axioms*, 9(4), 123.
- [31] Kumar, D., Paul, G. C., Biswas, T., Seadawy, A. R., Baowali, R., Kamal, M. & Rezazadeh, H. (2020). Optical solutions to the Kundu-Mukherjee-Naskar equation: mathematical and graphical analysis with oblique wave propagation. *Physica Scripta*, 96(2), 025218.
- [32] Yavuz, M. (2020). European option pricing models described by fractional operators with classical and generalized Mittag-Leffler kernels. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*.
- [33] Gao, W., Rezazadeh, H., Pinar, Z., Baskonus, H. M., Sarwar, S. & Yel, G. (2020). Novel explicit solutions for the nonlinear Zoomeron equation by using newly extended direct algebraic technique. *Optical and Quantum Electronics*, 52(1), 1-13.
- [34] Yavuz, M. & Abdeljawad, T. (2020). Nonlinear regularized long-wave models with a new integral transformation applied to the fractional derivative with power and Mittag-Leffler kernel. *Advances in Difference Equations*, 2020(1), 1-18.
- [35] Modanli, M. (2019). On the numerical solution for third order fractional partial differential equation by difference scheme method. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 9(3), 1-5.
- [36] Yokus, A. & Yavuz, M. (2018). Novel comparison of numerical and analytical methods for fractional Burger–Fisher equation. *Discrete & Continuous Dynamical Systems-S*.
- [37] Haq, F., Aziz, I. & Islam, S. U. (2010). A Haar wavelets based numerical method for eight-order boundary problems. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 6, 25-31.
- [38] Çelik, N., Seadawy, A. R., Özkan, Y. S. & Yaşar, E. (2021). A model of solitary waves in a nonlinear elastic circular rod: Abundant different type exact solutions and conservation laws. *Chaos, Solitons & Fractals*, 143, 110486.

- [39] Yavuz, M. & Yokus, A. (2020). Analytical and numerical approaches to nerve impulse model of fractional-order. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 36(6), 1348-1368.
- [40] Uddin, M. F., Hafez, M. G., Hammouch, Z., Rezazadeh, H. & Baleanu, D. (2021). Traveling wave with beta derivative spatial-temporal evolution for describing the nonlinear directional couplers with metamaterials via two distinct methods. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1055-1065.
- [41] Modanli, M., Abdulazeez, S. T. & Husien, A. M. (2020). A residual power series method for solving pseudo hyperbolic partial differential equations with nonlocal conditions. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*.
- [42] Özkan, Y. S., Seadawy, A. R. & Yaşar, E. (2020). On the optical solitons and local conservation laws of Chen–Lee–Liu dynamical wave equation. *Optik*, 165392.
- [43] Duran, S. (2021). Breaking theory of solitary waves for the Riemann wave equation in fluid dynamics. *International Journal of Modern Physics B*, 2150130.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Fe Elementinin Kristal ve Camı Faza Dönüşümünün Hidrostatik Basınç Altında İncelenmesi: Moleküler Dinamik Benzetim Çalışması

### The Investigations Under the Hydrostatic Pressure of the Crystal and Glass Phase Transformation Temperatures of the Fe Element: A Molecular Dynamic Simulations Study

Sefa Kazanç<sup>1</sup>, Canan Aksu Canbay<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 02/12/2020*

*Revize / Revised: 02/02/2021*

*Kabul / Accepted: 19/02/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada moleküler dinamik benzetim yöntemi ile 4000 atomdan oluşan sıvı Fe model sistemi 0 GPa, 5 GPa, 7 GPa basınç değerleri altında  $1 \times 10^{12}$  K/s ve  $1 \times 10^{13}$  K/s soğutma hızları ile soğutularak kristal ve camı geçiş sıcaklıklarının yapı içerisinde oluşturdukları farklı birim hücreli atomik kümelenmeler belirlenmeye çalışıldı. Atomlar arası etkileşmelerin hesaplanmasında çok cisim etkileşmelerini temel alan Gömülmüş Atom Metodu kullanıldı. Basınç artışının, sıvı fazdan soğutulan Fe deki kristal ve amorf yapıların oluşumuna ve bu yapılara geçiş sıcaklıkları üzerinde etkili olduğu görüldü. Kristal ve amorf faza geçiş ( $T_g$ ) sıcaklıklarının belirlenmesi için birim atom başına bağlanma enerjisi ve Wendt-Abraham parametresinden yararlanıldı. Ayrıca sıvı fazdan katılaşma esnasında Fe model sistemde oluşan farklı birim hücre yapılarının yüzdesi Ackland-Jones analiz yöntemi kullanılarak belirlendi.

*Anahtar Kelimeler- Kristal ve Camı Geçiş Sıcaklığı, Moleküler Dinamik Benzetimi, Gömülmüş Atom Metodu, Hızlı Soğutma*

#### ABSTRACT

In this study, the liquid Fe model system, which consists of 4000 atoms with molecular dynamic simulation method, is cooled under 0 GPa, 5 GPa, 7 GPa pressure values with  $1 \times 10^{12}$  K / s and  $1 \times 10^{13}$  K / s cooling rates, and the different unit cell atomic structure formed by crystal and glass transition temperatures in the structure. clusters were tried to be determined. The Embedded Atom Method, which is based on many body interactions, was used in the calculation of interactions between atoms. It was seen that the pressure increase had an effect on the formation of crystal and amorphous structures in Fe cooled from the liquid phase and the transition temperatures to these structures. Binding energy per unit atom and the Wendt-Abraham parameter were used to determine the crystal and amorphous phase transition ( $T_g$ ) temperatures. In addition, the percentage of different unit cell structures formed in the Fe model system during solidification from the liquid phase was determined using the Ackland-Jones analysis method.

*Keywords- Crystal and Glass Transition Temperature, Molecular Dynamics Simulation, Embedded Atom Method, Rapid Cooling*

<sup>1</sup>İletişim: [skazanc@firat.edu.tr](mailto:skazanc@firat.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-8896-8571>)

Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [caksu@firat.edu.tr](mailto:caksu@firat.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5151-4576>)

Fizik Bölümü, Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Elazığ, Türkiye

## I. GİRİŞ

Sıcaklık ve basınç maddelerin fazları, termodinamik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili önemli iki faktördür. Bir malzemenin sıvı fazdan farklı hızlarda soğutulması onun farklı yapılarda olmasında önemli bir rol oynar. Metal erime sıcaklığından düşük sıcaklık bölgesine soğutulduğunda, soğutma hızına bağlı olarak ya kristal ya da amorf yapıda olabilir [1-4]. Eğer sıvı fazdan soğutma hızı kritik soğutma hızından yeteri kadar büyük ( $10^6$ - $10^{12}$  K/s) ise kristal fazın homojen çekirdeklenmesi önlenemez ve yarı kararlı amorf yapı oluşur [5, 6]. 1960 yılında Duwez ve arkadaşları sıvı Au<sub>75</sub>Si<sub>25</sub> alaşımını hızlıca soğutarak ilk camsı metali ürettikleri [7]. Aşınma, yüksek korozyon dayanımları, sertlik ve üstün manyetiklik gibi özelliklerinden dolayı metalik camsılar ilgi çekmektedirler [8, 9]. Deneysel olarak metalik camsıların üretimi için damlacık soğutma ve piston örs yöntemi [10], üfleme yöntemi [11], levitasyon ergitme ve döküm [12], öğütme [13], mekanik alaşımlama [14], laser ve elektron ile bombardıman [15] gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda camsı dönüşümün doğasının belirlenmesi oldukça zor bir işittir.

Fe'in krsitografik yapısı sıcaklığa bağlı olarak farklı yapılar göstermektedir. Fe için soğutma esnasında meydana gelen fcc yapıdan bcc yapıya katı-katı faz dönüşümü (martensitik faz dönüşümü) oldukça önemlidir [16]. Malzemelerin makroskobik ve mikroskobik özellikleri üzerinde faz geçişlerinin önemli bir etkisi vardır. Fe'in belirlenen faz bölgesinde tutulması ısıtma veya soğutma işlemleri ile sağlanmakta ve istenilen özellikler belirli sınırlar içinde kalmaktadır [17-20]. Fe'in faz diyagramının karmaşık bir yapıya sahip olması manyetik özelliklerinden dolayıdır ve iletim elektronlarını ve dolayısıyla bağlanma özelliklerini etkilemektedir [21, 22]. Bununla birlikte benzetim yöntemleri Fe elementinin modellenmesi ve faz dönüşümlerinin belirlenmesinde MD benzetim yöntemi etkili bir şekilde kullanılmaktadır [23-25]. Son yıllarda Fe'in modellenmesi için birçok yeni potansiyel fonksiyonu geliştirilmiştir [26-30].

Moleküler Dinamik (MD) benzetim yöntemleri atomik ölçekte sıvı fazdan kristal ve amorf yapıların oluşumunun incelenmesinde kullanılan önemli yöntemlerdendir. MD benzetim yöntemi N parçacıktan oluşan atomik sistemin Lagrange fonksiyonundan elde edilen hareket denklemlerinin uygun bir sayısal algoritma ile çözülerek faz uzayındaki yörüngelerinin belirlenmesini amaçlar [31, 32]. Modellenen sistemden gerçeğe en yakın benzetim sonuçlarının elde edilmesinde ana faktör atomlararası etkileşmelerin belirlenmesi için seçilen potansiyel enerji fonksiyonudur. Literatürde farklı metal ve alaşım sistemlerinin modellenmesi için kullanılan çok sayıda potansiyel enerji fonksiyonu bulunmaktadır. Daw ve Baskes [33] tarafından geliştirilen ve çok cisim etkileşmelerini içeren Gömülmüş Atom Metodu MD benzetimlerinde tek atomlu ve alaşım sistemlerinin modellenmesinde en çok kullanılan potansiyel fonksiyonudur. Bu potansiyel fonksiyonunun Vother-Chen [34], Finnis-Sinclair [35] ve Sutton-Chen [36] tarafından ikili etkileşme, gömme fonksiyonu ve yük yoğunluğunun farklı şekilde ifade edilmesi sonucu geliştirilmiş farklı yapıları bulunmaktadır. İlk prensip metotları (first principles) kuantum etkileşmeleri içerdiğinden incelenen sistemin gerçeğe daha yakın olarak modellenmesine imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte bu yöntem düşük parçacık sayısı ve çok sayıda işlemci içeren sistemler gerektirmektedir.

Bu çalışmada moleküler dinamik benzetim yöntemi kullanılarak 4000 atomdan oluşan sıvı Fe model sistemi 0, 5 GPa ve 7 GPa basınç değerleri altında farklı soğutma hızları ile soğutulmuş kristal ve camsı geçiş sıcaklıkları ve bu geçişler esnasındaki yapısal değişimler incelendi. Çalışmalarda LAMMPS açık kaynak kodlu moleküler dinamik benzetim programı kullanıldı. Soğutma hızının model yapının kristal veya amorf faza geçişinde etkili olduğu ve uygulanan basıncın dönüşüm sıcaklıklarını değiştirdiği belirlenmiştir. Kristal faza geçiş sıcaklığı kohesif enerjideki süreksizlikten, camsı geçiş sıcaklığı Wendt-Abraham parametresinden belirlenmiştir. Soğutma işlemi sonucu meydana gelen yapısal geçişlerin belirlenmesinde radyal dağılım fonksiyonu ve Ackland-Jones analiz yöntemi kullanılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

N atomdan meydana gelen parçacıklar topluluğunun hareket denklemlerini elde etmek için kullanılan Lagrange fonksiyonu;

$$L_{PR}(r^N, \dot{r}^N, h, \dot{h}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i (\dot{s}_i^t G \dot{s}_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N \phi(|h s_{ij}|) + \frac{1}{2} M \text{Tr}(\dot{h}^t \dot{h}) - P_{ext} V \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $s_i$ ,  $i$  parçacığının koordinatını,  $h$  matrisi MD hücre eksenlerini,  $G$  metrik tensörü,  $m_i$ ,  $i$  parçacığının kütlelerini,  $P_{ext}$  dış basıncı ve  $V$ , MD hücre hacmini ifade etmektedir.  $M$  ise MD hücresinin

kütlesini temsil eden keyfi bir sabittir. Lagrange fonksiyonundan parçacıklar ve MD hücre hacmi için elde edilen hareket denklemleri aşağıdaki şekildedir.

$$\ddot{\mathbf{s}}_i = -\frac{1}{m_i} \mathbf{F}_i - \mathbf{G}^{-1} \dot{\mathbf{G}} \dot{\mathbf{s}}_i \quad (2)$$

$$\dot{\mathbf{h}} = \mathbf{M}^{-1} (\mathbf{\Pi} - \mathbf{I} P_{ext}) \quad (3)$$

burada  $\sigma = V (\mathbf{h}^t)^{-1}$  olarak verilmekte ve mikroskobik zor tensörü  $\mathbf{\Pi}$  aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [37, 38].

$$\mathbf{\Pi} = V^{-1} \left[ \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_i - \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N \frac{F_{ij}}{r_{ij}} \mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_i \right] \quad (4)$$

Bu çalışmada büyük ölçekli atomic/moleküler kitlesel paralel simülatör (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator-LAMMPS) açık kaynak kodlu moleküler dinamik benzetim yöntemi kullanıldı [39]. Başlangıç konumları olarak 4000 Fe atomu fcc örgü noktalarına yerleştirildi. Parçacık sayısının, basıncın ve sıcaklığın sabit tutulduğu NPT istatistiksel topluluğu kullanılarak Fe atomlarının ilk hızları Maxwell-Boltzman hız dağılımına uygun olacak şekilde rasgele belirlendi. Periyodik sınır şartları MD hesaplama hücresinin [100], [010] ve [001] doğrultuları boyunca uygulandı. Verlet Algoritmasının hız yapısı hareket denklemlerinin sayısal çözümü için kullanıldı. Potansiyel etkileşmesinin kesilim mesafesi olan cut-off değeri  $2a_{Fe}$  olarak seçildi. MD zaman adımı hesaplamalarda 1 fs olarak alındı.

#### A. Potansiyel Enerji Fonksiyonu

Modelleme çalışmalarında atomlararası etkileşmeleri veren potansiyel enerji fonksiyonları malzemelerin özelliklerini gerçeğe en yakın olarak belirlemede oldukça önemlidir. Gömülmüş Atom Metodunda (GAM)  $N$  atom içeren bir hesaplama hücresinde sistemin toplam enerji ifadesi [40, 41];

$$E_T = \frac{1}{2} \sum_{i,j}^N \phi(r_{ij}) + \sum_i^N F(\bar{\rho}_i) \quad (5)$$

şeklinde verilmektedir. İkili etkileşme fonksiyonu atomlar arası itici etkileşmeleri ve gömme enerjisi fonksiyonu da çekici etkileşmeleri ifade etmektedir. Farklı sistemleri modellemek için GAM'ın farklı türleri literatürde bulunmaktadır [40, 41]. Birçok potansiyel fonksiyonu Fe elementin modelleyebilmek için geliştirilmiştir [42-44]. Bununla birlikte Fe elementinin bütün özelliklerini modelleyebilecek bir potansiyel fonksiyonu yoktur. Bu çalışmada Fe elementi için Ackland ve arkadaşları tarafından geliştirilen GAM potansiyeli ve deneysel verilere yeniden fit edilmesinden elde edilen parametreleri kullanıldı [44].

Maddelerin fazlarını belirlemek için birçok analiz yöntemi bulunmaktadır [45-47]. En çok kullanılan analiz tekniklerinden biri Radyal Dağılım Fonksiyonu (RDF) dur. Seçilen bir  $i$  atomundan bir  $r$  uzaklığında  $\Delta r$  küre kabuğunda bulunan atomların sayısı  $n(r)$  olmak üzere  $g(r)$  radyal dağılım fonksiyonu;

$$g(r) = \left\langle \frac{V}{N^2} \frac{\sum_i n_i(r)}{4\pi r^2 \Delta r} \right\rangle \quad (6)$$

şeklinde verilir [48].

fcc, hcp, bcc gibi sıkı paket yapıların MD hücresi içerisinde tespit edilmesi benzetim çalışmalarında önemli problemlerden biridir. Katı fazdaki yapıların belirlenmesi için birçok sayısal analiz metodu geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin amacı her bir parçacığa bir yapısal tür atamaktır. Ayrıca bu yöntemler yerel bir yapıyı idealleştirilmiş bir yapıyla eşleştirerek ne kadar yakın olduklarını belirlemeye çalışır. Merkez simetri parametre analizi (centrosymmetry parametre analysis), bağ-yönelim analizi (bond-order analysis), genel yakın komşu analizi (common neighbor analysis), bağ açısı analizi (bond-angle analysis), Voronoi analizi, Honeycutt-Andersen metodu gibi MD benzetim çalışmalarında kullanılan yapı karakterizasyon yöntemleri vardır. Ackland-Jones (A-J) analiz yöntemi de bunlardan birisidir. Bu yöntem her bir atomu çevreleyen yerel komşuluğun açısal dağılımına odaklanır. Bu çalışmada MD hücresi içerisinde var olan bu birim hücrelerin yapı içerisinde dağılım yüzdeleri Ackland-Jones analiz yöntemi [47] kullanılarak belirlenmeye çalışıldı.



### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Fe model sisteminin sıvı fazdan 0, 5 GPa ve 7 GPa basınç değerleri altında,  $1 \times 10^{13}$  K/s ve  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızları ile soğutulması sonucu meydana gelen kristal ve camsı faz geçişleri incelendi. Fe atomlarının başlangıç konumları olarak fcc örgü noktaları seçildi. 4000 atomdan meydana gelen model MD hücresi 300 K sıcaklık değerinde  $1 \times 10^5$  integrasyon adımı dengeletildi. İlk 10000 adım için sıcaklık, kohesif enerji ve hacim değişimi Şekil 1 de görülmektedir. İlk 1000 MD adımında verilen niceliklerde bir artış meydana gelmektedir. 2800. adıma kadar niceliklerde herhangi bir değişim gözlenmemekte ve model sistem başlangıç yapısı olan fcc yapıda kararlı kalmaktadır. Model sistemin fcc yapıda olduğu Şekil 2 de 1000, 2000 ve 2800. integrasyon adımlarında elde edilen RDF eğrilerinden açıkça görülmektedir. 2800. integrasyon adımında verilen niceliklerde yeniden bir değişim görülmekte, sıcaklık değerinde bir artış buna karşılık, kohesif enerji ( $E_c$ ) ve hacim değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bu değişim sonucunda sabit sıcaklıkta fcc yapıdaki model sistemin daha kararlı olan düşük enerjili bcc faza dönüştüğü Şekil 2 de 3000. adımda elde edilen radyal dağılım fonksiyonundan da görülmektedir. Nicelikler 4400. MD integrasyon adımında tekrar dengeye ulaşmakta ve böylece kararlı bcc denge fazı elde edilmiş olmaktadır. Şekil 2 de 10000. adımda elde edilen RDF eğrisinden de bu durum açıkça görülmektedir. Deneysel olarak 300 K sıcaklıkta Fe in bcc birim hücreli  $\alpha$  fazında olduğu bilinmektedir [49]. fcc örgü noktalarına yerleştirilen Fe atomlarından oluşan model MD hücresinin aynı sıcaklık değerinde iterasyonun başlangıcından kısa bir süre sonra bcc birim hücreli yapıya dönüşmesi atomlararası etkileşimleri belirlemede kullanılan potansiyel enerji fonksiyonunun Fe sistemini gerçeğe yakın bir şekilde modelleyebileceğini göstermektedir.

Erime sıcaklığını belirlemek amacıyla model Fe sisteminin sıcaklık değeri 300 K den 2200 K e 100 K aralıklarla artırıldı. Her sıcaklık değerinde  $5 \times 10^4$  integrasyon adımı beklenilerek sistemin dengeye ulaşması sağlandı. Erime sıcaklığının daha hassas belirlenmesi amacı ile 1700 K den sonra sıcaklık artışı 50 K aralıklarla gerçekleştirildi. Sıcaklığa karşı kohesif enerjinin ( $E_c$ ) değişimi Şekil 3 de verilmiştir. Model sistemin sıcaklığı 1850 K e ulaştığında enerjide bir süresizlik meydana geldiği açıkça görülmektedir. Kohesif enerjide meydana gelen bu süresizlik yapının sıvı faza geçişinin bir göstergesidir [50]. Benzetim çalışmamızdan sistemin erime sıcaklığı  $1875 \pm 25$  K olarak tespit edilmiştir. Fe elementinin erime sıcaklığı deneysel olarak 1809 K değerindedir [19]. Buradan elde ettiğimiz erime sıcaklık değerinin deneysel değerlerle uyum içerisinde olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte erime sıcaklığından önce kohesif enerjide iki farklı sıcaklık değerinde küçükle olsa değişimler gözlenmektedir. Enerjideki bu artış yapısal bir faz dönüşümüne işaret etmektedir. 1200 K de model sistemde bcc  $\rightarrow$  fcc ve 1750 K de ise fcc  $\rightarrow$  bcc katı-katı faz dönüşümünün meydana geldiği söylenebilir [51].

Model Fe sistemi 0, 5 ve 7 GPa basınç değerleri altında 2200 K den 300 K e  $1 \times 10^{13}$  K/s soğutma hızı ile soğutuldu. Soğutma işlemi esnasında meydana gelen yapısal değişimleri belirlemek için Şekil 4(a-c) de verilen RDF eğrilerinden yararlanıldı. 2200 K sıcaklık değerinde bütün basınç değerleri için sistemin sıvı fazda olduğu RDF eğrilerinden açıkça görülmektedir. Soğutma işlemi esnasında 1400 K sıcaklık değerine ulaşıldığında, üç basınç değeri içinde model sistemin hala sıvı fazda olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu durum aşırı soğutulmuş bir sıvı olarak ifade edilmektedir. Sıcaklık 0 GPa basınç için 1000 K, 5 GPa için 1100 K ve 7 GPa için 1300 K değerine indiğinde RDF eğrilerinin ikinci pikinde bir çökme Şekil 3(a-c) de açıkça görülmektedir. İkinci pikteki bu çökme RDF eğrisinde amorf yapının genel bir özelliği olarak bilinmektedir [52]. Soğutma işlemi tamamlandı sıcaklık 300 K değerine ulaştığında model sistemin her üç basınç değeri içinde amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla birlikte RDF eğrilerindeki pik şiddetleri artmaktadır. Bu artışın sebebinin, sıcaklığın azalmasıyla katılaşma esnasında en yakın komşu koordinasyonun artması olduğu söylenebilir.

Wendt-Abraham parametresinin sıcaklığa bağlılığı camsı dönüşümün bir göstergesidir. MD benzetim çalışmalarında camsı geçiş sıcaklığını belirlemek için  $g_{min}/g_{max}$  olan Wendt-Abraham parametresi kullanıldı. Burada  $g_{max}$  RDF eğrisindeki ilk maksimum değeri,  $g_{min}$  ise ilk minimum değeri göstermektedir. Şekil 5 te 0 GPa basınç değeri altında model sistem için sıcaklığa karşı  $g_{min}/g_{max}$  değişimi verilmiştir. Camsı yapının oluşumu şeklindeki eğrinin eğiminde bir değişime sebep olur. Şekil 5 ten görüldüğü gibi farklı eğimli iki doğrusal çizgi vardır ve  $T_g$  sıcaklığı bu iki doğrusal çizginin kesiştiği nokta olarak belirlenmiştir. Model sistem için 0 GPa basınç altında bu sıcaklık değeri 1050 K olarak bulunmuştur. Bununla birlikte Şekil 6 da 0, 5 GPa ve 7 GPa basınç değerleri altında sıcaklık karşı  $g_{min}/g_{max}$  değişimi birlikte verilmiş ve aynı yöntemle  $T_g$  sıcaklığı 5 GPa basınç değeri için 1100 K ve 7 GPa için 1350 K olarak belirlenmiştir. Basıncın artması, model sistemdeki sıvı atomların birbirlerini sıkıştırmasına ve çok daha yüksek bir yoğunluğa ve daha az miktarda serbest hacme sahip olmasına neden

olmuştur. Bundan dolayı, basınçtaki artış nedeniyle parçacıkların hareketleri azalmış ve  $T_g$  nin değeri artırmıştır [53].

Çalışmada farklı soğutma hızları sonucu elde edilen MD hücresindeki farklı yapıların gelişimi bağ açısı dağılım fonksiyonlarını kullanan Ackland-Jones (A-J) metodu ile yapıldı. Analizler ve görselleştirme için OVITO yazılım programından yararlanıldı [54]. Ackland- Jones metodu model sistem içerisindeki kusursuz yapıdaki birim hücrelerin belirlenmesinin yanısıra, termal dalgalanmalardan ve elastik gerilmelerden kaynaklanan küçük bozulmalara sahip birim hücrelerinde analizde kullanılır. Bu yöntemde bir algoritma ile her atomun ait olduğu bölgesel yapılara karar verilir. Her yapı belirli bir açısız dağılım fonksiyonuna sahip olduğundan bu metot yüksek sıcaklıklarda bile fcc ve hcp yapıları arasındaki farkı belirlememizi sağlar [45-47]. Bu yöntemde farklı birim hücre yapıları farklı renklerle gösterilmektedir.  $1 \times 10^{13}$  K/s soğutma hızı için 0 GPa basınç değerinde 2200 den 300 K e kadar her 100 K sıcaklık değerinde A-J metodu ile yapı içerisindeki fcc, bcc, hcp ikosahedral ve bunların dışındaki diğer yapıların yüzde değerleri Şekil 7 de verilmiştir. A-J metodu her atomu çevreleyen bölgesel atomların açısız dağılımına odaklanarak bu yapıları bilinen fcc, hcp, bcc ve ikosahedral yapılarla karşılaştırır. Seçilen atom için belirlenen yapılar bu yapılarla uyum sağlamıyorsa diğer seçeneği işaretlenir. Sıvı fazdaki model yapı için diğer seçeneğinin en yüksek değerinde olacağını tahmin etmek çok zor değildir ve Şekil 7 de tüm sıvı fazı içerisinde % 67.5 lik bir orana sahip olduğu açıkça görülmektedir. fcc ve ikosahedral yapılar tüm sistem içerisinde sırasıyla % 0.9 ve % 0.8 değerlerle neredeyse sıfıra yakınken bcc ve hcp yapıların yüzdeleri sırasıyla %13.8 ve % 16.9 dur. Sıcaklığın düşmesiyle tanımlı olmayan yapılar (diğer) azalırken tanımlı diğer yapıların (fcc, bcc, hcp ve ikosahedral) sistem içerisindeki yüzdesi giderek artmaya başlamıştır. Bu basınç değerinde 1050 K olan camsı geçiş sıcaklığında yüzdelerdeki değişim durumları Şekil 7 de açıkça görülmektedir. 300 K sıcaklık değerine ulaşıldığında en yüksek artış bcc de olmak üzere diğer tanımlı yapıların model sistem içerisindeki yüzdeleri artarken tanımsız olan yapıların yüksek sıcaklık değerlerindeki oranına göre oldukça düşük bir değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte bütün basınç değerleri için tanımlı olan yapıların sistem içerisindeki yüzdelilerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 8 de verilmiştir. Basıncın artması model sistem içerisinde 300 K sıcaklık değerinde ikosahedral yapıların azalmasına sebep olurken bcc ve fcc yapıların yüzdesinde bir artış görülmektedir. Artan basınç 300 K sıcaklık değerinde hcp yapıda fazla bir değişime sebep olmamıştır.

Benzetim yönteminden elde edilen amorf faz yapılarının A-J yöntemi ile analiz edilmesinden her bir atomun etrafındaki bölgesel atomik yerleşimlerin ağırlıklı olarak kristal benzeri (quasi-kristal) yapılarda olduğu söylenebilir. Camsı geçişin kristal benzeri atomların uzun mesafelerde bir araya gelmesinden oluştuğu düşünülmektedir. Düzensiz sistemlere uygulanan A-J analiz yöntemine göre, yani sıvı fazdan amorf faza geçişte, her bir atomun etrafındaki bölgesel atomik yığılmaların kristal benzeri bir yapıya dönüştüğü ve bu bölgesel yapıların amorf fazda birbirine bağlı hale geldiği söylenebilir. Bu durum amorf yapının bir özelliği olarak düşünülebilir. Amorf faza geçiş bölgesinde sıcaklığın azalmasıyla atomik küme boyutunun daha küçük kümelerin birleşmesiyle büyüdüğü ve bu durumun amorf faza geçişte önemli bir akışkanlık artışının başlangıcının kaynağı olduğu söylenebilir [55].

Şekil 9(a-c) de model Fe sisteminin  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı ile 0, 5 ve 7 GPa basınç değerleri altında soğutulması esnasında elde edilen RDF eğrileri verilmiştir. Bütün basınç değerleri için 2200 K sıcaklık değerinde sistemin sıvı fazda olduğu RDF eğrilerinden açıkça görülmektedir. 1400 K sıcaklık değerinde belirlenen RDF eğrileri incelendiğinde üç basınç değeri içinde model sistemin aşırı soğutulmuş bir sıvı durumunda olduğu söylenebilir. Sıcaklık 0 GPa basınç için 1000 K, 5 GPa için 1200 K ve 7 GPa basınç değeri için 1300 K değerine indiğinde RDF eğrilerinin ikinci pikinde bir çökme Şekil 9(a-c) de açıkça görülmektedir. Sıcaklığın azalmasıyla piklerin daha belirginleştiği ve soğutma işlemi tamamlandı sıcaklık 300 K değerine ulaşıldığında model sistemin her üç basınç değeri içinde bcc kristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla birlikte RDF eğrilerindeki pik şiddetlerindeki artış açıkça görülmektedir.

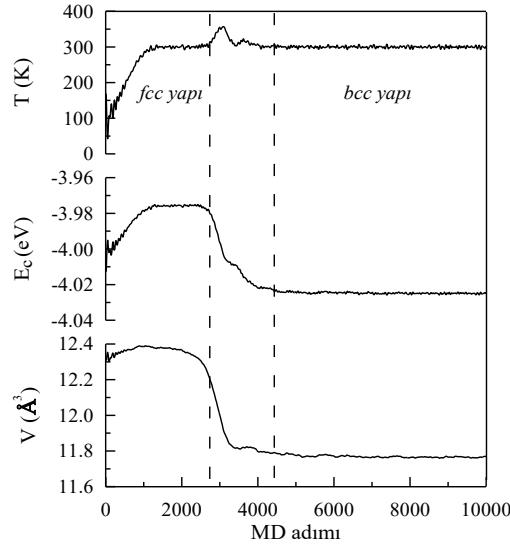
Şekil 10 da sıvı fazdan  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı ile soğutulan model sistem için farklı basınç değerlerinde sıcaklığa karşı kohesif enerjideki değişim verilmiştir. Her üç basınç değeri içinde belirli sıcaklıklarda kohesif enerjinin süreksizlik gösterdiği sıcaklık bölgeleri görülmektedir. 0 GPa için 950 K, 5 GPa için 1050 K ve 7 GPa için 1150 K değerlerinde görülen bu süreksizlik yapının sıvı fazdan kristal faza dönüşüm sıcaklığında ( $T_c$ ) meydana gelmektedir. Artan basıncın kristal faza geçiş sıcaklığını da arttırdığı açık bir şekilde görülmektedir.

Model Fe sisteminin sıvı fazdan  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı ile soğutulması sonucu MD hücresindeki farklı kristal yapıların gelişimini karakterize etmek için kullanılan A-J metodundan 0 GPa basınç değeri için yapı içerisinde belirlenen fcc, bcc, hcp ikosahedral ve bunların dışındaki diğer yapıların yüzde değerleri Şekil 11 de

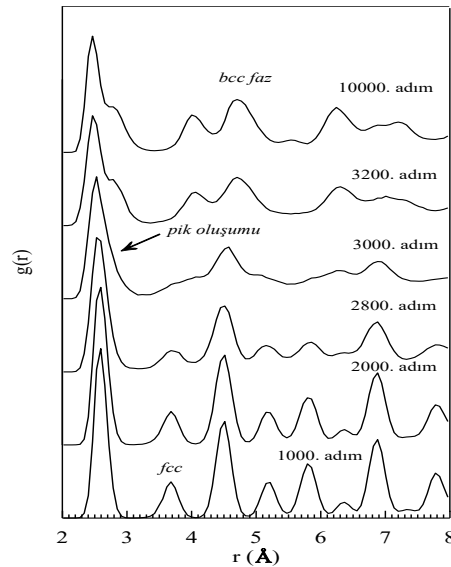
görülmektedir. Sıcaklığın düşmesiyle tanımlı olmayan yapılar (diğer) azalırken tanımlı yapıların (fcc, bcc, hcp ve ikosahedral) sistem içerisindeki yüzdesi giderek artmaya başlamıştır. 1000 K kristal faz geçiş sıcaklığında bütün yapıların yüzdelere meydana gelen ani değişiklik Şekil 11 de açıkça görülmektedir. 300 K sıcaklık değerine ulaşıldığında model sistemin % 86.2 lik bir oranda bcc birim hücreli yapılardan oluştuğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte bu soğutma hızında bütün basınç değerleri için tanımlı olan yapıların sistem içerisindeki yüzdelere sıcaklıkla değişimleri Şekil 12 de verilmiştir. Bütün basınç değerlerinde kristal faza dönüş sıcaklıklarında tanımlı yapıların yüzdelereindeki ani değişimler şekilden açıkça görülmektedir. Bütün basınç değerleri için 300 K de model sistem içerisinde bcc yapılar büyük bir orana sahipken diğer tanımlı yapıların yüzdesi oldukça düşük bir değerde görülmektedir.

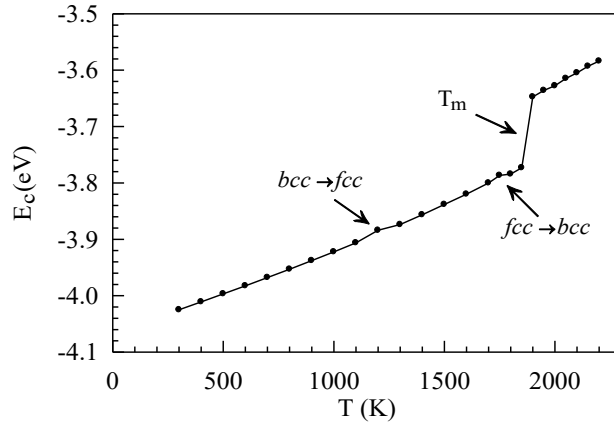
Şekil 13(a-b) de 0 GPa basınç altında 300 K sıcaklığında  $1 \times 10^{13}$  K/s ve  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızları için OVITO programından elde edilen atomik konumlar verilmiştir. Yeşil fcc, kırmızı hcp, mavi bcc ve sarı renkl ikosahedral yapıdaki atomları temsil ederken beyaz renkl atomlar tanımsız yapıları temsil etmektedir.  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı için yapının çoğunluğunun bcc birim hücrelerden meydana geldiği açıkça görülmektedir.



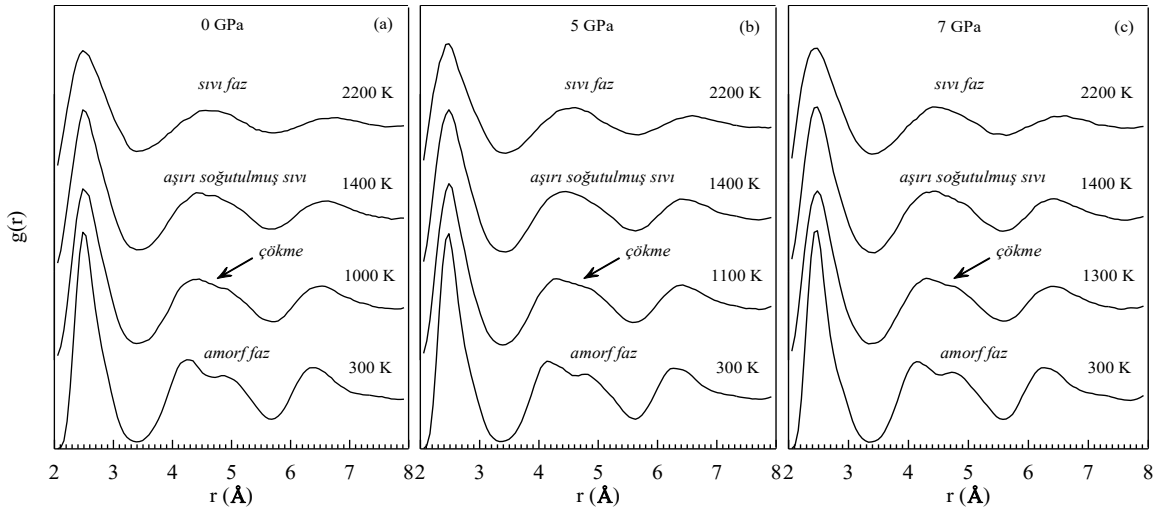
Şekil 1. Sıcaklığın birim atom başına bağlanma enerjisinin ve birim atom başına hacmin MD adımı ile değişimi



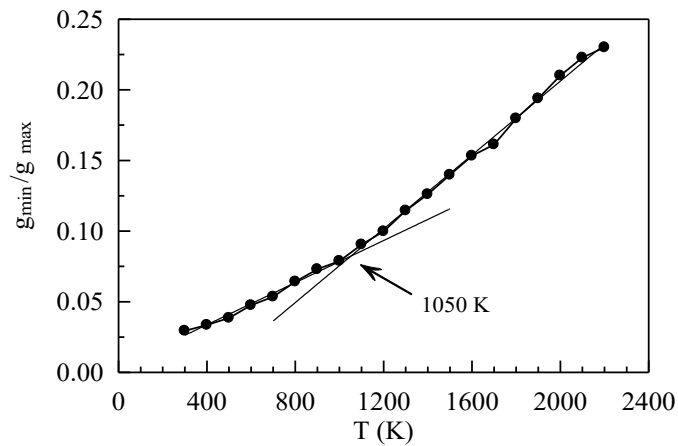
Şekil 2. 300 K sıcaklık değerinde ve farklı MD adımlarında elde edilmiş RDF eğrileri



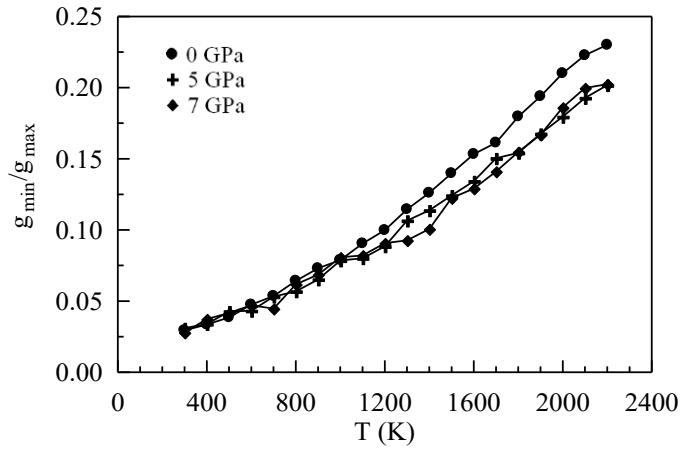
Şekil 3. Kohesif enerjinin sıcaklıkla değişimi



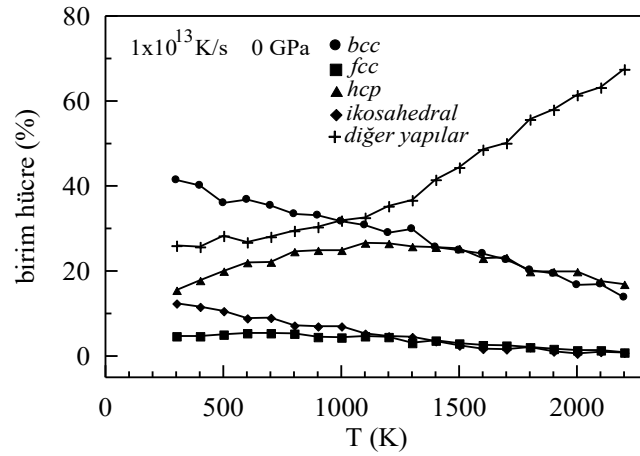
Şekil 4.  $1 \times 10^{13}$  K/s soğutma hızı ve 0 GPa, 5 GPa, 7 GPa basınç değerleri için farklı sıcaklıklarda elde edilmiş RDF eğrileri



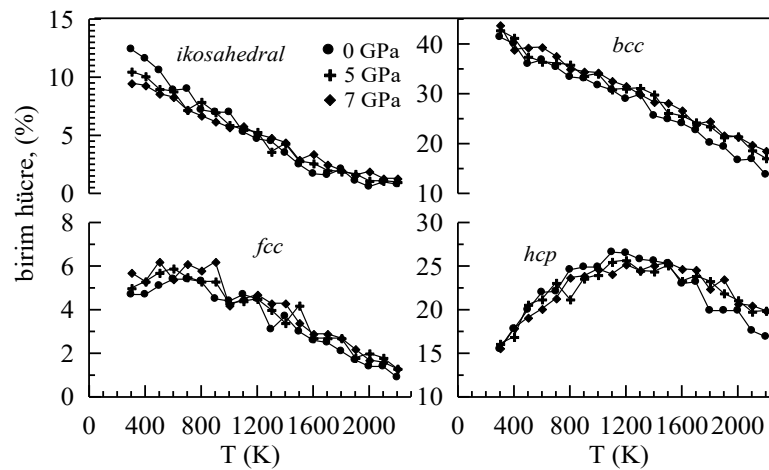
Şekil 5. 0 GPa basınç değeri için sıcaklığa karşı  $g_{\min}/g_{\max}$  değerinin değişimi



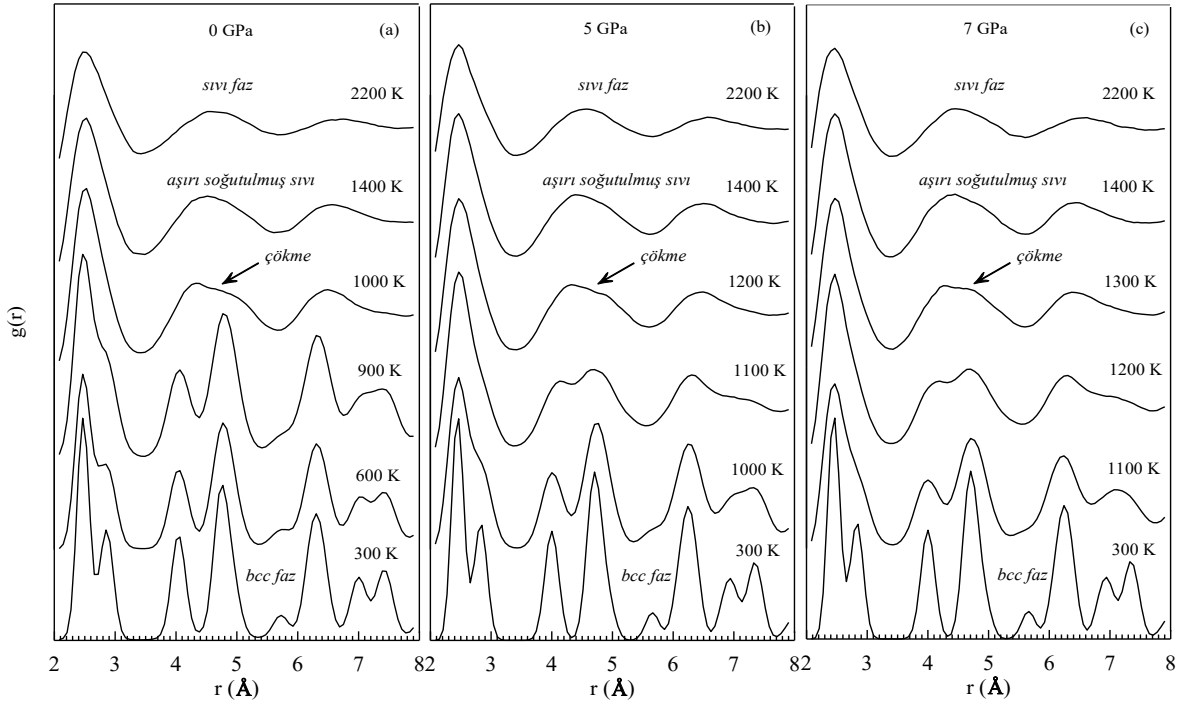
Şekil 6. Üç farklı basınç değeri için sıcaklığa karşı  $g_{min}/g_{max}$  değerinin değişimi



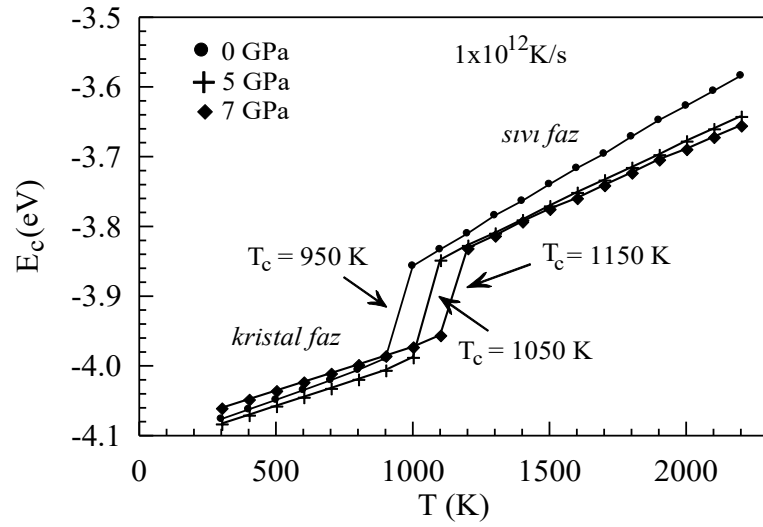
Şekil 7. 0 GPa basınç değeri için model sistemdeki farklı birim hücreli yapılarının sıcaklığa karşı değişim yüzdeleri



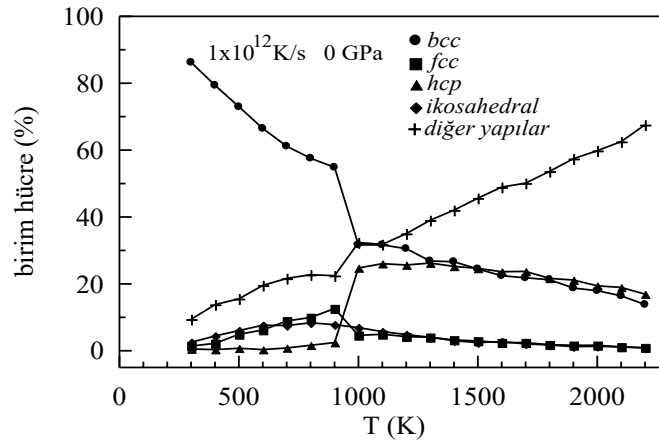
Şekil 8. Farklı basınç değerleri için model sistemdeki tanımlı farklı birim hücreli yapılarının sıcaklığa karşı değişim yüzdeleri



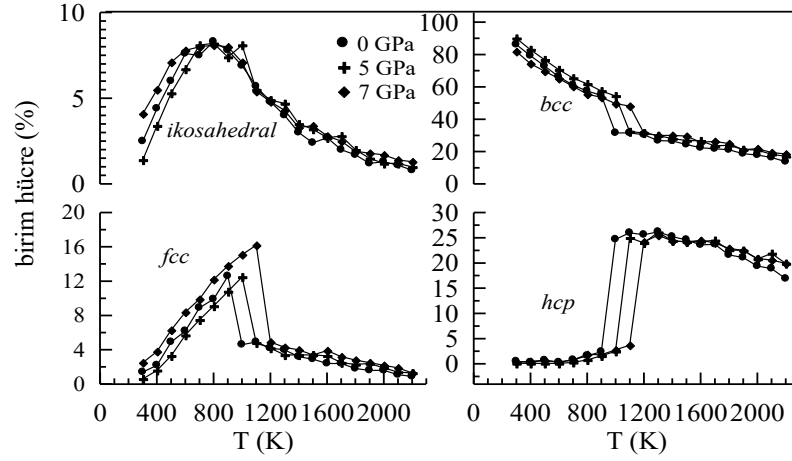
Şekil 9.  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı ve 0 GPa, 5 GPa, 7 GPa basınç değerleri için farklı sıcaklıklarda elde edilmiş RDF eğrileri



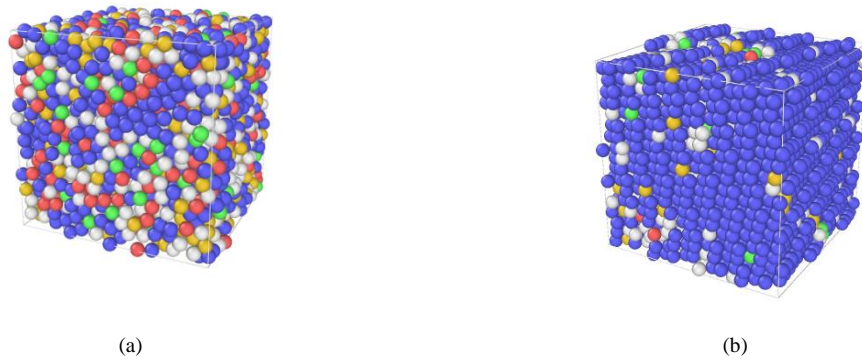
Şekil 10. Üç farklı basınç değeri için sıcaklığa karşı kohesif enerjideki değişim



Şekil 11. 0 GPa basınç değeri için model sistemdeki farklı birim hücreli yapıların sıcaklığa karşı değişim yüzdeleri



Şekil 12. 1x10<sup>12</sup> K/s soğutma hızı ve farklı basınç değerlerinde model sistemdeki tanımlı farklı birim hücreli yapıların sıcaklığa karşı değişim yüzdeleri



Şekil 13. 0 GPa basınç altında 300 K sıcaklığında (a) 1x10<sup>13</sup> K/s ve (b) 1x10<sup>12</sup> K/s soğutma hızları için elde edilen atomik görüntüler. Yeşil fcc, kırmızı hcp, mavi bcc, sarı ikosahedral yapıdaki atomları temsil ederken beyaz atomlar tanımsız yapıları temsil etmektedir

### III. SONUÇLAR

Bu çalışmada atomlar arası etkileşmelerin Gömülmüş atom metodu ile belirlendiği sıvı Fe model sistemi üç farklı basınç değeri altında,  $1 \times 10^{13}$  K/s ve  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızları ile soğutularak moleküler dinamik yöntemiyle incelendi.  $1 \times 10^{13}$  K/s soğutma hızı için bütün basınç değerlerinde yapının amorf fazda olduğu ve camı geçiş sıcaklıklarının artan basınçla arttığı belirlendi. A-J yöntemi ile yapılan analizlerde her bir atomun etrafındaki bölgesel atomik yerleşimlerin ağırlıklı olarak kristal benzeri (quasi-kristal) yapılarda olduğu ve camı geçişin kristal benzeri atomların uzun mesafelerde bir araya gelmesinden oluştuğu ifade edildi.  $1 \times 10^{12}$  K/s soğutma hızı için üç basınç değeri içinde soğutma işleminin sonunda yapının kristal fazda olduğu ve artan basıncın kristal yapıya geçiş sıcaklığını da arttırdığı belirlendi.

### KAYNAKLAR

- [1] Zhang, Y. & Jiang, S. (2018). Atomistic mechanisms for temperature-induced crystallization of amorphous copper based on molecular dynamics simulation. *Computational Materials Science*, 151, 25-33.
- [2] Giang, N. H. & Van Hoang, V. (2021). Influences of cooling rate on formation of amorphous germanene. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures Volume*, 126, 114492.
- [3] Ghaemi, M. & Tavakoli, R. (2020). Universal correlation between the thermodynamic potentials and some physical quantities of metallic glasses as a function of cooling rate during molecular dynamics simulation. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 536, 119999.
- [4] Samiri, A., Khmich, A., Haouas, H., Hassani, A. & Hasnaoui, A. (2020). Structural and mechanical behaviors of Mg-Al metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations. *Computational Materials Science*, 184, 109895.
- [5] Cong, H. R., Bian, X. F., Zhang, J. X. & Li, H. (2002). Structure properties of Cu · Ni alloys at the rapid cooling rate using embedded-atom method. *Materials Science and Engineering: A*, 326(2), 343-347.
- [6] Qi, L., Zhang, H. F., Hu, Z. Q. & Liaw, P. K. (2004). Molecular dynamic simulation studies of glass formation and atomic-level structures in Pd-Ni alloy. *Physics Letters A*, 327(5-6), 506-511.
- [7] Wang, W. H., Dong, C. & Shek, C. H. (2004). Bulk metallic glasses. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 44(2-3), 45-89.
- [8] Qi, L., Zhang, H. F. & Hu, Z. Q. (2004). Molecular dynamic simulation of glass formation in binary liquid metal: Cu-Ag using EAM. *Intermetallics*, 12(10-11), 1191-1195.
- [9] Ozgen, S. & Duruk, E. (2004). Molecular dynamics simulation of solidification kinetics of aluminium using Sutton-Chen version of EAM. *Materials Letters*, 58(6), 1071-1075.
- [10] Schroers, J., Pham, Q., Peker, A., Paton, N. & Curtis, R. V. (2007). Blow molding of bulk metallic glass. *Scripta Materialia*, 57(4), 341-344.
- [11] Laws, K. J., Gun, B. & Ferry, M. (2006). Effect of die-casting parameters on the production of high quality bulk metallic glass samples. *Materials Science and Engineering: A*, 425(1-2), 114-120.
- [12] Busch, R., Kim, Y. J. & Johnson, W. L. (1995). Thermodynamics and kinetics of the undercooled liquid and the glass transition of the Zr<sub>41</sub>. 2Ti<sub>13</sub>. 8Cu<sub>12</sub>. 5Ni<sub>10</sub>. 0Be<sub>22</sub>. 5 alloy. *Journal of applied physics*, 77(8), 4039-4043.
- [13] Luzzi, D. E. & Meshii, M. (1986). Criteria for the amorphisation of intermetallic compounds under electron irradiation. *Scripta metallurgica*, 20(6), 943-948.
- [14] Inoue, A. & Takeuchi, A. (2011). Recent development and application products of bulk glassy alloys. *Acta Materialia*, 59(6), 2243-2267.
- [15] Strutt, P. R., Nowotny, H., Tuli, M. & Kear, B. H. (1978). Laser surface melting of high speed tool steels. *Materials Science and Engineering*, 36(2), 217-222.



- [16] Karewar, S., Sietsma, J. & Santofimia, M. J. (2018). Effect of pre-existing defects in the parent fcc phase on atomistic mechanisms during the martensitic transformation in pure Fe: A molecular dynamics study. *Acta Materialia*, 142, 71-81.
- [17] Singh, S. B. (2012). Mechanisms of bainite transformation in steels. *In Phase Transformations in Steels*. 385-416.
- [18] Porter, D. & Easterling, K. (1992). Precipitation in Age Hardening Alloys. *Phase Transformations in Metals and Alloys*, 2nd ed., Chapman and Hall, London, UK.
- [19] Pepperhoff, W. & Acet, M. (2001). The magnetism of iron. *In Constitution and Magnetism of Iron and its Alloys*, 15-55. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] Pereloma, E. & Edmonds, D. V. (Eds.). (2012). Phase transformations in steels: Diffusionless transformations, high strength steels, modelling and advanced analytical techniques. Elsevier.
- [21] Haasen, P. (2013). *Physikalische metallkunde*. Springer-Verlag.
- [22] Entel, P., Meyer, R., Kadau, K., Herper, H. C. & Hoffmann, E. (1998). Martensitic transformations: first-principles calculations combined with molecular-dynamics simulations. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 5(3), 379-388.
- [23] Porter, D. & Easterling, K. (1992). Precipitation in Age Hardening Alloys. *Phase Transformations in Metals and Alloys*, 2nd ed.; Chapman and Hall: London, UK..
- [24] Pepperhoff, W. & Acet, M. (2001). The magnetism of iron. *In Constitution and Magnetism of Iron and its Alloys*. 15-55. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [25] Pereloma, E. & Edmonds, D. V. (Eds.). (2012). Phase transformations in steels: Diffusionless transformations, high strength steels, modelling and advanced analytical techniques. Elsevier.
- [26] Lee, B. J., Shim, J. H. & Baskes, M. I. (2003). Semiempirical atomic potentials for the fcc metals Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt, Al, and Pb based on first and second nearest-neighbor modified embedded atom method. *Physical Review B*, 68(14), 144112.
- [27] Tateyama, S., Shibuta, Y., Kumagai, T. & Suzuki, T. (2011). A molecular dynamics study of bidirectional phase transformation between bcc and fcc iron. *ISIJ international*, 51(10), 1710-1716.
- [28] Lee, T., Baskes, M. I., Valone, S. M. & Doll, J. D. (2012). Atomistic modeling of thermodynamic equilibrium and polymorphism of iron. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 24(22), 225404.
- [29] Finnis, M. W. & Sinclair, J. E. (1984). A simple empirical N-body potential for transition metals. *Philosophical Magazine A*, 50(1), 45-55.
- [30] Johnson, R. A. & Oh, D. J. (1989). Analytic embedded atom method model for bcc metals. *Journal of Materials Research*, 4(5), 1195-1201.
- [31] Pelaz, L., Marqués, L. A., Aboy, M., López, P. & Barbolla, J. (2005). Atomistic modeling of dopant implantation and annealing in Si: damage evolution, dopant diffusion and activation. *Computational materials science*, 33(1-3), 92-105.
- [32] Shao, Y., Clapp, P. C. & Rifkin, J. A. (1996). Molecular dynamics simulation of martensitic transformations in NiAl. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27(6), 1477-1489.
- [33] Daw, M. S. & Hatcher, R. D. (1985). Application of the embedded atom method to phonons in transition metals. *Solid state communications*, 56(8), 697-699.
- [34] Voter, A. F. & Chen, S. P. (1986). Accurate interatomic potentials for Ni, Al and Ni<sub>3</sub>Al. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 82.
- [35] Finnis, M. W. & Sinclair, J. E. (1984). A simple empirical N-body potential for transition metals. *Philosophical Magazine A*, 50(1), 45-55.

- [36] Sutton, A. P. & Chen, J. (1990). Long-range finnis–sinclair potentials. *Philosophical Magazine Letters*, 61(3), 139-146.
- [37] Parrinello, M. & Rahman, A. (1980). Crystal structure and pair potentials: A molecular-dynamics study. *Physical review letters*, 45(14), 1196.
- [38] Parrinello, M. & Rahman, A. (1981). Polymorphic transitions in single crystals: A new molecular dynamics method. *Journal of Applied physics*, 52(12), 7182-7190.
- [39] LAMMPS Molecular Dynamics Simulator (2020). *Molecular Dynamics Simulator*. <http://lammps.sandia.gov/LAMMPS>, (10.09.2020).
- [40] Voter, A. F. & Chen, S. P. (1986). Accurate interatomic potentials for Ni, Al and Ni3Al. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 82.
- [41] Finnis, M. W. & Sinclair, J. E. (1984). A simple empirical N-body potential for transition metals. *Philosophical Magazine A*, 50(1), 45-55.
- [42] Etesami, S. A. & Asadi, E. (2018). Molecular dynamics for near melting temperatures simulations of metals using modified embedded-atom method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 112, 61-72.
- [43] Chamati, H., Papanicolaou, N. I., Mishin, Y. & Papaconstantopoulos, D. A. (2006). Embedded-atom potential for Fe and its application to self-diffusion on Fe (1 0 0). *Surface Science*, 600(9), 1793-1803.
- [44] Mendeleev, M. I., Han, S., Srolovitz, D. J., Ackland, G. J., Sun, D. Y. & Asta, M. (2003). Development of new interatomic potentials appropriate for crystalline and liquid iron. *Philosophical magazine*, 83(35), 3977-3994.
- [45] Ding, S., Tian, Y., Jiang, Z. & He, X. (2015). Molecular dynamics simulation of joining process of Ag-Au nanowires and mechanical properties of the hybrid nanojoint. *AIP Advances*, 5(5), 057120.
- [46] Erhart, P., Marian, J. & Sadigh, B. (2013). Thermodynamic and mechanical properties of copper precipitates in  $\alpha$ -iron from atomistic simulations. *Physical Review B*, 88(2), 024116.
- [47] Ackland, G. J. & Jones, A. P. (2006). Applications of local crystal structure measures in experiment and simulation. *Physical Review B*, 73(5), 054104.
- [48] Rigby, M., Maitland, G. C., Smith, E. B. & Wakeham, W. A. (1986). *The forces between molecules*. (Oxford Science Publications), Clarendon Press, 232.
- [49] Engin, C. & Urbassek, H. M. (2008). Molecular-dynamics investigation of the fcc  $\rightarrow$  bcc phase transformation in Fe. *Computational materials science*, 41(3), 297-304.
- [50] Karimi, M., Stapay, G., Kaplan, T. & Mostoller, M. (1997). Temperature dependence of the elastic constants of Ni: reliability of EAM in predicting thermal properties. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 5(4), 337.
- [51] Weissbach, W. & Bleyer, U. *Materials science and materials testing. 11. rev. ed. Werkstoffkunde und Werkstoffpruefung*. Germany, 389.
- [52] Schuh, C. A., Hufnagel, T. C. & Ramamurty, U. (2007). Mechanical behavior of amorphous alloys. *Acta Materialia*, 55(12), 4067-4109.
- [53] Shimojo, F., Hoshino, K. & Zempo, Y. (2002). Intermediate-range order in liquid and amorphous As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> by ab initio molecular-dynamics simulations. *Journal of non-crystalline solids*, 312, 388-391.
- [54] Stukowski, A. (2009). Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 18(1), 015012.
- [55] Abraham, F. F. (2015). The local atomic packing of a single-component glass is quasi-crystalline. *arXiv preprint arXiv:1504.05751*.

*Araştırma Makalesi – Research Article*

# Serada Sonbahar Dönemi Dolmalık Biber Yetiştiriciliğinde Hibrit Çeşit Adaylarının Meyve Kalitesi ve Verim Performansları

## Fruit Quality and Yield Performance of Hybrid Bell Pepper Cultivar Candidates for Autumn Growing Period in the Greenhouse

Rüveyda Özgen<sup>1\*</sup>, Ahmet Balkaya<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 14/12/2020*

*Revize / Revised: 14/01/2021*

*Kabul / Accepted: 18/01/2021*

### ÖZ

Sebzelerde düşük sıcaklık zararı; büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyerek verim ve kalite kayıplarına neden olan önemli bir abiyotik stres faktörüdür. Örtüaltı sebze yetiştiriciliğinde düşük sıcaklıklar nedeniyle tür ve çeşitlere göre değişmekle birlikte verim ve kalite performansları yönünden önemli düzeyde azalışlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, üniversite sanayi iş birliğiyle yürütülen biber çeşit ıslahı programı kapsamında geliştirilen 28 hibrit dolmalık biber çeşit adayının ısıtmasız serada sonbahar dönemi yetiştiriciliğinde meyve kalite ve verim özellikleri yönünden performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Isıtmasız serada ilk hasatlar, fide dikiminden itibaren 46-58 gün sonra yapılmıştır. Dolmalık biber genotipleri arasında meyve boyu değerleri yönünden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıkların olduğu bulunmuştur. Meyve eni değerleri, 47.31-55.86 mm arasında değişim göstermiştir. Renk tonları yönünden dolmalık biber genotipleri arasında belirgin farklılıkların olduğu saptanmıştır. Hibrit biber çeşit adaylarında bitki başına meyve sayılarının ortalama 15.6-30.0 adet arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada, Samsun ekolojik koşullarında serada hibrit biber çeşit adaylarının dekara verim değerlerinin, 2560.5 kg (HD-16) ile 5102.5 kg (HD-8) arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Araştırma sonucunda incelenen tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde; HD-4, HD-8 ve HD-24 genotiplerinin düşük sıcaklığa tolerant olduğu ve sonbahar dönemi yetiştiriciliği için ümit var hibrit dolmalık biber çeşit adayları olduğu belirlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler- Biber, Düşük Sıcaklık, Isıtmasız Sera, Sonbahar, Samsun*

### ABSTRACT

Low temperature damage in vegetables is an important abiotic stress factor that negatively affects growth and development, causing yield and quality losses. Due to low temperatures in greenhouse vegetable cultivation, according to the species and varieties significant decreases occur in terms of yield and quality performances. In this study, it was aimed to compare the performance of 28 hybrid bell pepper F<sub>1</sub> varieties developed within the scope of the pepper variety breeding program carried out in cooperation with the university and industry in terms of fruit quality and yield characteristics in autumn cultivation in the unheated greenhouse. The first harvests were made 46-58 days after the seedling planting in the greenhouse,. It was found that there are statistically significant

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [rozgen326@gmail.com](mailto:rozgen326@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-7641-8751>)

Bahçe Bitkileri Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kurupelit Kampüsü Atakum, Samsun

<sup>2</sup>İletişim: [abalkaya@omu.edu.tr](mailto:abalkaya@omu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-9114-615X>)

Bahçe Bitkileri Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kurupelit Kampüsü Atakum, Samsun

differences between bell pepper genotypes in terms of fruit size values. Fruit width values varied between 47.31-55.86 mm. It has been determined that there are significant differences among bell pepper genotypes in terms of colour tones. It was determined that the average number of fruits per plant in hybrid pepper varieties candidates varied between 15.6-30.0 unit. In the study, it was determined that the yield values of hybrid pepper varieties candidates in greenhouse in Samsun ecological conditions varied between 2560.5 kg/acre (HD-16) and 5102.5 kg/acre (HD-8). When all parameters are evaluated together at the end of the research; it was determined that HD-4, HD-8 and HD-24 genotypes are tolerant to low temperature and they are promising hybrid bell pepper varieties candidates for autumn period cultivation.

**Keywords-** *Pepper, Low Temperature, Unheated Greenhouse, Autumn Period, Samsun*

## I. GİRİŞ

Biber (*Capsicum annuum* L.), ülkemizde ve dünyanın birçok farklı bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen ve farklı şekillerde tüketime sunulan önemli bir sebze türüdür. *Capsicum* türleri, tüm tropik ve subtropik iklimlerde yetiştirilebildiği gibi ılıman iklim kuşağında da yaygın olarak yetiştirilmektedir [1]. Biber; taze olarak tüketildiği gibi, kurutulmuş (pul, toz vb.) ve işlenmiş (sos, salça vb.) ürün olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca günümüzde farmakoloji ve kozmetik sanayinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Ülkemizde 2019 yılı biber üretim miktarı değerleri ürün segmentlerine göre incelendiğinde ilk sırayı 1.234.423 ton ile kapy biberin aldığı belirlenmiştir. Bu değeri, 902.203 ton ile sivri biber, 371.918 ton üretim miktarı ile dolmalık biber ve 99.390 ton ile Charleston biber grubu izlemiştir [4]. Ülkemizde 2019 yılı örtüaltı biber üretim miktarı değeri ise 749.769 tondur ve dolmalık biber grubu bu üretim miktarının %15'ini oluşturmaktadır [4].

Günümüzde tarımsal üretimde kullanılan modern teknik ve uygulamaların önemli düzeylerde gelişmiş olmasına rağmen, biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisiyle tarımda halen önemli düzeylerde verim ve kalite kayıpları meydana gelmektedir. Abiyotik stres faktörlerden birisi olan sıcaklık, yüksek ya da düşük sıcaklık şeklinde bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir [5]. Düşük sıcaklık stresine karşı bitkiler, gelişme dönemlerine göre farklı tepkiler vermekte, verimlilikleri azalmakta ve ürün kalite ve kantitelerinde önemli düzeyde kayıplar meydana gelmektedir. Sebze yetiştiriciliğinde, bu durum önemli bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca meyzelerde düşük sıcaklık zararı; sınırlı iklim koşulları ve dönemlerinde yetiştiricilik yapılmasına neden olmaktadır. Düşük sıcaklık stresine dayanıklılık yönünden bitki türleri arasında çeşit düzeyinde önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda hem klasik çeşit ıslah çalışmalarında ve hem de fizyolojik ve moleküler düzeydeki temel araştırmalarda düşük sıcaklık stresine tolerant yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve toleranslıkta rol alan mekanizmaların belirlenmesine yönelik bilimsel çalışmalara daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. Günümüzde birçok türde dayanıklılık ıslah programları ile düşük sıcaklığa tolerant niteliklere sahip yeni genotiplerin belirlenmesi, nitelikli hatların geliştirilmesi ve ticari olarak tohum üretimlerinin gerçekleştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Ülkemizde bu içerikte yürütülen sebze çeşit ıslah programlarının sayıları son yıllarda artmaya başlamıştır.

Birçok sebze türü, düşük sıcaklığa hassas olmaları nedeniyle yıl içerisinde dar bir zaman aralığında yetiştirilebilmektedir. Bu durum arz fazlalığı nedeniyle üreticilerin karlılık düzeylerinin düşmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra tüketicilerin normal yetiştirme sezonu dışındaki sebze taleplerinin karşılanabilmesi amacıyla, ısıtmalı seralarda üretim yapılması ürün maliyetlerinin daha fazla artış göstermesine neden olmaktadır. Diğer bir önemli husus da üreticilerin, düşük sıcaklık şartlarında bitki gelişimini teşvik etmek için insan sağlığına ve çevreye zarar verme ihtimali olan ilave kimyasal ve büyümeyi düzenleyici maddeleri kullanmasıdır. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, ülkemizde düşük sıcaklığa tolerant yeni sebze çeşitlerinin ıslahına yönelik programların oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Bu ıslah programları sayesinde, düşük sıcaklığa tolerant yerli sebze çeşitlerinin geliştirilmesi ile hem tohumluk ithalatı azalacak hem de ısıtma masrafı olmadan veya çok az bir masrafla dayanıklı çeşitlerin kullanımı ile daha ucuza ve geniş bir üretim periyodunda (kış dönemi dahil) sebze yetiştiriciliğinin yapılabilmesi mümkün olacaktır.

Biber, büyüme ve gelişme sırasında sıcaklığa çok fazla ihtiyaç duymaktadır. Bir sıcak iklim sebzesi olarak biberin büyüme ve gelişmesi, 25-30 °C arasındaki sıcaklıklarda optimum olarak meydana gelmektedir [6]. Örtüaltı biber yetiştiriciliğinde başlangıçta seralardaki hava sıcaklığı geceleri yaklaşık 18-20 °C iken, yetiştiricilikte kritik dönem olan Aralık-Ocak-Şubat aylarında ise 4 °C'ye kadar düşmektedir [7]. Kış aylarında seraların ısıtılması

üretim maliyetini artırdığından, ülkemizdeki seralarda biber yetiştiriciliği don tehlikesinin olduğu çok soğuk günler dışında genellikle ısıtmasız olarak yapılmaktadır. Düşük gece sıcaklıkları, biber fidelerinde kalın ve küçük yaprakların oluşmasına ve bitkilerin daha kısa boylu olarak gelişmesine neden olmaktadır [8]. Biberde, düşük sıcaklık (14 °C ve altı) ve düşük ışık yoğunluğu nedeniyle dişi organların işlevi bozulmakta, yeterli miktarda çiçek tozu oluşmamakta, oluşan çiçek tozlarının canlılıkları düşmekte ve çimlenme yetenekleri azalmaktadır [9]. Polen deformasyonları, meyve iriliği ve kalitesinde kayıplar meydana getirmektedir [10]. Bu ise halk arasında “takoz meyve” olarak bilinen küçük ve sert meyve oluşumudur. Sonuçta verim unsurları ve ürün kalitesinde önemli düzeyde azalışlar meydana gelmektedir [11]. Biberde, genel olarak 16 °C’nin altındaki sıcaklıklarda meyve tutumu gerçekleşmemekte ve bunun sonucunda verim potansiyeli azalış göstermektedir [3]. İyi bir meyve tutumu için çiçeklenme aşamasında gece sıcaklığının 15 °C’nin altına düşmemesi gerekmektedir. Gece sıcaklığı düşük olduğunda, partenokarpik biber meyveleri meydana gelmektedir. Serada ortam sıcaklığı 5 °C’nin altına düştüğünde ve ısıtma yapılmadığı takdirde ise bitkilerin hayati fonksiyonlarında belirgin olarak azalışlar meydana gelmektedir. Ayrıca, 0°C’nin altındaki uzun süreli soğuklarda biber yetiştiriciliğinde bitki ölümleri ile karşılaşmaktadır.

Düşük sıcaklık stresine dayanıklılık yönünden sebze türleri arasında genotipik düzeyde farklılıklar bulunmaktadır. Bazı genotipler; hücre membranlarının lipit bileşimlerinde, çözülebilir maddelerde, bitki besin elementlerinde ve protein miktarlarında değişimler gerçekleştirerek ya da antioksidant enzim sistemlerini aktive ederek düşük sıcaklık sürecine karşı toleranslık sağlayabilmektedirler [12]. Bu nedenle, çeşit dayanıklılık ıslah programları ile düşük sıcaklık stresine dayanıklı genotiplerin belirlenmesi, tolerans mekanizmalarının açıklanması, dayanıklı genetik kaynaklarının korunması ve diğer türlere dayanıklılığın aktarılmasına yönelik araştırmaların yapılması büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, üniversite ve özel sektör işbirliği kapsamında Türkiye’nin yerli dolmalık biber genetik kaynakları kullanılarak geliştirilen düşük sıcaklığa tolerant, yerli hibrit biber çeşit adaylarının ısıtmasız serada sonbahar dönemi yetiştiriciliğinde meyve kalite unsurları ve verimlilik performansları yönünden incelenmesi amaçlanmıştır.

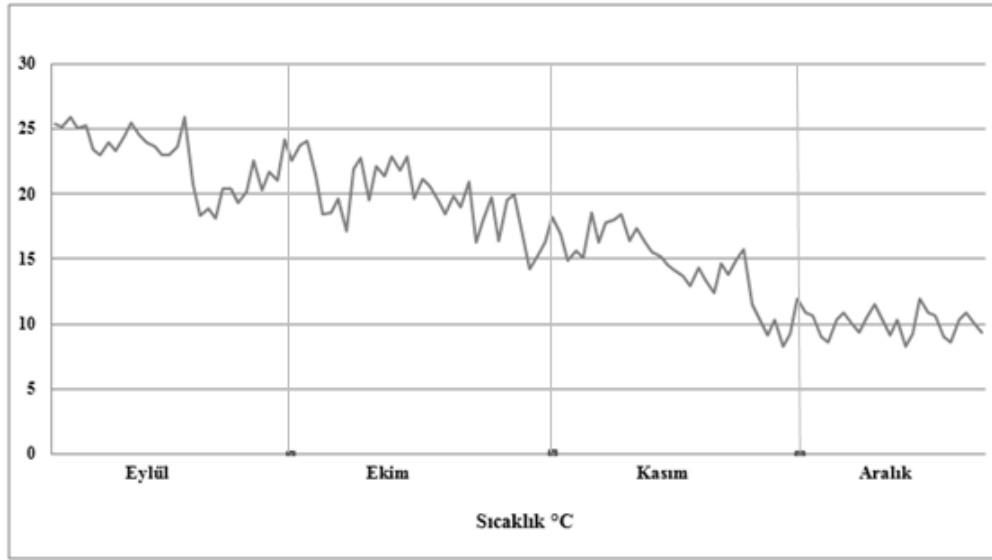
## II. MATERYAL VE METOT

Çalışma, Samsun ekolojik koşullarında Eylül 2018-Aralık 2018 tarihleri arasındaki dönemde yürütülmüştür. Araştırmanın arazi çalışmaları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serasında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları ise Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji laboratuvarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak, OMÜ BAP 1903-Sanayi İşbirliği Araştırma Projeleri kapsamında tür içi melezleme ıslah programı sonucunda geliştirilen düşük sıcaklığa tolerant 28 adet dolmalık biber çeşit adayı kullanılmıştır (Tablo 1). Ayrıca kontrol çeşit olarak düşük sıcaklığa dayanımı tolerant olarak bildirilen Benino F<sub>1</sub> dolmalık biber çeşidi kullanılmıştır.

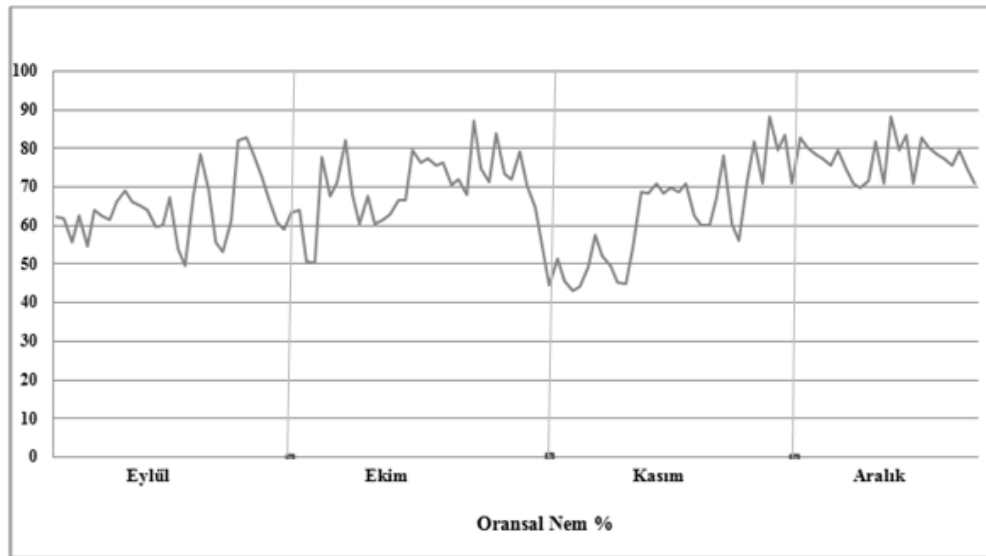
**Tablo 1.** Düşük sıcaklığa tolerant dolmalık biber genotiplerinin oluşturulmasına yönelik oluşturulan tür içi melez kombinasyonlarına ait kayıt bilgileri

Kod Numarası	Ana Ebeveyn	X	Baba Ebeveyn	Kod Numarası	Ana Ebeveyn	X	Baba Ebeveyn
HD1	EF119	X	PB60	HD15	PB75	X	EF261
HD2	EF153	X	PB60	HD16	PB75	X	EF321
HD3	EF164	X	PB60	HD17	PB75	X	EF365
HD4	PB90	X	EF683	HD18	PB75	X	EF393
HD5	EF171	X	PB60	HD19	PB75	X	EF407
HD6	EF292	X	PB60	HD20	PB75	X	EF683
HD7	EF303	X	PB60	HD21	PB77	X	EF119
HD8	EF473	X	PB60	HD22	PB90	X	EF153
HD9	EF502	X	PB60	HD23	PB90	X	EF168
HD10	EF627	X	PB60	HD24	PB90	X	EF261
HD11	PB61	X	EF393	HD25	PB90	X	EF321
HD12	PB75	X	EF119	HD26	PB90	X	EF365
HD13	PB75	X	EF164	HD27	PB90	X	EF393
HD14	PB75	X	EF168	HD28	PB90	X	EF407

Serada dikim öncesinde, 0-30 cm derinlikten toprak analizi için örnekler alınmıştır. Toprak analizleri, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Toprak Analiz Laboratuvarında yaptırılmıştır [13]. Toprak yapısının killi, pH'nın nötr, organik madde miktarının ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deneme arazisinde toprak tuzluluğu ve kireç miktarının az, fosfor ile potasyum içeriği yönünden de oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Hibrit dolmalık biber genotiplerine ait tohum ekimleri, Antalya'da bulunan Genetika Tohumculuk Tarım Sanayi ve Ticaret Limited Şirketine ait fide üretim serasında 3:1 oranında torf ve perlit karışımı ile hazırlanan ortamla doldurulmuş olan viyollere yapılmıştır. Dolmalık biber fideleri, 3-4 gerçek yapraklı döneme kadar  $25\pm 2$  °C sıcaklık değerine sahip kontrollü serada yetiştirilmiştir. Düşük sıcaklığa tolerant, güçlü kök yapısı olan hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının ısıtsız serada fide dikimleri, her tekerrürde 6 bitki olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre 31.08.2018 tarihinde yapılmıştır. Sera içerisindeki sıcaklık ve oransal nem değerleri "Datalogger ölçüm cihazı" ile günlük olarak ölçülmüştür (Şekil 1, Şekil 2). Dikim işleminden sonra serada yetiştirilen bitkilere toprak analiz sonuçlarına göre gübreleme programı uygulanmıştır. Ayrıca diğer kültürel işlemler de (budama, ilaçlama vb. ) düzenli olarak yapılmıştır.



Şekil 1. Isıtsız serada Eylül-Aralık yetiştirme dönemine ait ortalama sıcaklık değerlerinin günlük değişimleri



Şekil 2. Isıtsız serada Eylül-Aralık yetiştirme dönemine ait ortalama oransal nem değerlerinin günlük değişimleri

Çalışmada hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının ilk çiçeklenme süresi (gün), ilk hasat zamanı (gün) ve hasat periyodu gibi fenolojik gözlemler yapılmıştır. Biber genotiplerinde meyve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla aşağıdaki özellikler incelenmiştir.

1. Ortalama meyve boyu (mm): Her genotipte hasat edilen meyvelerde meyve uzunlukları dijital kumpas yardımıyla ölçülüp, ortalamaları alınmıştır.
2. Ortalama meyve eni (mm): Hasat edilen meyvelerin eni, dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür.
3. Meyve şekil indeksi: Her genotipte meyvelerin boy/en değerleri hesaplanarak meyve şekil indeksi katsayıları belirlenmiştir.
4. Meyve sap uzunluğu (mm): Her genotipte hasat edilen meyvelerde meyve sap uzunlukları, dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür.
5. Meyve rengi: Görsel olarak koyu yeşil, yeşil, açık yeşil ve sarı olarak belirlenmiştir. Dijital olarak, Minolta CR-410 tristimulus renk ölçer aleti kullanılarak meyvenin karşılıklı olarak iki bölgesinden yapılmıştır. Minolta Chronometre renk ölçüm aleti ile meyve renk yoğunluklarının değerlendirilmesi; L: Parlaklık oranı, +a: Kırmızı, -a: Yeşil, +b: Sarı, -b: Mavi skalasına göre yapılmıştır.
6. Meyve et kalınlığı (mm): Her genotipte hasat edilen meyvelerde, meyve eti kalınlığını çekirdek evinin bittiği noktadan başlanarak meyve et kısmının tamamı dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür.
7. Ortalama kuru madde miktarı (g): Her genotipten hasat edilen meyve örneklerinin, kuru madde miktarlarının belirlenmesi amacıyla 80 °C'de 72 saat süreyle etüvde kurutulmuştur [2]. Daha sonra meyve kuru ağırlıkları, hassas terazi (0.001 g) kullanılarak belirlenmiştir.

Meyve hasatları, hibrit çeşit adaylarının meyve olgunlaşmasına bağlı olarak beş gün aralıklarla kademeli olarak yapılmıştır. Hibrit dolmalık biber genotiplerinde verim performanslarının belirlenmesi amacıyla aşağıdaki özellikler incelenmiştir.

1. Meyve sayısı/bitki (Adet): Hasat dönemi içinde her bir bitkiden hasat edilen toplam meyve sayıları belirlenmiştir.
2. Toplam meyve ağırlığı/bitki (g): Hasat dönemi içinde her bir bitkiden hasat edilen tüm meyvelerin ağırlıkları hassas terazi (0.001 g) kullanılarak saptanmıştır.
3. Ortalama meyve ağırlığı (g): Her bitkiden hasat edilen tüm meyvelerin toplam ağırlığının, toplam meyve sayısına oranlanması ile ortalama meyve ağırlığı değerleri belirlenmiştir.
4. Toplam verim (kg/da): Her hasatta alınan verim değerleri birleştirilerek toplam verim miktarları tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen tüm veriler, JMP 5.01 istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuş ve Duncan çoklu karşılaştırma sistemine göre benzerlik ve farklılık gruplandırmaları yapılmıştır.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada, Samsun ekolojik koşullarında sonbahar döneminde hibrit dolmalık biber çeşit adaylarında ilk çiçeklenme tarihleri, genotiplere göre değişmekle birlikte en erken, HD-20 (15.8 gün, 16 Eylül) genotipinde ve en geç çiçeklenme ise HD-23 (30.8 gün, 1 Ekim) genotipinde tespit edilmiştir (Tablo 2). Literatürde, Asi F<sub>1</sub> ve Görkem F<sub>1</sub> biber çeşitlerinin 43-48 gün arasında ilk çiçeklenmeye ulaştıklarını bildirilmiştir [14]. Başka bir çalışmada ise 185 farklı biber genotipinde tohum ekiminden itibaren ilk çiçeklenme tarihlerinin 19-55 gün arasında değiştiği tespit edilmiştir [15]. Araştırma sonuçları ile literatürlerde belirtilen çiçeklenme süreleri arasındaki farklılıklar genel olarak ekoloji ve biber genotipleri arasındaki genetik çeşitlilikten kaynaklanmaktadır.

Dolmalık biber çeşit adaylarında olgunlaşma süresi, genotiplere ve çevre koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Araştırma sonucunda, Samsun'da sonbahar döneminde, ısıtmasız serada yapılan yetiştiricilikte dolmalık biber çeşit adaylarında ilk hasat sürelerinin 46 ile 58 gün arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Literatürde farklı dolmalık biber çeşitlerinde ilk hasat tarihinin 47-53 gün arasında değiştiği bildirilmiştir [16]. Bu çalışmada, en son hasat işlemi 20 Aralık 2018 tarihinde yapılmıştır. Dolmalık biber

genotiplerinde en kısa hasat periyodu 47.1 gün ile HD-6 genotipinde, en uzun hasat periyodu ise 65.0 gün ile HD-12 genotipinde kaydedilmiştir (Tablo 2).

Hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının meyve boyu, meyve eni, meyve sap uzunluğu ve meyve şekil indeksine ait ayrıntılı sonuçlar, Tablo 3’de verilmiştir. Dolmalık biber genotipleri arasında meyve boyu değerleri yönünden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıkların olduğu bulunmuştur. Dolmalık biber genotiplerinde ortalama meyve boyu değerlerinin, 59.63-76.93 mm arasında dağılım gösterdikleri belirlenmiştir. En uzun meyve boyu, 76.93 mm ile HD-8 genotipi ve en kısa meyve boyu ise 59.63 mm ile HD-6 genotipine ait meyvelerde ölçülmüştür. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, dolmalık biber genotiplerinde meyve uzunluğunun 5.0-8.4 cm arasında [16] veya 5.8-6.6 cm arasında değişim gösterdikleri bildirilmiştir [17]. Araştırma sonuçları, belirtilen literatürleri destekler nitelikte olmuştur.

**Tablo 2.** Dolmalık biber genotiplerinde ilk çiçeklenme (gün) ve ilk hasat süreleri (gün) ile hasat periyotları (gün)

Genotip No	İlk Çiçeklenme Süresi (gün)	İlk Hasat Süresi (gün)	Hasat Periyodu (gün)
HD-1	27.8 a-c	52.8 a-e	53.1 d-h
HD-2	25.1 a-f	52.3 b-e	56.1 b-e
HD-3	23.6 b-g	50.8 b-g	60.1 a-d
HD-4	21.8 c-h	51.8 b-f	59.1 a-d
HD-5	29.0 ab	56.0 ab	47.5 gh
HD-6	24.8 a-f	53.8 a-d	47.1 h
HD-7	26.3 a-d	53.6 a-d	54.8 b-h
HD-8	25.0 a-f	50.3 b-g	58.1 a-e
HD-9	23.0 b-g	54.5 a-c	54.0 c-h
HD-10	22.1 c-h	52.6 b-e	53.3 d-h
HD-11	21.8 d-h	51.0 b-g	57.5 a-e
HD-12	18.8 f-h	46.0 g	65.0 a
HD-13	20.6 d-h	51.3 b-g	54.6 b-h
HD-14	28.6 ab	52.1 b-e	56.3 b-e
HD-15	24.0 b-f	50.0 c-g	56.0 b-f
HD-16	24.6 a-f	49.7 c-g	57.6 a-e
HD-17	21.1 d-h	52.3 b-e	56.1 b-e
HD-18	19.8 e-h	48.5 d-g	55.0 b-h
HD-19	22.1 c-h	51.0 b-g	60.0 a-d
HD-20	15.8 h	46.0 g	62.5 ab
HD-21	22.6 b-g	48.5 d-g	50.0 e-h
HD-22	17.5 g-h	47.5 e-g	56.0 b-f
HD-23	30.8 a	58.3 a	47.6 f-h
HD-24	23.8 b-g	51.0 b-g	60.0 a-d
HD-25	25.8 a-e	55.0 a-c	56.0 b-f
HD-26	27.8 a-c	53.5 a-d	55.0 b-h
HD-27	17.5 g-h	46.5 f-g	62.0 a-c
HD-28	26.5 a-d	55.3 a-c	55.6 b-g
Benino F <sub>1</sub>	31.0 a	58.3 a	50.1 e-h
P	<0.05	<0.05	<0.05

Dolmalık biber genotiplerinde meyve eni değerleri, ortalama 47.31-55.86 mm arasında değişim göstermiştir. En geniş meyve eni, HD-5 (55.86 mm) genotipinde ölçülmüştür. Bunu sırasıyla HD-6 (54.10 mm) ve HD-12 (54.08 mm) genotipleri izlemiştir. Meyve eni en dar olan biber genotipleri ise istatistiksel olarak aynı grupta yer alan HD-18 (47.31 mm), HD-27 (47.46 mm) ve HD-19 (47.52 mm) olarak tespit edilmiştir. Kontrol Benino F<sub>1</sub> çeşidinde ise meyve eni, ortalama 52.28 mm olarak ölçülmüştür. Literatürde farklı dolmalık biber çeşitlerinde meyve eni değerinin 4.7-4.9 cm arasında değiştiği bildirilmiştir ([16]). Başka bir çalışmada ise dolmalık biber genotiplerinde ortalama meyve eni değerinin 4.7-6.8 cm arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir [17].

Araştırmada biber genotiplerinde meyve boyu değerleri meyve eni değerlerine oranlanarak meyve şekil indeksi katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, HD-8 genotipinin (1.61) en yüksek meyve şekil indeksine ve HD-12 genotipinin ise (1.11) en düşük meyve şekil indeksi katsayısına sahip olduğu saptanmıştır (Tablo 3). Araştırmada kontrol olarak yer alan Benino F<sub>1</sub> çeşidinin meyve şekil indeksinin ise 1.33 olduğu tespit edilmiştir. Meyve şekil indeksi değerlerine göre genotipler arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır.



**Tablo 3.** Hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının ortalama meyve uzunluğu, meyve sap uzunluğu ve meyve şekil indeksine ait sonuçlar

Genotip No	Meyve Boyu (mm)	Meyve Eni (mm)	Meyve Sap Uzunluğu (mm)	Meyve Şekil İndeksi
HD-1	62.17 h-j	53.08 a-c	36.30 d-ı	1.17
HD-2	69.13 c-g	50.84 b-f	39.35 b-h	1.35
HD-3	62.68 g-j	50.89 b-f	34.63 h-j	1.23
HD-4	69.51 b-f	49.60 c-f	36.37 d-ı	1.40
HD-5	63.61 e-j	55.86 a	34.99 g-j	1.13
HD-6	59.63 j	54.10 ab	30.72 j	1.10
HD-7	69.13 c-h	50.45 b-f	36.71 d-ı	1.37
HD-8	76.93 a	47.57 ef	41.07 a-e	1.61
HD-9	71.61 a-d	49.41 c-f	38.08 b-h	1.44
HD-10	70.04 b-e	47.96 ef	37.88 b-h	1.46
HD-11	70.65 a-d	49.28 c-f	38.97 b-h	1.43
HD-12	60.38 ij	54.08 ab	39.51 b-g	1.11
HD-13	67.15 c-ı	49.82 c-f	36.94 c-ı	1.34
HD-14	63.74 e-j	49.25 c-f	32.05 ij	1.29
HD-15	69.33 b-g	50.15 c-f	38.11 b-h	1.38
HD-16	63.12 f-j	50.06 c-f	39.80 b-g	1.26
HD-17	70.06 b-e	49.54 c-f	41.92 a-c	1.41
HD-18	75.95 ab	47.31 f	40.10 b-f	1.60
HD-19	70.84 a-d	47.52 f	35.77 f-j	1.49
HD-20	69.90 b-e	50.00 c-f	39.19 b-h	1.39
HD-21	67.33 c-h	52.16 a-d	42.82 ab	1.29
HD-22	66.31 d-j	51.41 b-e	42.51 ab	1.29
HD-23	72.48 a-d	51.45 b-e	38.42 b-h	1.40
HD-24	70.09 b-e	48.05 ef	36.01 e-ı	1.45
HD-25	66.00 d-j	48.78 d-f	39.63 b-h	1.35
HD-26	67.52 c-h	49.02 d-f	39.40 b-h	1.37
HD-27	73.19 a-c	47.46 f	41.37 a-d	1.54
HD-28	71.01 a-d	48.22 ef	45.44 a	1.47
Benino	69.99 b-e	52.28 a-d	39.78 b-g	1.33
P	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05

Çalışmada hibrit dolmalık çeşit adaylarında ortalama meyve sap uzunluklarının 30.72-45.44 mm arasında dağılışı gösterdiği saptanmıştır (Tablo 3). Dolmalık biber genotipleri içerisinde en kısa meyve sapı uzunluğu HD-6 (30.72 mm) genotipinde ölçülmüştür. En uzun meyve sapı uzunluğu ise HD-28 (45.44 mm) çeşit adayında belirlenmiştir. Bunu istatistiksel olarak aynı sınıfta yer alan HD-21 (42.82 mm) ve HD-22 (42.51 mm) genotipleri izlemiştir.

Serada sonbahar ve kış dönemi yetiştiriciliğinde özellikle tüketiciler ve üreticiler tarafından aranan meyve özelliklerinden birisi de meyve rengidir. Çalışmada dolmalık biber genotiplerinin meyve kabuk renkleri görsel olarak ve dijital renk ölçme aleti ile belirlenmiştir. Yapılan görsel incelemede, renk tonları yönünden dolmalık biber genotipleri arasında belirgin farklılıkların olduğu saptanmıştır. Genotiplere göre meyve renklerinin koyu yeşil, yeşil, açık yeşil ve sarı renk tonlarında olduğu belirlenmiştir. Dolmalık biber genotiplerinin meyve rengi görsel olarak incelendiğinde; 11 genotipin yeşil, 9 genotipin koyu yeşil, 8 genotipin açık yeşil ve 1 genotipin ise sarı renkli olduğu bulunmuştur (Tablo 4).

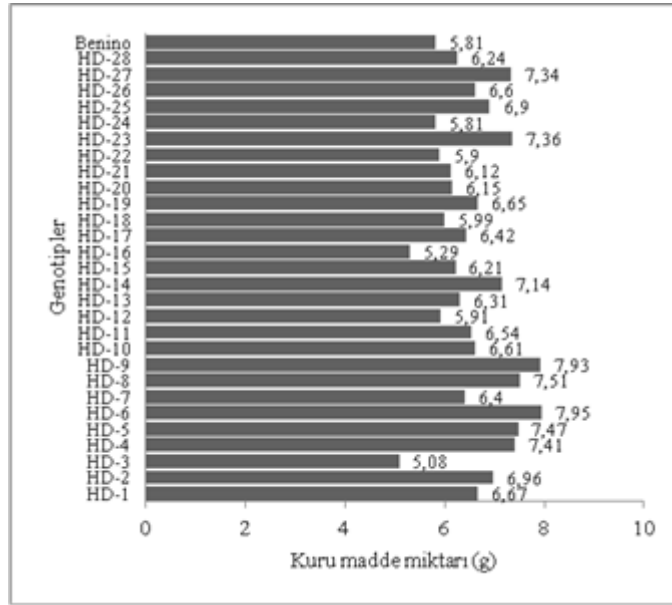
Dijital renk ölçüm sonuçlarına göre; dolmalık biber genotiplerinin meyve kabuk renklerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıkların olduğu saptanmıştır. Meyve kabuk renk bileşenleri incelendiğinde; L değeri, 41.72 ile 48.14 arasında değişim göstermiştir. En yüksek L değeri (parlaklık), HD-14 (48.14) genotipine aittir. En düşük L değeri ise HD-6 (41.72) genotipinde belirlenmiştir. En yüksek a değeri, HD-15 (16.42) ve en düşük ise HD-26 (13.34) çeşit adayında belirlenmiştir. En yüksek b değerinin ise HD-15 (19.71) genotipinde ve en düşük değer ise istatistiksel olarak aynı sınıfta yer alan HD-26 (13.26) ve HD-28 (13.37) çeşit adaylarına ait olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Dolmalık biber genotiplerinde görsel olarak belirlenen meyve kabuk renkleri ve dijital olarak ölçülen L, a, b değerlerine ait sonuçlar

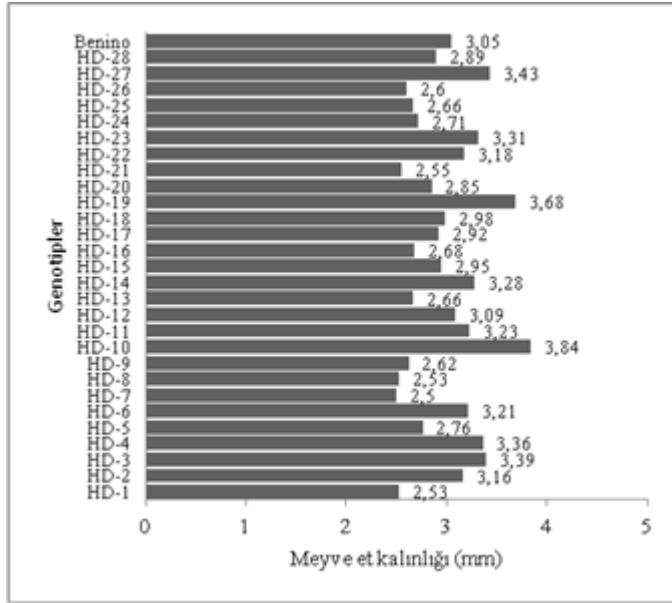
Genotip	Görsel	Dijital (Minalto Chrometre)		
		L	-a	+b
HD-1	Açık yeşil	43.57 b-f	-13.98 c-f	14.63 c-e
HD-2	Yeşil	44.18 b-f	-15.01 a-f	16.85 a-e
HD-3	Açık yeşil	45.13 a-f	-15.59 a-d	17.18 a-e
HD-4	Yeşil	43.72 b-f	-14.49 a-f	15.60 a-e
HD-5	Koyu yeşil	44.22 b-f	-14.95 a-f	17.11 a-e
HD-6	Yeşil	41.72 f	-14.12 b-f	15.00 b-e
HD-7	Koyu yeşil	43.71 b-f	-14.77 a-f	15.24 a-e
HD-8	Yeşil	45.03 a-f	-15.25 a-f	17.08 a-e
HD-9	Koyu yeşil	43.96 b-f	-15.32 a-e	16.09 a-e
HD-10	Koyu yeşil	45.50 a-e	-15.94 ab	18.10 a-d
HD-11	Açık yeşil	46.21 a-e	-15.95 ab	18.28 a-d
HD-12	Koyu yeşil	44.83 a-f	-15.26 a-f	17.41 a-e
HD-13	Yeşil	46.83 ab	-15.94 ab	19.37 ab
HD-14	Sarı	48.14 a	-14.22 b-f	18.00 a-d
HD-15	Açık yeşil	46.38 a-d	-16.42 a	19.71 a
HD-16	Yeşil	44.39 b-f	-14.65 a-f	16.28 a-e
HD-17	Açık yeşil	46.63 a-c	-15.05 a-f	18.78 a-c
HD-18	Açık yeşil	45.95 a-e	-15.68 a-c	18.09 a-d
HD-19	Yeşil	46.35 a-e	-15.14 a-f	17.66 a-e
HD-20	Açık yeşil	43.98 b-f	-14.46 b-f	15.61 a-e
HD-21	Koyu yeşil	44.16 b-f	-13.88 c-f	14.27 d
HD-22	Yeşil	43.60 b-f	-13.99 c-f	14.33 c-e
HD-23	Yeşil	43.73 b-f	-13.60 ef	13.90 de
HD-24	Koyu yeşil	43.96 b-f	-13.86 c-f	14.08 de
HD-25	Koyu yeşil	43.11 d-f	-13.72 d-f	13.87 de
HD-26	Açık yeşil	43.23 c-f	-13.34 f	13.26 e
HD-27	Yeşil	44.21 b-f	-13.77 c-f	14.18 de
HD-28	Koyu yeşil	43.46 b-f	-13.56 ef	13.37 e
Benino F <sub>1</sub>	Yeşil	42.90 ef	-13.54 ef	14.31 c-e
P		<0.05	<0.05	<0.05

Meyvede kaliteyi etkileyen en önemli unsurlardan birisi de meyvedeki kuru madde miktarıdır. Dolmalık biber genotiplerinin meyvelerindeki ortalama kuru madde miktarı değerleri incelendiğinde; en yüksek HD-6 (7.95 g) genotipinde olduğu belirlenmiştir. En düşük değer ise HD-3 (5.08 g) genotipinde saptanmıştır. Benino F<sub>1</sub> çeşidinin meyvelerindeki kuru madde miktarının ise ortalama 5.81 g olduğu bulunmuştur (Şekil 3).

Dolmalık biberlerde, tüketiciler tarafından aranan diğer bir meyve kalite kriteri ise meyve et kalınlığıdır. Biberde, meyve etinin çok kalın olması ya da çok ince olması istenilen bir pazar kriteri değildir [18]. Araştırma sonucunda; en yüksek meyve et kalınlığına sahip olan genotipin HD-10 (3.84 mm) ve en düşük meyve et kalınlığına ise HD-7 (2.50 mm) genotipinin sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Benino F<sub>1</sub> çeşidinin ortalama meyve et kalınlığı değeri ise 3.05 mm olarak saptanmıştır. Literatürde dolmalık biber genotiplerinde meyve et kalınlığı değerlerinin 3.0-4.0 mm arasında değiştiği bildirilmiştir [17].



Şekil 3. Dolmalık biber genotiplerinde meyvede ortalama kuru madde miktarı (g) değerlerinin değişimi



Şekil 4. Dolmalık biber genotiplerinde meyve et kalınlığı (mm) değerlerine ait sonuçlar

Hibrit dolmalık biber genotiplerinin, sonbahar döneminde ısıtmasız serada meyve verim unsurları yönünden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıklar gösterdikleri belirlenmiştir (Tablo 5). Isıtmasız serada sonbahar döneminde dolmalık biber genotiplerinde bitki başına ortalama meyve sayılarının, 15.6-30.0 adet arasında dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 5). Bitki başına en yüksek meyve sayısı, HD-8 (30.0 adet) çeşit adayında belirlenmiştir. Bunu, HD-24 (28.3 adet) genotipi takip etmiştir. Bitki başına en düşük meyve sayısının ise HD-16 (15.6 adet) genotipinde olduğu saptanmıştır. Kontrol Benino F<sub>1</sub> çeşidinde ise bitki başına meyve sayısının ortalama 16.3 adet olduğu belirlenmiştir. Sonbahar döneminde hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının, büyük bir çoğunluğunun, Benino F<sub>1</sub> çeşidine göre bitki başına meyve sayılarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Dolmalık biber genotiplerinin verim unsurlarına ait sonuçlar

Genotip No	Bitki Başına Meyve Sayısı (Adet)	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Bitki Başına Toplam Meyve Ağırlığı (g)	Dekara Verim (kg/da)
HD-1	19.0 c-e	50.93	967.7 b-d	3415.5 b-d
HD-2	20.0 b-e	50.55	1011.1 a-d	3568.8 a-d
HD-3	19.3 b-e	48.52	936.5 b-d	3305.4 b-d
HD-4	26.3 a-c	48.34	1271.5 a-c	4487.9 a-c
HD-5	17.0 de	54.74	930.7 b-d	3284.8 b-d
HD-6	19.6 b-e	52.64	1031.9 a-d	3642.3 a-d
HD-7	23.3 a-e	44.45	1035.8 a-d	3655.8 a-d
HD-8	30.0 a	48.19	1445.7 a	5102.5 a
HD-9	20.0 b-e	55.52	1110.3 a-d	3919.0 a-d
HD-10	23.6 a-e	47.80	1128.2 a-d	3981.9 a-d
HD-11	19.3 b-e	51.20	988.3 a-d	3488.3 a-d
HD-12	23.0 a-e	19.80	1145.5 a-d	4043.1 a-d
HD-13	19.0 c-e	49.58	942.2 b-d	3325.5 b-d
HD-14	26.3 a-d	44.68	1175.1 a-d	4147.4 a-d
HD-15	21.3 a-e	49.70	1058.8 a-d	3737.1 a-d
HD-16	15.6 e	46.5	725.4 d	2560.5 d
HD-17	23.0 a-e	47.33	1088.6 a-d	3842.4 a-d
HD-18	22.6 a-e	50.00	1130.2 a-d	3988.9 a-d
HD-19	22.3 a-e	52.32	1166.9 a-d	4118.6 a-d
HD-20	27.0 a-c	49.61	1339.7 ab	4728.4 ab
HD-21	18.0 c-e	50.24	904.4 b-d	3192.1 b-d
HD-22	22.6 a-e	49.26	1113.5 a-d	3930.3 a-d
HD-23	21.0 a-e	49.2	1033.2 a-d	3646.7 a-d
HD-24	28.3 ab	45.68	1292.9 ab	4563.4 ab
HD-25	21.3 a-e	46.81	997.25 a-d	3519.7 a-d
HD-26	21.3 a-e	46.3	986.9 a-d	3483.2 a-d
HD-27	23.0 a-e	48.75	1121.4 a-d	3957.9 a-d
HD-28	22.3 a-e	48.56	1082.9 a-d	3822.3 a-d
Benino F <sub>1</sub>	16.3 e	49.38	805.0 cd	2841.2 cd
P	< 0.05	>0.05	< 0.05	< 0.05

Dolmalık biberde meyve büyüklüğü, tüketiciler tarafından aranan önemli bir pazar kriteridir. Tüketiciler meyvelerin çok büyük olmasını arzu etmemektedir [18]. Ortalama meyve ağırlığı yönünden hibrit dolmalık biber genotipleri arasında istatistiksel olarak farklılık tespit edilmemiştir (Tablo 5). En yüksek ortalama meyve ağırlığı değerleri sırasıyla; HD-9 (55.52 g) ve HD-5 (54.74 g) çeşit adaylarında belirlenmiştir. Yapılan diğer araştırmalarda, dolmalık biber çeşitlerinde ortalama meyve ağırlığının, 29.2 g-33.3 g arasında veya 34.34 g-64.34 g arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir [16,17]. Araştırma sonuçları, genotiplere göre değişmekle birlikte belirtilen literatürler ile genel olarak uyumluluk göstermiştir.

Bitki başına toplam meyve ağırlığı değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek verim değeri HD-8 (1445.7 g) çeşit adayından elde edilmiştir. En düşük verim değeri ise HD-16 (725.4 g) genotipinde saptanmıştır. Dekara verim değerlerinin dolmalık biber genotiplerinde 2560.5 kg ile 5102.5 kg arasında değişim gösterdiği saptanmıştır (Tablo 5). En yüksek dekara verim değeri, HD-8 (5102.5 kg) genotipinde ve en düşük verim ise HD-16 (2560.5 kg) genotipinde tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, Samsun ekolojik koşullarında ısıtmasız serada hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının büyük bir çoğunluğunun dekara verim değerlerinin kontrol çeşitten (Benino F<sub>1</sub>) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, belirtilen hibrit adaylarının ticari üretimde yer bulması açısından oldukça önemlidir. Biber yetiştiriciliğinde çeşitlerin verim kapasiteleri, yetiştirme mevsimi ve vejetasyon süresi, yetiştirildiği ortam, gübreleme, sulama, budama, toprak işleme, hastalık ve zararlılarla savaşım, toprağın fiziksel ve biyolojik yapısı vb. faktörlere göre değişkenlik göstermektedir [19]. Literatürde serada dolmalık biber yetiştiriciliğinde 26.60 t/ha verim elde edildiği belirtilmiştir [20]. Araştırma sonuçları ile belirtilen literatürlere ait verim değerleri arasındaki farklılık, genotip×çevre interaksyonundan kaynaklanmaktadır.

#### IV. SONUÇ

Bitkilerin düşük sıcaklıklarda zararlanma düzeyleri birçok faktöre bağlıdır. Bunlar bitkilerin genotipik yapısı, kalıtsal nitelikleri, bitki bünyesindeki içsel maddeler ve biyokimyasal değişimler, düşük sıcaklığın derecesi, düşük sıcaklığın ortaya çıkış zamanı, sıcaklığın düşüş hızı ve bitkiye uygulanan kültürel uygulamalar olarak sayılabilir. Bu faktörlerin her birinin soğuğa dayanım mekanizmasında ayrı bir fizyolojik önemi vardır. Bunlar çoğu zaman karşılıklı etkileşerek bitkinin soğuğa dayanımını sağlamakta veya duyarlılığını artırmaktadır [21,22]. Düşük sıcaklık stresine dayanıklılık yönünden bitki türleri arasında genotipik düzeyde farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda hem klasik dayanıklılık ıslahı çalışmalarında ve hem de fizyolojik ve moleküler düzeydeki araştırmalarda düşük sıcaklık stresine tolerant yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve toleranslıkta rol alan mekanizmaların belirlenmesi çalışmalarına daha fazla önem verilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada özel sektör ile birlikte yürütülen “Dolmalık biber genotiplerinde düşük sıcaklığa dayanıklı hibrit çeşit geliştirme ıslah programı” sonucunda geliştirilen hibrit dolmalık biber çeşit adaylarının meyve kalitesi ve verim unsurları yönünden performansları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmada incelenen tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde; HD-4, HD-8 ve HD-24 genotiplerinin düşük sıcaklığa dayanıklı veya tolerant olduğu, takoz meyve oluşumunun görülmediği ve sonbahar yetiştiriciliği için en uygun hibrit dolmalık biber çeşit adayları olduğu belirlenmiştir. Belirtilen hibrit dolmalık çeşit adaylarının Antalya’da ısıtmasız seralarda kış dönemi yetiştiriciliğinde performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmalar halen firma tarafından yürütülmektedir. Hem sonbahar ve hem de kış dönemi yetiştiriciliğinde öne çıkan dolmalık hibrit biber çeşit adaylarının, firma tarafından çeşit tescilleri (Standart Tohumluk Kaydı) önümüzdeki dönem yapılacaktır. Araştırma sonucunda düşük sıcaklığa tolerant veya dayanıklı yerli hibrit dolmalık biber çeşitlerinin geliştirilmesiyle hem biber tohumluk ithalatı azalacak ve hem de ısıtma masrafı olmadan düşük sıcaklığa tolerant çeşitlerin kullanımı ile daha ucuza, geniş bir üretim periyodunda yetiştiricilik yapılması mümkün olabilecektir.

#### TEŞEKKÜR

Araştırma, Sanayi ile İş Birliği Araştırmalarını Destekleme Programı (1903 kodlu projeler) kapsamında Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.ZRT.1903.16.001 proje numarası ile desteklenmiştir. Projenin yürütülmesinde maddi katkıları için Ondokuz Mayıs Üniversitesi ve Genetika Tohumculuk Firmasına teşekkür ederiz. Bu çalışma, Yükseköğretim Kurulu 637280 numaralı Rüveyda Özgen’in yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve Yazlık Sebze Yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 410, Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- [2] Karaağaç, O. (2004). Biber Çeşit Islahı. Yüksek Lisans Semineri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [3] Şalk, A., Arın, L., Devci, M. & Polat, S. (2008). Özel Sebzecilik. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü. Sevil Cilt Evi ve Matbaası, Tekirdağ.
- [4] TÜİK, (2019). Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>, (Erişim tarihi: 28.04.2020).
- [5] Büyük İ., Soydam Aydın, S. & Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69, 2, 97-110.
- [6] Wien, H. C. (1997). The Physiology of Vegetable Crops. Department of Fruit and Vegetable Science, Cornell University, USA 259 -293.
- [7] Abak, K. (1995). Efficiency of bumble bees on the yield and quality of eggplant and tomato grown in unheated glasshouses. I International Symposium on *Solanacea* for Fresh Market, Malaga, Spain, 412.
- [8] Sánchez, E. G., Heuvelink, E. & Stanghellini, C. (2015). Physiological processes affected by low night temperatures in sweet pepper plants. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 253-254.
- [9] Keleş, D. (2007). Farklı biber genotiplerinin karakterizasyonu ve düşük sıcaklığa tolerans. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [10] Eti, S. (1996). Döllenme Biyolojisi Ders Notları, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adana.
- [11] George, R. A. T. (1985). Vegetable Seed Production. Longman Group Limited, London and New York, 318.
- [12] Turan, Ö. & Ekmekçi, Y. (2008). Soğuk stresinin bitkiler üzerine etkileri ve tolerans mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 177-198.

- [13] Anonim, (2018). Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae>.
- [14] Aydoğan, A. (2017). Örtüaltı biber (*Capsicum annuum* L. var. *longum* cvs “Asi F<sub>1</sub>” ve “Görkem F<sub>1</sub>”) yetiştiriciliğinde aşılı fide kullanımının bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- [15] Mutlu, S., Haytaoğlu, M. A., Kır, A. & İçer, B. (2009). Ulusal Gen Bankası Biber (*Capsicum annuum* L.) Materyalinde Morfolojik Karakterizasyon. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 63-91.
- [16] Oral, E. (2019). Dolma biberde (*Capsicum annuum* L.) sürgün budamasının verim ve kalite üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [17] Binbir, S. (2010). Bazı yerel biber (*Capsicum annuum* L.) populasyonlarında karakterizasyon çalışmaları. Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- [18] Karaağaç, O. (2006). Bafra Kırmızı Biber Gen Kaynaklarının (*Capsicum annuum* var. *conoides* Mill.) Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [19] Aybak, H. Ç. (2002). Biber Yetiştiriciliği. Hasad Yayıncılık, 160s, İstanbul.
- [20] Awalin, S., Shahjahan, M., Chandra, Roy, A., Akter, A. & Kabir, M. H. (2017). Response of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to foliar feeding with micro nutrients and shoot pruning. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 11(3), 1-8.
- [21] Eriş, A. (1985). Bahçe Bitkileri Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, 11, Bursa.
- [22] Günay, A. (1992). Özel Sebze Yetiştiriciliği. Cilt II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Çağ yayıncılık, Ankara.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## LSTM Tabanlı Derin Sinir Ağı ile Beşinci Nesil Küçük Hücre Ağlarında El Değiştirme Tahmini

### Handover Prediction in Fifth Generation Small Cell Networks with LSTM-Based Deep Neural Network

Murtaza Cicioğlu<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 15/12/2020*

*Revize / Revised: 04/01/2021*

*Kabul / Accepted: 08/01/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada, Uzun Kısa-Vadeli Hafıza (LSTM) tabanlı derin sinir ağı ile beşinci nesil küçük hücre ağlarında el değiştirme (handover, HO) tahminlerini gerçekleştiren yeni bir model geliştirilmiştir. İlk olarak HO tahmininde eğitim için kullanılacak olan veri seti Riverbed Modeller benzetim yazılımında tasarlanan benzetim senaryoları ile oluşturulmuştur. Bu senaryolar aracılığıyla sinir ağının veri kümesinde kullanılacak üç adet giriş (RSSI, SNR ve Jitter) değişkeni ve bir adet çıkış (istenen değer) değişkeni elde edilmiştir. Bu veri seti makine öğrenmesi algoritmalarından LSTM, SVM, Tree ve Lineer Regresyon teknikleri ile eğitilmiştir. LSTM tabanlı derin sinir ağı diğer regresyon algoritmaları ile karşılaştırılmış ve daha yüksek başarıma sahip olduğu tespit edilmiştir. LSTM için eğitilen modelin test sonuçları incelendiğinde;  $R^2$  0.94, MAE 0.3315, MSE 0.3670 ve RMSE değeri 0.6058 olarak bulunmuştur. LSTM tabanlı derin sinir ağlarının, regresyon işlemlerinde yüksek başarımlar gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak önerilen regresyon modeli ile 5G küçük hücre ağlarında HO kararlarının tahmin edilebildiği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** 5G, Küçük Hücre, Makine Öğrenmesi, LSTM

#### ABSTRACT

In this study, a new model is developed that performs handover prediction in fifth generation small cell networks with Long Short Term Memory (LSTM) based deep neural networks. Firstly, the data set to be used for training in handover prediction was created with simulation scenarios designed in Riverbed Modeller. Through these scenarios, three input (RSSI, SNR and Jitter) variables and one output variable (desired value) were obtained to be used in the data set of the neural network. This data set was trained with machine learning algorithms LSTM, SVM, Tree, and Linear Regression techniques. LSTM-based deep neural network was compared with other regression algorithms and was found to have higher performance. When the test results of the trained model for LSTM are examined;  $R^2$  0.94, MAE 0.3315, MSE 0.3670, and RMSE value 0.6058 was found. It was observed that LSTM-based deep neural networks show high performance in regression processes. As a result, study shows that handover decisions can be predicted in 5G small cell networks with the proposed regression model.

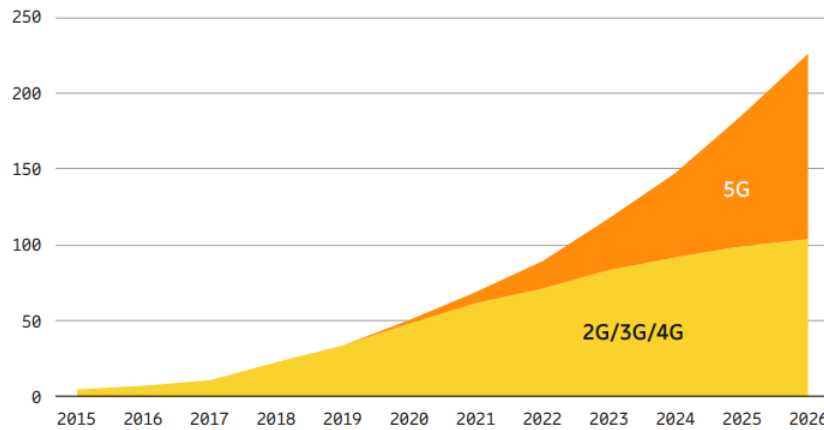
**Keywords-** 5G, Small Cell, Machine Learning, LSTM

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [murtazacicioglu@uludag.edu.tr](mailto:murtazacicioglu@uludag.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5657-7402>)  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

## I. GİRİŞ

Mobil veri trafiği her geçen yıl hızla artmakta, mevcut ağ altyapıları bu ihtiyaçlara cevap verme noktasında yetersiz kalmaktadır. İnternete bağlanan akıllı cihaz (telefonlar, tabletler vb.) sayısındaki üstel artış, kablosuz haberleşme altyapılarının performansını olumsuz etkilemektedir. Bu aşırı veri trafiği servis sağlayıcıları üstünde de ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Mobil kullanıcı ihtiyaçlarının kabul edilebilir seviyede karşılanabilmesi için yaratıcı, düşük maliyetli ve hızlı uygulanabilir yeni çözümlere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Beşinci Nesil (5th Generation, 5G) ağ mimarisinin gerçek ortamlarda uygulanabilmesi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeni nesil kablosuz haberleşme için en önemli hedefler arasındadır [1]–[3].

Ericsson şirketinin 2020 hareketlilik raporunda, 2026 yılına kadar toplam mobil verilerinin tahmini yüzde 54'ünü 5G teknolojisinin oluşturacağı öngörülmektedir [4]. Bu sonuç Şekil 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. 5G teknolojisi için günümüz hücresel ağlarda kullanılan düşük ve orta bant tayfları servis kalite gereksinimlerinin karşılanabilmesi açısından oldukça yetersizdir. Bu nedenle küçük hücreler şeklinde kablosuz ağ kurulmasına ve kısa mesafelerde yüksek veri taşıma kapasitesine sahip yüksek bant tayflarına ihtiyaç duyulmaktadır. 5G teknolojisinin tüm dünyada yaygınlaşabilmesi düşük kapsama alanlarına sahip çok fazla sayıda erişim noktalarının kurulmaları ile mümkün olacaktır. Bu bakımdan küçük hücreler 5G teknolojisinin yaygınlaşabilmesi için en kritik noktalardan biri olarak görülmektedir. Küçük hücre ağlarının yaygınlaştırılması ve performanslarının iyileştirilmesi geleceğin kablosuz haberleşme hedefleri arasındadır [5].



Şekil 1. Küresel mobil veri trafiği

Günümüz ağ altyapıları geniş kapsama alanına sahip makro hücrelerden (macro cells) oluşmaktadır. Ancak alışveriş merkezleri, stadyumlar, ulaşım istasyonları gibi özel ve yoğun ağ senaryoları düşünüldüğünde bu altyapıların kapsama ve kapasite açısından yetersiz ve verimsiz olduğu görülmektedir. Bu nedenle kapasite ve kapsama alanının artırılması kaçınılmaz bir ihtiyaca dönüşmüştür. Bu noktada iki farklı çözüm önerilebilmektedir. Bu çözüm önerilerinden ilki, ortama daha fazla baz istasyonu ekleyerek daha yoğun ağ ortamları oluşturmak, bir diğer çözüm önerisi ise daha fazla tayf tahsisi gerçekleştirmektir. Bu çözümlerden ikincisi için 4G teknolojisinin gelişimi ve iyileştirilmesi çalışmalarında tayf aralıkları, bant genişlikleri ile ilgili çalışmalar yapılmış ancak yine de yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çözümün de oldukça maliyet gerektirmesi de bir diğer dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle aşırı yoğun ağ (ultra-dense network, UDN) olarak isimlendirilen ilk önerinin daha uygun bir çözüm olduğu görülmektedir. UDN çok sayıda küçük hücrelerin çeşitli noktalara kurulması ve dağıtık anten sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Ağın yoğunlaştırılması yaklaşımı kapasite ve kapsama alanının artırılması konusunda başarılı sonuçlar vermektedir [6].

Geleneksel baz istasyonlarının tüm özelliklerine sahip küçük hücreler, mobil kullanıcıları küçük coğrafi alanlar üzerinden mobil ağlara bağlayan, kısa menzilli radyo erişim noktalarıdır. Farklı güç seviyesi ve kapsama alanına göre femtocells, picocells ve microcells olarak isimlendirilen bu baz istasyonlarının tamamı küçük hücreler (small cell) olarak genellenebilir. Küçük hücreler makro hücrelerin yetersiz kaldığı, yüksek veri kapasitesi ve kapsama alanı ihtiyacı olan aşırı yoğun kentsel alanlarda kurulması öngörülmektedir.



Hücreyel kablosuz haberleşme ağlarında, mobil kullanıcıların (MK) hareketlilik gereksinimleri el değiştirmeye (handover - HO) mekanizması ile sağlanabilmektedir [7]–[9]. Bu sayede MK hareket halindeyken ağır kapsama alanı içinde ya da dışında kesintisiz olarak haberleşmesini sürdürebilmektedir. HO mekanizması, bir küçük hücre baz istasyonu (eNB) tarafından sürdürülen bir oturumun komşu bir hücreye yeniden atanması işlemidir. MK bağlantı kurmaya çalıştığında baz istasyonları ilgili haberleşme sinyalleri ile gerekli kaynakları atamaktadır. HO işleminden dolayı MK ve baz istasyonları arasında oluşan paket alış verişleri ağ yüküne, gecikmelere ve paket kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu nedenle geliştirilecek HO algoritmalarının bu sorunlara çözüm bulması beklenmektedir. 5G küçük hücre ağlarının en önemli konulardan biri de HO yönetiminin etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir.

Son zamanlarda Makine Öğrenimi (MÖ) ve farklı bilişsel teknikler çeşitli ağ teknolojilerine uygulanmakta ve daha otonom, akıllı ve dinamik mimariler geliştirilmektedir [10]–[14]. Aljeri ve Boukerche [14] çalışmalarında HO yönetimi için iki katmanlı makine öğrenmesine dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. İlk olarak HO tetikleme kararını üretmek için erişim noktalarının alıcı sinyal gücünü tahmin eden tekrarlayan bir sinir ağı modeli kullanılmıştır. Akabinde bir sonraki erişim noktasını seçmek için bir Markov modeli geliştirilmiştir. Ensar Zeljković vd. [15] çalışmalarında MÖ destekli bir HO algoritması (ABRAHAM) geliştirmişlerdir. Bu çalışmada MK ile ağ geçidi arasındaki bağlantı kalitesini tahmin edebilen LSTM ağı modellenmiştir. Yao Sun vd. HO yönetiminden dolayı oluşan maliyetleri en aza indirebilmek amacıyla güçlendirilmiş dağıtık öğrenme yaklaşımına dayalı akıllı HO yönetimi (LESS) önermişlerdir [16]. Aşırı yoğun ağ ortamlarında geleneksel HO algoritmaları ile hareketlilik yönetimi hem oldukça zor hem de karmaşıklığa sebep olmaktadır. Bu soruna çözüm olarak MÖ tekniklerinden yararlanılması oldukça önemlidir. Bu sayede dinamik ağ koşullarında uygun HO kararlarının verilebilmesi mümkün olacaktır. Geleneksel yaklaşımda HO yönetimi için sadece Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication, RSSI) parametresi kullanılmaktadır. Ancak daha güvenilir HO yönetimi için RSSI parametresinin yanı sıra Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio, SNR) ve Jitter gibi daha önemli parametrelerden de yararlanılabilir. Jitter gecikmedeki değişiklik veya sinyalin iletilmesi ile alınması arasındaki zaman gecikmesi olarak ifade edilmektedir.

Geleneksel HO yönetiminde (3G/4G) en yüksek veri hızı, kapsama alanı ve tayf verimliliği gibi daha net metrikler ile daha çok ağ odaklı bir başarıya odaklanılmıştır. Bu nedenle MK'ların deneyim kalitesi olarak ifade edilen QoE (quality of experience) beklentileri ihmal edilmiştir. 5G teknolojisinin hücreyel ağları için öne sürdüğü en önemli yeniliklerden biri kullanıcı odaklı ve veriye dayalı akıllı ağ algoritmalarının geliştirilmesidir. Buradaki en önemli amaç ağ kaynaklarının kullanımını optimize etmek ve MK'ların QoE beklentilerini karşılayabilmektir. Bu beklentilerin karşılanabilmesi ağ ortamında daha fazla verinin toplanması ve en uygun kararları verebilen akıllı algoritmaların geliştirilmesi ile mümkündür. Önerdiğimiz makine öğrenmesi temelli HO yaklaşımı bu beklentilerin karşılanabilmesi için 5G küçük hücre ağlarının ağ ortamı ile ilgili verileri analiz edebilme yaklaşımına dayanmaktadır. Bu çalışmada 5G küçük hücre ağlarında makine öğrenmesi kullanılarak çok metrikli HO kararlarını tahmin edebilen yeni bir model geliştirilmiştir.

## II. SİSTEM MODELİ

5G küçük hücre ağlarında HO kararlarını önceden tahmin edebilmeyi amaçlayan yeni bir tekrarlayan sinir ağı (RNN), daha özeldir uzun kısa süreli bellek (LSTM) modeli geliştirilmiştir. Önerilen algoritmayı doğrulamak ve değerlendirmek için SVM, Tree ve Lineer regresyon algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Riverbed Modeller ve MATLAB benzetim yazılımlarından yararlanılmıştır.

### A. Makine Öğrenmesi ve Uzun Kısa Vadeli Bellek (LSTM)

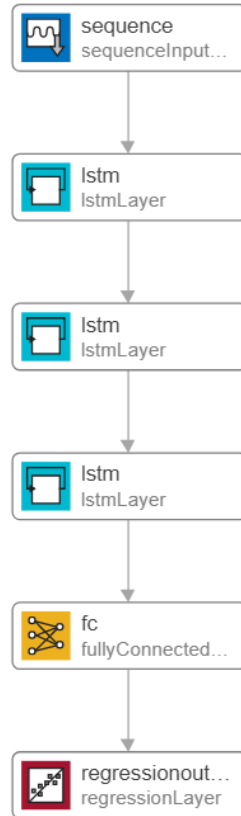
Yapay zeka tekniklerinden doğan MÖ, geliştirilen sistemin eğitim verilerinden faydalı yapısal kalıp ve modelleri öğrenmesine imkan tanıyan bir yaklaşımdır. MÖ genellikle eğitim ve karar verme üzere iki ana kısımdan oluşur. İlk olarak eğitim veri kümesi kullanılarak sistem modelini öğrenmek için ML yöntemlerinin uygulandığı eğitim aşaması ve daha sonra sistem eğitilmiş modeli kullanılarak her yeni girdi için tahmini çıktıyı elde edebilen karar verme aşamalarından oluşmaktadır. MÖ algoritmaları denetimli, denetimsiz ve takviyeli olmak üzere üç kısımda ele alınır. MÖ ile ilgili daha detaylı bilgi almak için ilgili kaynakçanın incelenmesi tavsiye edilir [17].

Sinir ağları (Neural Networks, NN) ise geçmiş verilerden deneysel bilgiyi öğrenmek için paralel olarak çalışan çok sayıda basit işlem birimlerinden oluşmaktadır. İnsan beyninden esinlenmiş olan bu algoritma, doğrusal olmayan ve paralel hesaplamalar gerçekleştirebilmek için nöronlar olarak bilinen temel bileşenleri kullanmaktadır.

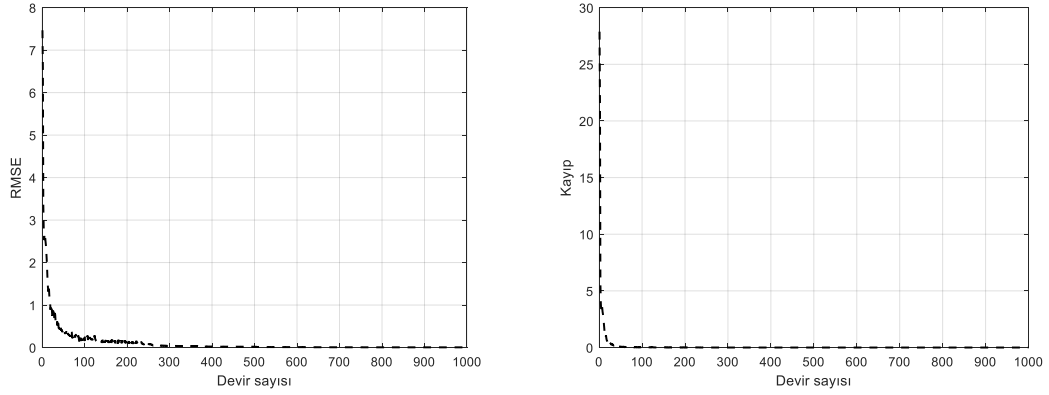
Sinir ağlarında ifade edilen düğümler insan beynindeki nöronların ilkel bir modelidir [18]. Bu düğümler aktivasyon işlevlerini kullanarak doğrusal olmayan hesaplamaları gerçekleştirebilmektedir. En sık kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. İnsan beynindeki nöronların birbiri ile bağlanma şeklini temel alan sinir ağlarındaki düğümler, değişken bağlantı ağırlıklandırmalarla birbirine bağlanmaktadır. Birçok katmana sahip sinir ağlarının ilk olarak giriş katmanı ve son olarak da çıktı katmanı bulunmaktadır. Giriş katmanı ile çıktı katmanı arasındaki diğer katmanlar ise gizli katmanlar olarak ifade edilmektedir. Her bir katmanın çıktısı bir sonraki katmanın girdisi olacak şekilde tasarlanır. Son katman ise sistemin çıktısı olarak görev görür. Sinir ağlarının performansı gizli katman sayılarının ve her bir katmandaki düğüm sayılarının artırılıp azaltılması (deneme yanılma) ile iyileştirilir [12, 15, 19–21].

Literatürde ve MÖ uygulamalarında en yaygın kabul gören tekrarlayan sinir ağ LSTM mimarisidir. Bu mimari farklı zaman ve katmanlardan gelen hata değerini korurken, sabit bir hata değeri sağlayarak tekrarlayan ağların öğrenme adımlarının devam edebilmesini sağlamaktadır. Uzun vadeli bağımlılıkları yakalama konusunda iyi bir yeteneğe sahiptir. LSTM ağ modeli, gizli durumu hesaplamak için giriş, çıkış ve unutmaya üzere üç adet geçit kullanır. LSTM hücresi verileri sıralı olarak işleyebilmekte ve zaman içinde gizli durumunu koruyabilmektedir.

Şekil 2’de çalışmamızda geliştirilen LSTM ağ mimarisi verilmiştir. Ağ, bir dizi giriş katmanı, üç adet LSTM katmanı, tamamen bağlı katman ve bir regresyon çıktı katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında RSSI, SNR ve Jitter olmak üzere üç giriş değişkeni tanımlanmıştır. Regresyon çıktı katmanında ise sadece bir çıkış değişkeni tanımlanmıştır. LSTM katmanlarında sırasıyla 128, 64 ve 128 nöron kullanılmıştır. Şekil 3’te ise tasarlanan LSTM ağ mimarisinin eğitim başarımları sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2. Eğitim için geliştirilen ağ mimarisi



Şekil 3. LSTM mimarisinin eğitim sonuçları

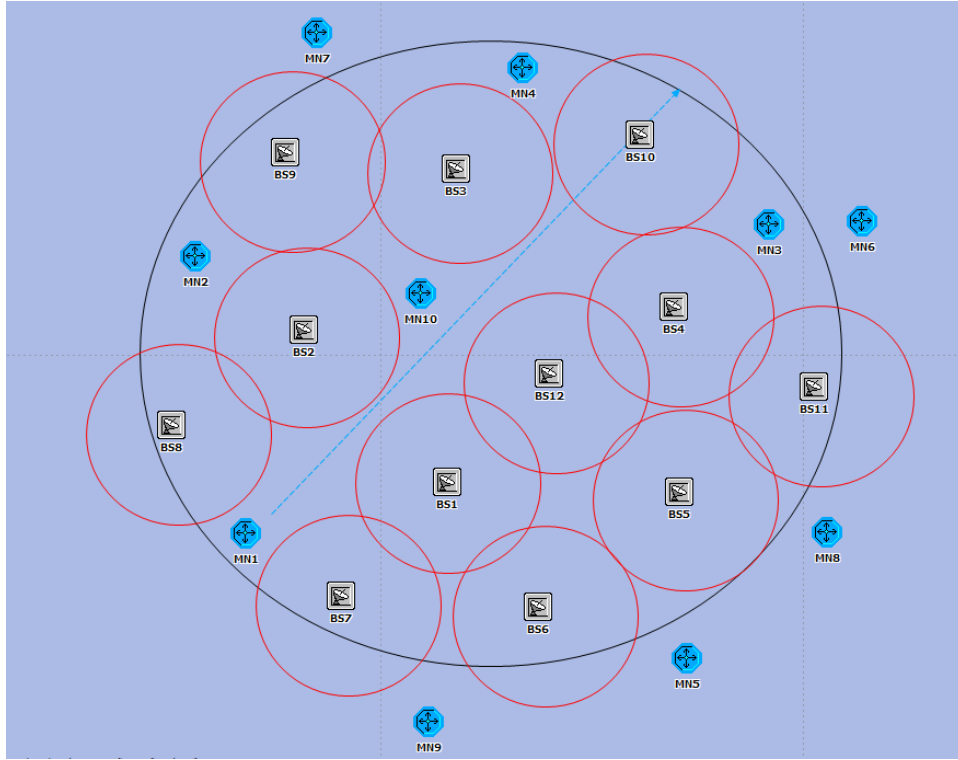
### B. Veri Setinin Hazırlanması

Öğrenme tekniklerini kullanarak HO karar tahmini için veri setini almak, verileri formatlamak, sinir ağını tasarlamak, sinir ağını eğitmek ve ardından tahmine başlamak (veya ağı test etmek) şeklinde bir süreç sonunda mimari geliştirilmiştir. Gerçek değerlere kıyasla en iyi tahmin doğruluğunu elde etmek için her adım ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

MÖ'de tahminin en önemli bölümü veri kümesidir. 5G küçük hücre ağında HO işlemi için literatürde açık kaynak bir veri setiyle karşılaşılmemiştir. Bu nedenle veri setinin hazırlanmasında Riverbed Modeller benzetim yazılımında oluşturulmuş çeşitli senaryolardan yararlanılmıştır. Çalışmamızda HO yönetimi için çok metrikli karar mekanizması kullanılacağından senaryolar buna uygun tasarlanmıştır. Bu sayede daha gerçekçi, bilgi açısından zengin ve açık kaynaklı bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti 5G küçük hücre ağlarında HO kararlarının tahmin edilebilmesi için meydana getirilmiştir. Şekil 4'te veri seti için Riverbed Modeller benzetim yazılımında tasarlanan örnek bir senaryo verilmiştir. MN1 isimli mobil düğüm ok ile gösterildiği gibi bir başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki bir rotada sabit hızla hareket etmektedir. Bu hareketi esnasında etrafında bulunan baz istasyonlarından periyodik aralıklarla RSSI, SNR ve Jitter verilerini içeren paketler almaktadır.

Veri seti RSSI, SNR ve Jitter değişkenlerini ve bu değişkenler sonucunda oluşan istenen değer bilgilerini içermektedir. Bu çalışmadaki en önemli yeniliklerden biri HO karar mekanizmasının geleneksel yaklaşımın aksine MÖ destekli olmasıdır.

Önerilen modelin başarımının tespiti için MATLAB yazılımı kullanılarak bir LSTM ağı tasarlanmıştır. Riverbed Modeller benzetim yazılımından elde edilen veri seti burada tasarlanan MÖ teknikleri ile eğitilmiştir. Tüm modelleri eğitmek için orijinal veri kümesinin yüzde 80'ini ayrılmıştır. Kalan yüzde 20'si ise ağı sağlamlığını test etmek için kullanılmıştır.



Şekil 4. Riverbed benzetim yazılımında veri seti oluşturmak için hazırlanan örnek bir senaryo

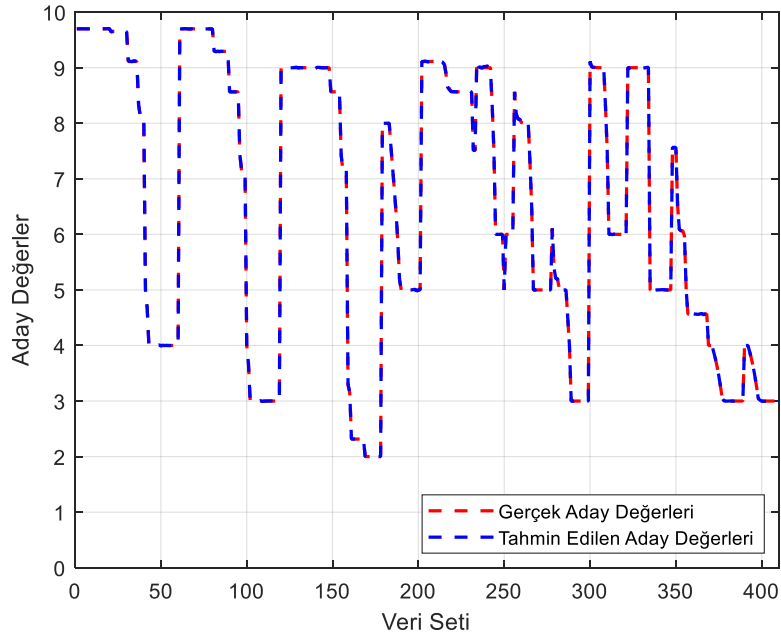
### III. BENZETİM SONUÇLARI

5G küçük hücre ağlarında HO yönetimi için geliştirilen çok metrikli makine öğrenmesi tekniklerinin başarımını değerlendirmek amacıyla MATLAB yazılımı kullanılmıştır. MATLAB [22], makine öğrenmesi konusunda birçok desteğe sahip oldukça güçlü bir yazılımdır. Riverbed Modeler [23] ise haberleşme ağlarının modellenmesinde kullanılan, yaygın kabul görmüş nesne yönelimli bir benzetim yazılımıdır. Geliştirilen sistemin başarımı ayırık durum benzetimi ile yapılabilmektedir.

Tablo 1. LSTM ağ modelinin eğitim parametreleri

Hiper ve diğer parametreler	Değerler
Eğitim verisi	328
Test verisi	82
Giriş	3
Çıkış	1
İterasyon sayısı	1000
Katman sayısı	3
Yığın (Batch) boyutu	125
Öğrenme hızı	0.0300

Tablo 1’de LSTM ağ modelinin eğitim için kullanılan parametreler detaylı olarak verilmiştir. Şekil 5’te LSTM ağ modelinden HO kararları için elde edilen tahmini aday değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırıldığı başarımları gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar eğitilmiş LSTM ağ modelinin gerçek aday değerlere çok yakın tahminler ürettiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, LSTM ağ modelinin HO karar tahminlerini oldukça iyi bir seviyede gerçekleştirebileceğini ispatlamaktadır.



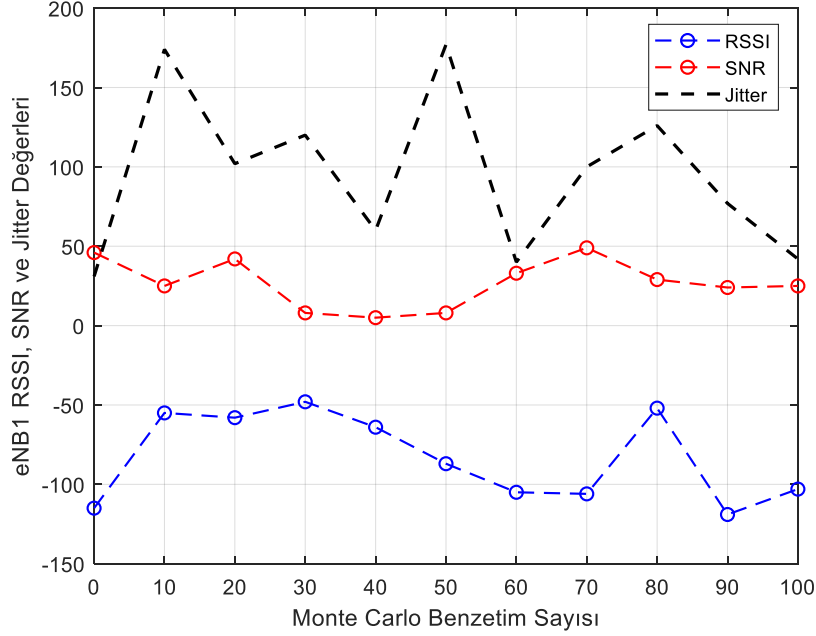
Şekil 5. LSTM modelinin başarımlarını gösteren çizim

Tablo 2’de ise kullanılan MÖ teknikleri (SVM, Tree, Lineer Reg.) ve bu tekniklerin başarımlarını içermektedir. LSTM ağı için eğitim için  $R^2$  değeri 0.99, MAE değeri 0.0791, MSE değeri 0.0418 ve RMSE değeri 0.0633 olarak bulunmuştur. Yine LSTM ağı için test için  $R^2$  değeri 0.94, MAE değeri 0.3315, MSE değeri 0.3670 ve RMSE değeri 0.6058 olarak bulunmuştur. Tablo 2’de SVM, Tree ve Lineer Regresyon için aynı veriler detaylıca verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar incelendiğinde en yüksek başarımların LSTM ağı tarafından elde edildiğini göstermektedir. Bu nedenle HO karar tahminlerinde LSTM ağı modelinin kullanılması daha uygun görünmektedir.

Tablo 2. Eğitilen modellerin başarımlarını gösteren değerleri

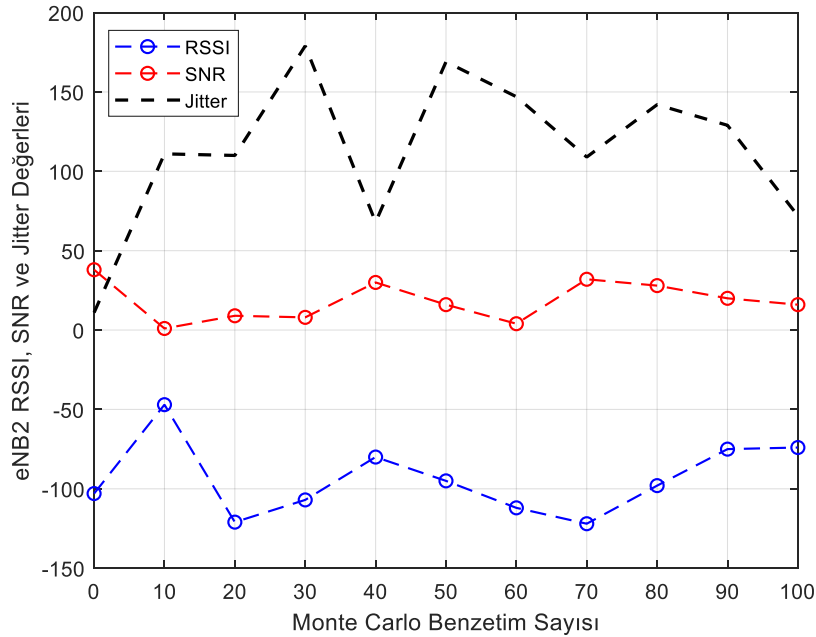
	RMSE		$R^2$		MAE		MSE	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
<b>LSTM</b>	0.0633	0.6058	0.99	0.94	0.0791	0.3315	0.0418	0.3670
<b>SVM</b>	1.3682	1.3124	0.73	0.71	1.0887	2.7534	1.8720	1.7223
<b>Tree</b>	0.7430	0.6934	0.92	0.92	0.5384	2.7347	0.5520	0.4809
<b>Lineer Regresyon</b>	1.3402	1.2938	0.74	0.72	1.1061	2.6893	1.7962	1.6739

Önerilen yaklaşımın değerlendirilebilmesi için iki farklı küçük hücre ağı oluşturulmuştur. Her bir küçük hücre ağı periyodik aralıklarla RSSI, SNR ve Jitter değerleri izlenmektedir. Bu HO metriklerinin her iki küçük hücre için benzetim süresince değişimi Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir. RSSI -45 ile -140, SNR 0 ile 50, Jitter 10 ile 180 değer aralıklarında rastgele olarak üretilmektedir.



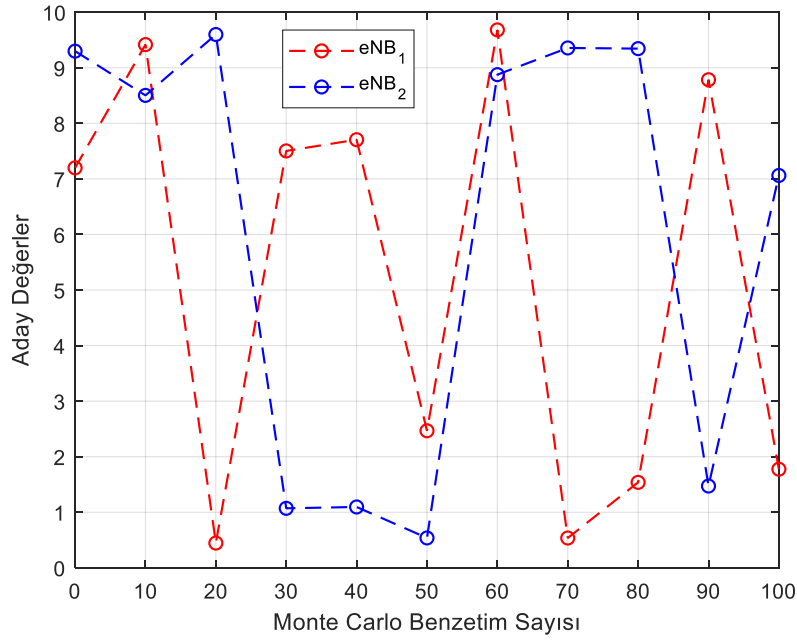
Şekil 6. Küçük hücre (eNB1) için elde edilen HO metrik değerlerinin değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7’de RSSI, SNR ve Jitter parametrelerinin değişimi, hem belirli bir hızda sürekli hareket halinde olan mobil kullanıcılardan hem de kapsama alanı küçük olan çok sayıda küçük hücrelerin yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Aşırı yoğun ağ senaryolarında beklenen bu sonuçlar beraberinde HO işleminin gereksiz olarak sıklıkla gerçekleşmesine ve servis kalite gereksinimleri açısından başarımların düşmesine sebep olmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar bize makine öğrenmesinin HO sürecinde kullanılmasının gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 7. Küçük hücre (eNB2) için elde edilen HO metrik değerlerinin değişimi

Şekil 8’de ise küçük hücrelerin RSSI, SNR ve Jitter metriklerine göre eğitilmiş LSTM ağ modeli sonucunda elde edilen adaylık değerlerinin benzetim süresince değişimini gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde aşırı yoğun ağ ortamlarında hareketlilik gereksinimlerinden dolayı ortaya çıkan HO parametrelerindeki sürekli değişim eğitilmiş LSTM ağ modeli ile tahmin edilmiştir. Elde edilen bu tahminler birer adaylık değeri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu adaylık değerleri geleneksel HO mekanizmalarında olduğu gibi önceden tanımlanmış bir eşik değeri üzerinden değerlendirilerek HO kararlarının gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Bu bağlamda eğitilmiş LSTM ağ modelinin aşırı yoğun ağ ortamlarında kullanılması birçok anlamda oldukça getiri sağlayacaktır.



Şekil 8. Küçük hücrelerin LSTM ağ modeli sonucu elde edilen aday değerleri

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada 5G küçük hücre ağlarında HO kararlarının önceden tahmin edilebilmesine imkan sunacak makine öğrenmesi modeli olan LSTM sinir ağı geliştirilmiştir. Modelin eğitimi için Riverbed Modeler benzetim yazılımında gerçekleştirilen senaryolar aracılığıyla yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra MATLAB yazılımında LSTM, SVM, Tree ve Lineer regresyon algoritmaları bu veri seti kullanılarak eğitilmiştir. Bu eğitim sonucunda elde edilen istatistik veriler, LSTM derin sinir ağının diğer regresyon algoritmalarına nazaran başarılı olduğunu göstermektedir. LSTM için eğitilen modelin test sonuçları incelendiğinde;  $R^2$  0.94, MAE 0.3315, MSE 0.3670 ve RMSE değeri 0.6058 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar RSSI, SNR ve Jitter değişkenleri kullanılarak LSTM sinir ağı ile 5G küçük hücre ağlarında HO kararlarının başarılı bir biçimde önceden tahmin edilebileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, geliştirilen model kullanılarak HO yönetiminin benzetim ortamlarında başarımının değerlendirilmesi ve yazılım tanımlı ağ yaklaşımı kullanılarak merkezi ve dağıtık ağ senaryolarının karşılaştırılması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Çalhan, A. & Cicioğlu, M. (2020). Handover scheme for 5G small cell networks with non-orthogonal multiple access. *Computer Networks*, 183, 107601.
- [2] Cicioğlu, M. (2020). Performance Analysis of Handover Management in 5G Small Cells, *Computer Standard & Interfaces*, 75, 103502.
- [3] Muirhead, D., Imran, M. A. & Arshad, K. (2016). A Survey of the Challenges, Opportunities and Use of Multiple Antennas in Current and Future 5G Small Cell Base Stations, *IEEE Access*, 4, 2952–2964.

- [4] Ericsson. (2020). Ericsson Mobility Report. <https://www.ericsson.com/4adc87/assets/local/mobility-report/documents/2020/november-2020-ericsson-mobility-report.pdf> (accessed Dec. 10, 2020).
- [5] De Ree, M., Mantas, G., Radwan, A., Mumtaz, S., Rodriguez, J. & Otung, I. E. (2019). Key Management for Beyond 5G Mobile Small Cells: A Survey, *IEEE Access*, 7, 59200–59236.
- [6] Small Cell Forum. (2014). *Small cells - what's the big idea? Femtocells are expanding beyond the home*. [https://scf.io/en/documents/030\\_-\\_Small\\_cells\\_big\\_ideas.php](https://scf.io/en/documents/030_-_Small_cells_big_ideas.php) (accessed May 24, 2020).
- [7] Bilen, T., Canberk, B. & Chowdhury, K. R. (2017). Handover Management in Software-Defined Ultra-Dense 5G Networks. *IEEE Network*, 31(4), 49–55.
- [8] Çeken, C., Yarkan, S. & Arslan, H. (2010). Interference aware vertical handoff decision algorithm for quality of service support in wireless heterogeneous networks. *Computer Networks*, 54(5), 726–740.
- [9] Çalhan, A. & Çeken, C. (2012). An Optimum Vertical Handoff Decision Algorithm Based on Adaptive Fuzzy Logic and Genetic Algorithm. *Wireless Personal Communications*, 64(4), 647–664.
- [10] Fan, C., Li, B., Zhao, C. & Liang, Y.-C. (2020). Regret Matching Learning Based Spectrum Reuse in Small Cell Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(1), 1060–1064.
- [11] Xie, J., Yu, F. R., Huang, T., Xie, R., Liu, J., Wang, C., & Liu, Y. (2018). A survey of machine learning techniques applied to software defined networking (SDN): Research issues and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 393-430.
- [12] Alawe, I., Ksentini, A., Hadjadj-Aoul, Y. & Bertin, P. (2018). Improving traffic forecasting for 5G core network scalability: A machine learning approach. *IEEE Network*, 32(6), 42-49.
- [13] Luo, C., Ji, J., Wang, Q., Chen, X., & Li, P. (2018). Channel state information prediction for 5G wireless communications: A deep learning approach. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 7(1), 227-236.
- [14] Aljeri, N. & Boukerche, A. (2019). A two-tier machine learning-based handover management scheme for intelligent vehicular networks. *Ad Hoc Networks*, 94, 101930.
- [15] Zeljković, E., Slamnik-Kriještorac, N., Latré, S. & Marquez-Barja, J. M. (2019). ABRAHAM: machine learning backed proactive handover algorithm using SDN. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 16(4), 1522-1536.
- [16] Sun, Y., Jiang, W., Feng, G., Klaine, P. V., Zhang, L., Imran, M. A. & Liang, Y. C. (2020). Efficient handover mechanism for radio access network slicing by exploiting distributed learning. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 17(4), 2620-2633.
- [17] Alpaydin, E. (2014) *Introduction to Machine Learning Ethem Alpaydin*. MIT press, Cambridge, Massachusetts, ABD, 616.
- [18] Akgün, D. (2020). An Evaluation of VGG16 Binary Classifier Deep Neural Network for Noise and Blur Corrupted Images. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 3(3), 264-271.
- [19] Şentürk, Ü., Polat, K. & Yücedağ, I. (2019). A Novel Blood Pressure Estimation Method with the Combination of Long Short Term Memory Neural Network and Principal Component Analysis Based on PPG Signals. *In The International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering*, 20-22 April, Antalya, Turkey, 868-876.
- [20] Çavuşlu, M. A., Karakuzu, C., Şahin, S., & Yakut, M. (2011). Neural network training based on FPGA with floating point number format and it's performance. *Neural Computing and Applications*, 20(2), 195-202.
- [21] Yüzgeç, U., Becerikli, Y. & Turker, M. (2008). Dynamic neural-network-based model-predictive control of an industrial baker's yeast drying process. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(7), 1231-1242.
- [22] The Mathworks Inc. (2016). *MATLAB – MathWorks*. <https://www.mathworks.com/products/matlab>.
- [23] Riverbed Technology. (2020) *Riverbed Modeler Software*. <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html> (accessed May 24, 2020).



*Araştırma Makalesi–Research Article*

## Afyon ve Kütahya Volkanitlerinin Betonda Mineral Katkı Olarak Kullanımı

### Utilization of Afyon and Kütahya Volcanites as Mineral Additive in Concrete

Cenk Karakurt<sup>1\*</sup>, Yaşar Kibici<sup>2</sup>, Mehmet Uğur Toprak<sup>3</sup>, Oğuzhan Ateş<sup>4</sup>

*Geliş / Received: 19/12/2020*

*Revize / Revised: 31/01/2021*

*Kabul / Accepted: 02/02/2021*

#### ÖZ

Artan nüfusun tetiklediği sanayi ve barınma ihtiyaçlarının temelini oluşturan inşaat sektörü yoğun malzeme tüketiminin olduğu bir pazardır. İnşaat sektöründe yaygın şekilde kullanılan beton farklı malzemelerin bir araya gelmesiyle elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun temel ve en pahalı bileşeni olan çimento tüketiminin beton tasarımında azaltılması hem ekonomik hem de çevresel kazanımlar sağlamaktadır. Bu çalışmada Afyon ve Kütahya yöresinde bol miktarda bulunan volkanitlerin (tüf, pomza) ile dolomitik kireçtaşlarının alterasyonundan oluşan Terra Rosaların beton üretiminde doğal katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton karışımında çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılan bu malzemelerin işlenebilirlik ve dayanım performansı referans karışım ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Pomza kullanılan betonlarda işlenebilirlik %15 azalmış Tüf kullanılan betonlarda Basınç dayanımları %40'a kadar düşmüştür. Elde edilen sonuçlardan özellikle ileri yaşlarda dayanım performansının olumlu yönde etkilendiği görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler- Tüf, Terra Rosa, Pomza, Beton, Dayanım*

#### ABSTRACT

The construction sector, which forms the basis of the industrial and housing needs triggered by the increasing population, is a market with intense material consumption. Widely used in the construction industry, concrete is a composite building material obtained by combining different materials. The reduction of cement consumption, which is the basic and most expensive component of concrete, in concrete design, provides both economic and environmental benefits. In this study, the usability of volcanites (Tuff, Pumice) and weathering product of limestone/dolomitic limestone (Terra Rossa) which are abundant in Afyon and Kütahya regions, as natural mineral additives in concrete production was investigated. The workability and strength performance of these materials, which are used at the ratios of 10%, 20% and 30% instead of cement in the concrete mixture, have been compared with the reference mixture. Workability in concretes using pumice has decreased by 15%; compressive strength has decreased up to 40% in concretes using tuff. It was seen from the results that the strength performance was positively affected, especially in older ages.

*Keywords- Tuff, Terra Rossa, Pumice, Concrete, Strength*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [cenk.karakurt@bilecik.edu.tr](mailto:cenk.karakurt@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-4204-5341>)

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [yasar.kibici@bilecik.edu.tr](mailto:yasar.kibici@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-6331-8521>)

*İnşaat Teknolojisi Programı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Bilecik, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [mugur.toprak@dpu.edu.tr](mailto:mugur.toprak@dpu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-5483-2871>)

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kütahya, Türkiye*

<sup>4</sup>İletişim: [6198998@ogrenci.bilecik.edu.tr](mailto:6198998@ogrenci.bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-5729-5872>)

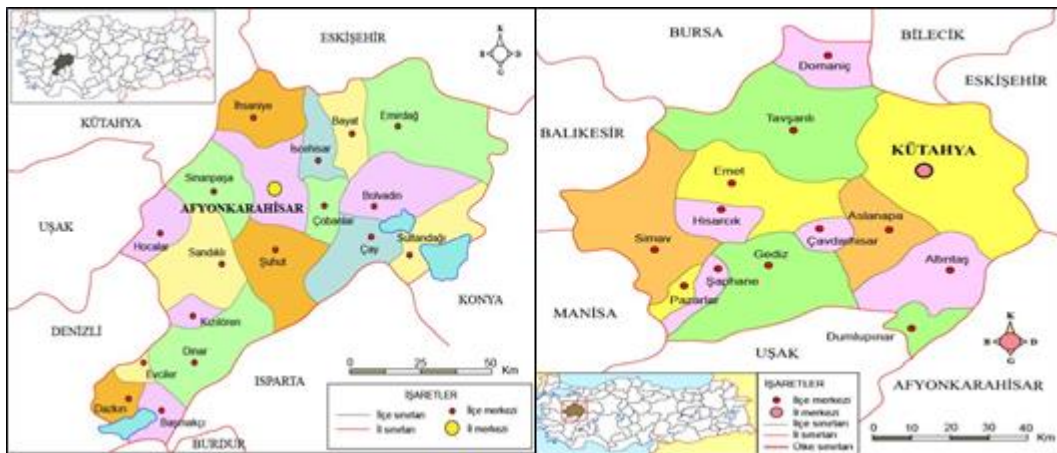
*İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton agrega, su, çimento ve gereken durumlarda mineral ya da kimyasal esaslı katkı malzemelerinin kullanılmasıyla hazırlanan taneli kompozit bir malzemedir. Üretiminin basit oluşu kalıp sistemi sayesinde istenilen şekle sokulabilmesi ön döküm veya yerinde döküm şeklinde kullanıma sunulması betonu çok cazip bir yapı malzemesi haline getirmektedir. Günümüzde betonun kullanılmadığı alan neredeyse yoktur. Tarihi yapı restorasyonu, temel ve zemin uygulamaları, tünel, köprü, karayolu ve betonarme konutlar betonun kullanım alanlarından bazılarıdır[1]. Beton endüstrisi ise bu talepler karşısında sürekli kendini geliştirme çabasıdadır [2]. Beton malzemesinin ana bileşenlerinden olan çimento günümüz ihtiyaçlarını karşılamakta, ancak üretim tekniği sebebiyle çevreye verdiği zararlardan ötürü beton üreticilerinin alternatif malzeme arayışlarını sürekli canlı tutmuştur. Mineral esaslı beton katkıları elde edilmiş yöntemlerine göre doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılırlar. Bu malzemeler genellikle amorf yapıli malzemeler olup çok ince öğütüldüklerinde çimento hidratasyonu sonucu ortaya çıkan  $Ca(OH)_2$  ile tepkimeye girerek aktive olurlar. Doğal puzolanlar; volkanik, sedimenter ve diyajenetik olarak 3 ana başlıkta ayrılırlar. Volkanik puzolanlar yine kendi arasında küller, tüfler ve camlar olarak üç gruba ayrılır. Doğal puzolanlar yalnız başlarına bağlayıcı olmamalarına rağmen çimento gibi bağlayıcı bir malzeme ile beraber mineral katkı olarak kullanıldıklarında harç ve betonun kimyasal ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde geliştiren malzemelerdir [3]. Sedimenter kökenliler ise volkanizmanın devam ettiği süreç içinde, volkanik küllerin sediman malzeme ile karışması ile oluşan malzemeler olup tüfit olarak isimlendirilir. Bu malzemelerin araştırmalarda volkanik tüflerle karıştırılmaması gerekir. Volkanitlerin beton teknolojisinde kullanımıyla ilgili yapılan çalışmada Türkiye’de bol miktarda bulunan volkanitlerin ülke sermayesine katılarak hem yeni iş alanları oluşturulması hem de ekonomik kalkınmaya katkı sağlaması amaçlanmıştır.

## II. AFYON VE KÜTAHYA YÖRESİ VOLKANİTLERİ

Geçmişteki plaka hareketlerinin belirlenmesinde rol alan volkanik oluşumlar üzerinde son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalar yapılmıştır. Afyon yöresinde 1982’den beri yapılan araştırmalar neticesinde bol miktarda volkanit (özellikle tuf, pomza parçaları içeren tuf, ignembitir “*lehimlenmiş tuf – welded tuff*”) ve Terra Rosa rezervi olduğu saptanmıştır [4]. Volkanik kayaların (Andezit, trakit, trakiandezit, riyolit, dasit, riyodasit, bazalt vb.) ve özellikle volkanik tüflerin doğal yapı taşı olarak kullanılabilme ve kolay kazılabilme özelliğine sahip olması nedeniyle puzolan katkılı çimento üretiminde kullanılması önerilmiştir. Afyon ve Kütahya bölgesi Türkiye’nin Ege bölgesinde bulunan illerdir. Afyon İli 14.295 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip olup Türkiye’nin termal başkenti olarak bilinmektedir. Afyon Ege bölgesinde bulunsa da iklim olarak İç Anadolu bölgesi iklimine daha yakındır. Kışları soğuk ve kar yağışlı yazları sıcak ve kurak step iklimi görülür. Kütahya ise 12.043 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip olup Ege bölgesindeki ilimizdir. İlin temel geçim kaynaklarını seramik fabrikaları ve termal tatil köyleri oluşturmaktadır. Her iki ilimizin ortak özelliği olan termal tesisler illerimizin volkanik geçmişiyle ilgilide bilgi vermektedir. Çalışma alanı haritaları Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Afyon ve Kütahya bölgesi haritaları

Çalışmada kullanılan volkanik tüfler değişik aşamalarda ve zaman dilimlerinde gelişmiş olan volkanizma faaliyetleri sonucunda oluşan hafif gözenekli özellikler gösteren bir kayaç türüdür. Özellikle Afyon yöresi ve yakın çevresinde yine volkanizma faaliyetleri sonucu volkanizmanın patlama sürecinde görsel ortamda çökelen sedimanter kayaçlarla ardaşıklı olarak oluşum sergileyen volkanik küller yer almaktadır. Bu oluşumlar aktif veya sönmüş volkanların yamaçlarında tabakalaşmış şekilde bulunur [4, 5]. Volkanik tüflerin gözenekli halde oluş sebebi yüzeye çıkan lavların soğuma esnasında oluşan volkanik malzemenin içerisinde bulunan gazların hapsolarak katı kütle içerisinde dağılmasıdır [4, 6]. Pomza ise, riyolit bileşim ve içerisinde %2-5 oranında su (magma kökenli juvenil su) içeren asidik bir kayaç olup, bol miktarda mm-mikron mertebesinde birbirinden bağımsız küresel boşluklar içeren gözenekli ve hafif yapısıyla karakterize edilir. Pomza kimyasal olarak amorf alüminyum silikat olarak tanımlanır [4,7]. Dünyada Amerika'dan sonra en fazla pomza rezervi olan ülke Türkiye'dir. Doğal olarak bulunan pomzanın ocaklardan açık işletmelerden çıkarılması ise mekanik kazı yoluyla yapılmaktadır. Terra rosa ise sert kristalin kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ayrışması sonucu oluşur. Doğal oluşum ürünü olan bu malzemeler Türkiye'nin Akdeniz (Isparta), Batı (Kütahya-Afyon), İç Anadolu (Nevşehir), Doğu ve Güney kesimlerinde bolca bulunur. Bu topraklar kil bakımından zengindir [8]. Afyon ve Kütahya yöresinde 1982'den beri yapılan araştırmalarda bol miktarda volkanit rezervi olduğu saptanmıştır [4, 8, 9].

Afyon ve Kütahya illerinin çevresinde var olan volkanitler ile ilgili çeşitli araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Beycioğlu (2005) Pomza agregalı betonlara silis dumanı ekleyerek yaptığı araştırmada işlenebilirliğin düştüğünü saptamıştır [10]. Yazıcıoğlu (2013) pomza katkılı hafif betonun mekanik özelliklerini araştırmıştır. Araştırma sonucu pomzanın taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilceği görülmüştür [11]. Gökçe (2013) çimento yerine belli oranlarda tüf katkılı betonların alkali silika reaksiyonu etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucu 14 ve 28 günlük numunelerin genleşme sınırını aştığını saptamıştır [12]. Korkmaz (2019) Yozgat yöresindeki tüflerin çimento üretiminde kullanımıyla ilgili araştırmalar yapmış ve %40 orana kadar tüf kullanımının çimento üzerinde erken ve geç dayanımların arttığını tespit etmiştir [13]. Akyüncü (2019) yine pomza madenini betonda agrega olarak kullanarak mekanik davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada pomza kullanılan betonlarda birim ağırlığın %40'a kadar düştüğünü, pomza kullanımının %30-70 arasında arttığında, dayanımların %35-45 arasında azaldığını belirlemiştir [14]. Yapılan bir diğer çalışmada ise volkanik kökenli doğal puzolanların betonda katkı malzemesi olarak kullanılması ile betonda su emme, dayanım ve donma-çözülme davranışları üzerinde olumlu etkilerinin olduğu ifade edilmiştir [15].

### III. MALZEME VE YÖNTEM

#### A. Malzeme

Çalışmada agrega olarak Bilecik Dağ-İş Madencilik ocağından temin edilen üç farklı tane boyutuna sahip (0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) kalker kökenli kırmataş agregaları kullanılmıştır. Çimento olarak Eskişehir Çimsa çimento fabrikası üretimi olan CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Mineral katkı olarak kullanılacak volkanitlerden tüf Afyon-Gecek kaplıcaları bölgesinden, terra rosa Kütahya-Kumluhurt ve Göçeri köyleri arasındaki alandan saha çalışmalarıyla elde edilmiştir. Sahadan elde edilen malzemeler Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Volkanitlerin araştırma bölgesindeki temin alanları

Beton karışım suyu olarak Bilecik şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Beton işlenebilirliğini düzenlemek için ise Polisan kimya üretimi olan sülfonat esaslı Süperton 278 S model kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkı oranı sabit tutularak mineral katkı kullanımındaki değişimin beton işlenebilirliği üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Malzemelerin fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık	İncelik cm <sup>2</sup> /gr
Çimento	3.06	3641
Terra Rosa	2.65	3354
Tüf	2.76	4854
Pomza	2.50	3891
Kırmataş agrega	2.63	-

### B. Yöntem

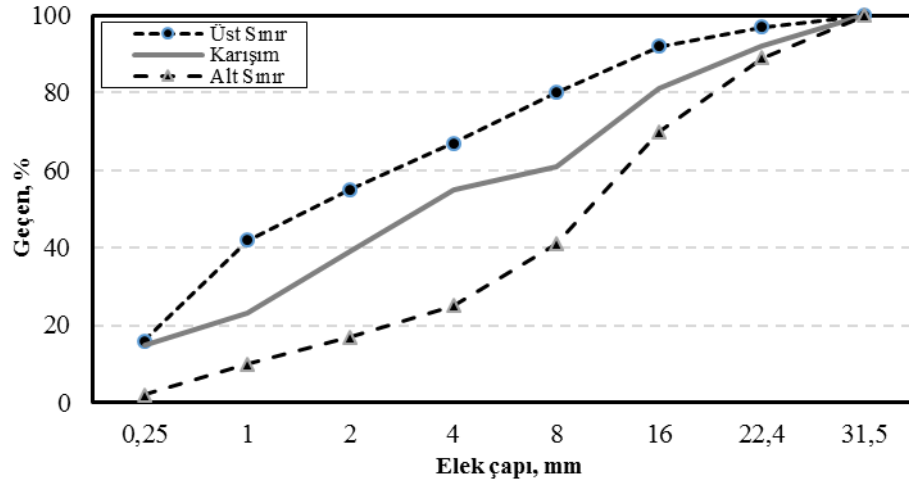
Hammaddelerin bulunduğu alanları gösteren jeolojik haritalardan bölge tespiti yapıldıktan sonra sahada inceleme yapılarak hammaddeler yerinden küçük kayalar halinde toplanarak Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarına getirilerek burada bulunan çeneli kırıcı ve bilyalı değirmen yardımıyla öğütülerek karışımlarda kullanılmıştır. Pomza ve tüf ilk olarak çeneli kırıcılarda 4 mm çaplı dane boyutuna indirgenmiş ardından bilyalı değirmen ile çimento inceliğinde öğütülmüştür. Ardından öğütülen malzemeler 90 µm’lik elekten elendikten sonra kullanılmıştır. Terra rosa doğrudan beton karışımlarında kullanılmamış olup kil ve kireçtaşı kökenli olması nedeniyle kalsine olması amacıyla ilk olarak kül fırınında 40 dk süre ile 950°C sıcaklıkta bekletilmiştir. Fırından alınan kalsine edilmiş malzeme üzerine hava üfleciyle soğuk hava üflenerek amorf yapı eldesi amacıyla ani soğuma etkisi sağlanmıştır. Çıkan ürün ardından bilyalı değirmende çimento inceliğinde öğütülmüştür (Şekil 3).



**Şekil 3.** Terra rosa malzemesinin kalsinasyon ve öğütme süreçleri

Beton karışımında kullanılacak agregaların elek analizleri yapılarak karışım agrega granülometrisi belirlenerek Şekil 4’te sunulmuştur. İdeal agrega granülometrisinde TS 802 standardına uygun olarak beton karışım hesabı yapılmış olup [16] 1m<sup>3</sup> beton için karışım oranları Tablo 2’de sunulmuştur. Karışım oranlarına göre hazırlanan kuru karışım düşey eksenli laboratuvar tipi karıştırıcıda önce kuru sonra su ile katkının karışımı ile karıştırılarak homojen taze beton karışımları elde edilmiştir.

Üretilen betona ilk olarak taze beton deneylerinden olan çökme ve yayılma tablası deneyleri yapılmıştır. Çökme deneyi TS EN 12350-2’ye göre yapılmıştır. Deney yapılacak numune 30 cm yükseklikli yarım koni kalıba 3 kademede yerleştirilmiştir. Her kademede 16 mm çaplı beton şişleme çubuğu ile 25 şişleme yapılmıştır. Ardından yarım koni kalıp çekilerek betondaki çökme değerleri not edilmiştir [17].

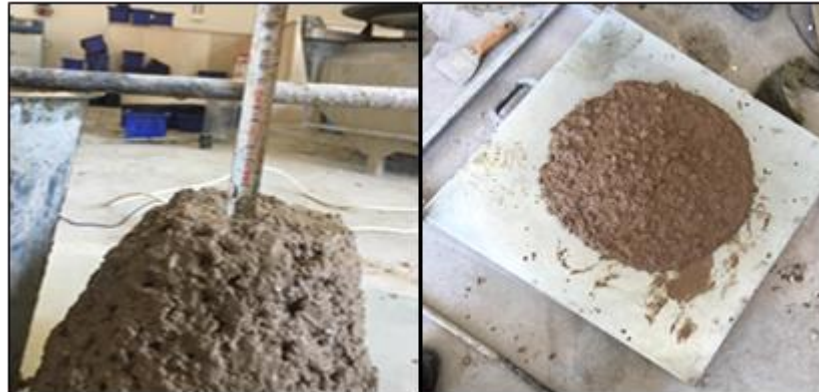


Şekil 4. Beton agregalarının karışım granülometrisi

Tablo 2. Beton karışım oranları (1m<sup>3</sup>)

Karışım	Çimento kg	Su kg	0-4 mm kg	4-11.2mm kg	11.2-22.4mm kg	K. katkı kg	Tüf kg	Pomza kg	T. rosa kg
Referans	330	170	1000	250	560	4.5	-	-	-
TÜF10	297	170	1000	250	560	4.5	33	-	-
TÜF 20	264	170	1000	250	560	4.5	66	-	-
TÜF 30	231	170	1000	250	560	4.5	99	-	-
PMZ 10	297	170	1000	250	560	4.5	-	33	-
PMZ 20	264	170	1000	250	560	4.5	-	66	-
PMZ 30	231	170	1000	250	560	4.5	-	99	-
TRS 10	297	170	1000	250	560	4.5	-	-	33
TRS 20	264	170	1000	250	560	4.5	-	-	66
TRS 30	231	170	1000	250	560	4.5	-	-	99

Yayıma tablası deneyi TS EN 12350-5'e göre yapılmıştır. Taze beton standart yarım koni kalıba iki kademede kare kesitli özel tokmak ile yerleştirilmiştir. Ardından yarım koni kalıp çıkarılarak beton numunesine pimli levha üzerinde 15 kez 4 cm'lik düşü yapılarak deney sonunda yatay ve düşey doğrultuda ölçülen yayılma çaplarının ortalaması alınarak beton yayılma çapı sonuçları belirlenmiştir [18]. Taze beton deneylerinin gerçekleştirilmesiyle ilgili görseller Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Taze betonda çökme ve yayılma tablası deneyinin yapılışı

Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra sertleşmiş beton deneylerinin yapılacağı numuneler 150 mm kesitli küp kalıplara yerleştirilerek laboratuvar koşullarında 24 saat süreyle kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan sertleşmiş beton numuneleri 20±2°C sıcaklıktaki kirece doymun kür havuzunda 2, 7, 28 ve 90 günlük

numune yaşlarına ulaşana kadar bekletilmiştir. Kür süresi tamamlanan numuneler havuzdan çıkartıldıktan sonra yüzeyleri kurulanıp birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında beton numunelerinin basınç dayanımları tek eksenli Çevik Makine markalı 200 ton kapasiteli basınç presinde ölçülmüştür.

#### IV. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

##### A. İşlenebilirlik Deney Sonuçları

Karışım oranlarına uygun olarak hazırlanan beton karışımlarının işlenebilirlikleri çökme ve yayılma tablası deneyleri ile belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. İlgili sonuçlar incelendiğinde genel davranış olarak tuf ve pomza katkılı betonlarda işlenebilirliklerin hem çökme hem de yayılma tablası değerlerinde katkı kullanım oranındaki artışa bağlı olarak azaldıkları görülmüştür. Özellikle tufün ince gözenekli yapısı nedeniyle beton kıvamında ciddi azalmalar gözlenmiştir. Bu nedenle %20 üzerindeki oranlarda tuf kullanımında akışkanlaştırıcı katkı miktarının beton karışımında artırılması gerektiği düşünülmektedir. Kalsine edilmiş terra rosa ise beton işlenebilirliğinde olumsuz bir etkiye neden olmamıştır. Hatta bunun ötesinde TRS 30 karışımında beton işlenebilirliğinin %30 oranında iyileştiği görülmüştür. Bu etkinin altında ise kalsine terra rosa katkısının akışkanlaştırıcı katkı ile uyumlu çalışması ve taze betonun iç sürtünmesini azaltıcı yönde filler etkisinin rol oynadığı düşünülmektedir. Terra rosa kullanılan betonlarda yüksek işlenebilirlik oranı olduğundan, kendiliğinden yerleşen beton teknolojisinde toz malzeme olarak değerlendirilebileceği saptanmıştır [2,19].

**Tablo 3.** Taze betonda çökme ve yayılma tablası deney sonuçları

Karışım	Çökme cm	Yayılma mm
Referans	10	370
TÜF10	4	220
TÜF 20	3	210
TÜF 30	1	190
PMZ 10	6	360
PMZ 20	8	370
PMZ 30	8	340
TRS 10	10	370
TRS 20	10	400
TRS 30	13	460

##### B. Birim Ağırlık Deney Sonuçları

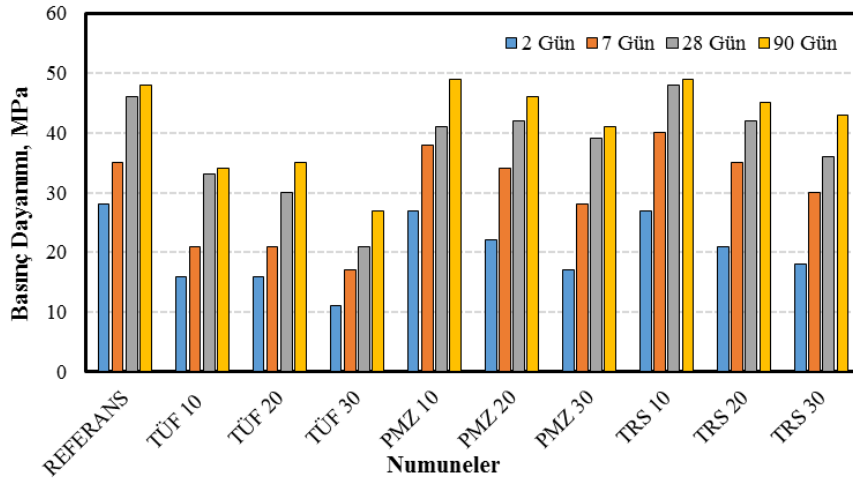
Sertleşmiş beton numunelerinin beton basınç dayanımı deneyi öncesinde 2, 7, 28 ve 90 gün sonundaki suya doygun halde sertleşmiş beton birim ağırlıkları Tablo 4'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan volkanik tuf katkılı beton numunelerinin her yaş için katkı oranındaki artışa bağlı olarak birim ağırlık değerlerinde azalma yönünde davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu kütle kaybı 90 günlük tuf numunelerinde % 4.5 seviyelerine kadar ulaştığı görülmüştür. Volkanit katkılı beton karışımlarının birim ağırlıklarının azalmasında hem gözeneklilik hem de bu katkı malzemelerinin özgül ağırlıklarının çimentoya oranla daha düşük olması rol oynamıştır.

**Tablo 4.** Sertleşmiş beton numunelerine ait birim hacim ağırlık değerleri

Karışım	Birim Ağırlık	Birim Ağırlık	Birim Ağırlık	Birim Ağırlık
	2 gün kg/m <sup>3</sup>	7 gün kg/m <sup>3</sup>	28 gün kg/m <sup>3</sup>	90 gün kg/m <sup>3</sup>
Referans	2400	2414	2408	2417
TÜF10	2354	2347	2331	2324
TÜF 20	2373	2377	2369	2331
TÜF 30	2370	2391	2365	2311
PMZ 10	2400	2387	2363	2373
PMZ 20	2379	2378	2374	2398
PMZ 30	2370	2381	2406	2416
TRS 10	2409	2399	2437	2449
TRS 20	2360	2377	2406	2342
TRS 30	2391	2384	2362	2349

### C. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Kür havuzunda deney gününe kadar standart koşullarda şartlandırılan beton numuneleri eksenel basınç deneyine tabi tutulmuş olup elde edilen sonuçlar Şekil 6'da sunulmuştur. Erken yaş dayanım performansı incelendiğinde tüm katkı türlerinde basınç dayanımlarının referans numunesine göre % 3.5 ile % 60 arasında azaldıkları gözlemlenmiştir. Buradaki en yüksek dayanım kaybı tüf katkılı TÜF 30 numunesinde görülmüştür. İlk bir haftalık beton yaşı sonunda tüf katkılı numunelerin tümünde basınç dayanımları referans numunesinin altında kalırken pomza ve kalsine terra rosa katkılı numunelerde % 10 ve % 20 katkı oranlarında referans numunesinden daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Özellikle TRS 10 numunesinde referans numunesine göre % 14 oranında daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Benzer davranış 28 günlük numunelerde de gözlenmiş olup bu yaşta en düşük dayanım performansını tüf katkılı numuneler göstermiştir. İleri yaş dayanım performansı açısından referans numunesine göre % 10 katkılı PMZ 10 ve TRS 10 numuneleri referans numunesiyle neredeyse aynı dayanım değerini vermiştir. Pomza ve terra rosa katkılı betonlarda % 30 oranına kadar katkı kullanımının ekonomik beton üretimine katkı vereceği düşünülmektedir.



Şekil 6. Kür sürelerine göre beton basınç dayanımları karşılaştırması

Yukarıda ki veriler incelendiğinde referans numuneye oranla volkanit kullanılan betonlarda çok farklı basınç kayıpları oluşmamış olup olumlu konuşmak mümkündür. Özellikle terra rosa kullanılan betonlarda basınç dayanımlarının referans numuneden daha iyi sonuç verdiği açıkça gözükmektedir. Pomza kullanılan betonların referans betona göre geç dayanım kazandığını söylemek mümkündür ancak ileri priz sürelerinde yüksek dayanımı yakaladığı gözlenmiştir. Çimento yerine kullanılacak olan bu volkanitlerin beton üretiminde kullanımıyla çimento tüketiminin azalması, bölge ekonomisine katkı, zaman ve işçilikten kazanç gibi kazanımların elde edilebileceği düşünülmektedir [20]. Pomza ve tüf katkılı betonların yapı kütlelerinde azalmaya neden olmasının deprem kaynaklı zorlamaların etkilerinin azaltılabilesine katkı sağlayacağı öngörülmüştür [21,22].

### V. SONUÇ VE ÖNERİLER

DeneySEL çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlardan elde edilen sonuç ve öneriler sırasıyla aşağıda sunulmuştur. Buna göre;

- Çökme deneyi sonuçlarından tüf katkılı beton karışımlarının su emme oranının çok yüksek olduğu, bu nedenle kıvam kayıplarına yol açarak işlenebilirliğin %90'lara kadar azalmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Terra rosa kullanıldığında ise taze beton işlenebilirliğinin %60'a kadar arttığı saptanmıştır.
- Sarsma tablası deneyinden elde ettiğimiz sonuçlara göre terra rosa kullanım oranı arttıkça betonun akışkanlığının arttığı dolayısıyla işlenebilirliğin arttığını söylemek mümkündür. Pomza kullanılan betonlarda işlenebilirliğin referans numuneye göre %15 azaldığı saptanmıştır.
- Birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına göre pomza kullanılan betonlarda betonda %2 kadar hafifleme gözlemlenmiştir. Tüf kullanılan betonlarda bu hafifleme %4'e kadar ulaşmıştır.

• Basınç dayanımları incelendiğinde, tuf katılan betonlarda referans numuneye oranla basınç dayanımlarının %40 düştüğü gözlemlenmiştir. Pomza kullanılan betonlarda erken yaşlarda dayanımların referans numuneyi yakalayamadığı ancak ileri yaş dayanımlarının puzolanik aktivite sonucu referans numuneye yakın çıktığı saptanmıştır. Terra rosa kullanılan betonlarda erken yaş dayanımlarının referans numuneye oranlar daha çabuk dayanım kazandığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımında olan değişim numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerleri ile orantılı olarak değişim gösterdiği görülmüştür.

• Kullanılan malzemelerin puzolanik aktivite sonucu referans numune dayanımlarının yakalandığı çimento yerine kullanılabilceği saptanmıştır. Dolayısıyla volkanitlerin kullanımının hem malzeme hem de işçilik maliyetleri yönünden kazanç sağlayacağı belirlenmiştir. Ayrıca doğal kaynakların kullanımı ile kalıcı ve sürdürülebilir bir beton üretiminin mümkün olacağı düşünülmektedir.

• Yapılan çalışmada kullanılan doğal malzemelerin beton teknolojisinde kullanılabilceği elde edilen olumlu sonuçlardan görülmektedir. Bu sebeple bu madenlerin işlenip öğütülerek ülke ekonomisine kazandırılması önerilmektedir.

### TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma 2018-02.BŞEÜ.03-04 numaralı proje kapsamında yapılmış olup yazarlar desteğinden ötürü Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- [1] Kap, T, Sağlık, M. (2018). Tarihi eser restorasyonunda beton teknolojisi kullanımı. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 88-99.
- [2] İnce, H., Öcal, C., Alkan Çakıroğlu, M., Çelik, S. (2015). Püskürtme Beton Uygulamaları ve Kullanım Alanları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2), 100-107.
- [3] Kırgız, M. (2016). Mineralojik katkıların çeşitli tanımları, sınıfları, özellikleri ve kullanım alanları (Bölüm 1). *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 118-127.
- [4] Kibici, Y., Dinç, D., Uçar, A. (2012). Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (029), 53-70.
- [5] Çelik, M., Kavas, T. (2001). Elvanpaşa (Afyon) Trakiandezitlerinin Jeolojisi Ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14 (2), 24-36.
- [6] Bayırlı, M., Pekin, A. (2013). Volkanik Tuf Yüzeyi Gözeneklerinin Özelliklerinin Birikinti Geometrisi Kullanarak İncelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (2), 66-72.
- [7] Kılınç Aksay, E., Akar, A., Cöcen, İ. (2016). Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 384-390.
- [8] Karadağ, M., Arık, F., Öztürk, A. (2006). Çatmakaya (Seydişehir-Türkiye) boksit yatağının kökenine jeostatistiksel ve jeokimyasal bir yaklaşım. *Yerbilimleri*, 27 (2), 63-85.
- [9] Doğan Külahcı, G., Temel, A., Gourgaud, A., Demirbağ, H. (2016). Afyon Volkanik Kayaçlarının (Batı Anadolu, Türkiye) Mineralojik-Petrografik Özellikleri ve P-T Hesaplamaları. *Yerbilimleri*, 36 (3), 137-162.
- [10] Beycioğlu, A., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş. (2014). Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (2), 200-205.
- [11] Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N. (2013). Pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafifbetonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 675-680.
- [12] Gökçe, H., Taban, S., Şimşek, O. (2013). Zeolitik tuf ikamesinin farklı agregalar üzerinde alkali-silika reaksiyonu etkilerinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (4), 803-809.
- [13] Korkmaz, A. (2019). Yozgat Yöresi Tüflerinin Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Yerbilimleri*, 40 (3), 253-267.
- [14] Akyüncü, V. (2019). Pomza agregalı hafif beton blokların mekanik özelliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 147-157.
- [15] Nagrockienė, D., Girka, G., & Skripkūnas, G. (2017). Properties of concrete modified with mineral additives. *Construction and Building Materials*, 135, 37-42.
- [16] TS 802. (2016). *Beton karışım tasarımı hesap esasları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



- [17] TS EN 12350-2. (2019). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] TS EN 12350-5. (2019). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] Topçu, İ., Bilir, T., Baylavlı, H. (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 1-22.
- [20] Şahin, R., Taşdemir, M., Gül, R., Çelik, C. (2011). Taze Beton Özelliklerinin Optimizasyonu . *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* , 38 (2), 127-135.
- [21] Kavas, T., Çelik, M. (2001). Ayazını (Afyon) tüflerinin çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 40 (4), 39-46.
- [22] Uzun, M., Korkmaz, H0. (2019). Deprem bölgesindeki bazı ülkelerde eşdeğer deprem yükü metodunun karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1), 189-212.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Thermal Behaviors of AS Series Magnesium Alloys

## AS Serisi Magnezyum Alaşımlarının Termal Davranışları

Birol Akyüz<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 20/12/2020*

*Revize / Revised: 29/04/2021*

*Kabul / Accepted: 30/04/2021*

### ABSTRACT

This paper presents experimental investigation on thermal behaviors (thermal diffusivity and thermal conductivity) of AS series cast magnesium alloys. The effects of the changing in Al content (from 1 to 9 Al and constantly 1 Si, wt.%) in the alloys on thermal properties, density, and hardness were comparatively analyzed. It was observed that intermetallic phases ( $Mg_{17}Al_{12}$  and  $Mg_2Si$ ) found in the microstructure of the alloys have an effect on thermal diffusivity, thermal conductivity, density and also hardness. The thermal properties of the alloys were decrease with increasing Al content in the alloy. The thermal properties of the alloys were increase with increasing temperature (the temperature range from 25°C to 400°C). The highest thermal diffusivity was measured on AS21 alloy and the lowest thermal diffusivity were observed on AS91 alloy.

**Keywords-** *AS Series Magnesium Alloys, Thermal Diffusivity, Thermal Conductivity, Density, Hardness*

### ÖZ

Bu makale, AS serisi döküm magnezyum alaşımlarının ısıl davranışları (ısıl yayılma ve ısıl iletkenlik) üzerine deneysel bir araştırma sunmaktadır. Alaşımlardaki Al içeriğindeki değişimin (1- 9 Al ve 1 Si sabit, ağırlıkça %) ısıl özellikler, yoğunluk ve sertlik üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Alaşımların mikroyapısında bulunan intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Mg_2Si$ ) ısıl yayılımı, ısıl iletkenlik, yoğunluk ve ayrıca sertlik üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Alaşımın ısıl özellikleri, alaşımdaki Al içeriği arttıkça azalmıştır. Alaşımların termal özellikleri artan sıcaklıkla artmıştır (sıcaklık değişimi 25 °C - 400 °C arası). En yüksek termal yayılma AS21 alaşımında ölçülmüştür ve en düşük termal yayılma AS91 alaşımında gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *AS Serisi Magnezyum Alaşımları, Termal Yayılma, Termal İletkenlik, Yoğunluk, Sertlik*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [birol.akyuz@bilecik.edu.tr](mailto:birol.akyuz@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-4462-3288>)  
Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

## I. INTRODUCTION

Today's magnesium alloys, owing to their high specific strength and low density, weight-resistance and weight-hardness characteristics, excellent casting properties and mechanical properties, biodegradable properties, are usually used as lightweight structural materials in various applications, such as automobile and aerospace parts, electrical, telecommunication and microelectronics appliances, materials-handling and medical implants (i.e. stents, orthopedic, spinal and dental implants) [1-10]. Notably, in automotive and aerospace industry (i.e. AS21, AS41, AM50), the using of magnesium alloys are important goal to decrease fuel consumption and so, air pollutants such as SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> emissions [1-3,10-11].

In the literature, the largely used Mg alloys are classified as AZ, AS, AM and AJ series Mg alloys [6,10-30]. Among many magnesium alloys developed, i.e. AS21, AS41, AM20, AM60, AZ31, AJ62 and AZ91 are the most widely used commercial alloys because of their microstructure, mechanical, wear and castability properties [6-30]. Magnesium products/parts are generally produced by machining (turning, milling etc.) after the casting process [3,10,13-17]. It is realizable a high speed machining for magnesium alloys; but, there are refer that with an increase in cutting speed, there may be critical flank build-up (FBU) due to adhesion between the cutting tool surface and the workpiece as well as chip ignition and tool wear [3,10,13-17,23-27]. There are studies in the literature discussing chip ignition and burning issues, which arise during machining of magnesium alloys. These studies examine the effects of processing parameters on chip ignition and burning [3,10,13-17,23-27]. In the literature, there are some studies on FBU and chip formation (chip morphology) on cutting tool surfaces depending on characteristics and processing parameters of magnesium alloys [3,10,13-17,23-27]. In previous works of the author, it was reported that FBU increases due to the friction on cutting tool surface during machining, and it was emphasized that the cutting forces increase and also chip formation and surface roughness change [3,10,13-17,23-27]. Cutting tool and workpiece surface temperature, exposure time to heat, dislocation density and thermal properties of magnesium play a crucial role on chip ignition, chip formation and the oxidation mechanism [10,23-27].

In the literature, there are limited studies on thermal properties/behaviors of magnesium alloys. We found the study of Lee et al. [28] and Rudajevová and Lukáč [29] who studied AZ31, AZ61 and AM20, AS21 magnesium alloys as a function of Al content by comparing thermal properties/behaviors of these alloys. On the other hand, the comparison may be arguable since AZ, AS and AM alloys have different microstructures and alloy compositions. Therefore, we investigated effect of Al alloying additions systematically (from 1 to 9 Al and 1 Si constantly, wt.%) to AS series cast magnesium alloys on its thermal properties/behaviors (thermal diffusivity, thermal conductivity, density and also hardness). For this reason, this study is important and distinctive for literature.

## II. EXPERIMENTAL PROCEDURE

AS series Mg alloys used in this study were obtained by casting into metal molds after being melted in atmosphere controlled melting furnaces (under CO<sub>2</sub>+SF<sub>6</sub> shielding gas medium). Casting or manufacturing of magnesium alloys was detailed by Akyüz [10,23-26] and Ünal [6] in their previous studies. Furthermore, details of preparation and processing stages of tests performed in this study, details of sample standards and test procedures (i.e. microstructure samples polishing, etching process and etching solutions) were explained in previous studies of the author [10,23-26]. Microstructure and XRD analyses were performed on each sample. X-ray diffraction (XRD) analyses (Panalytical-Empyrean) were carried out under Cu K $\alpha$  radiation with an incidence beam angle of 2°. Hardness tests (Shimadzu HMV-2) were carried out (on each sample at ten measurements). The alloy compositions of test samples of AS series cast Mg alloys (Spectrolab M8 Optical Emission Spectrometry) are presented in Table 1.

**Table 1.** Alloy composition of the samples (wt.%).

Alloys	Al	Si	Zn	Fe	Mg
AS11	1.1	1.1	0.1	0.02	Rest
AS21	2.1	1.1	0.1	0.02	Rest
AS41	4.1	1.1	0.1	0.02	Rest
AS61	6.1	1.1	0.1	0.02	Rest
AS91	9.1	1.1	0.1	0.02	Rest

("A" refers to the Al and "S" refers to Si content of the alloy.)

The density of the alloys was measured (at least ten measurements) by the Archimedes method (He gas atmosphere, under 22 psi/1.5 pressure, in 10 cm<sup>3</sup> specimen container, AccuPycII 1340 Pycnometer, Micromeritics Instrument Corp. U.S.A.). Density of these alloys was determined by averaging ten measurement values. The thermal diffusivity of AS series cast magnesium alloys were measured. The thermal diffusivity measurement was carried out the temperature range from 25°C to 400°C (with a Netzsch model LFA 457 Laser Flash Device and Atmosphere N<sub>2</sub>, gas flow 100.00 ml/min, under isothermal conditions more than 10 min.). Chunming et.al. (2013) explained a comprehensive description the test sample standards and test procedures or process of the magnesium alloys [30]. The following equation was used in calculating the thermal conductivity [30,31]:

$$\lambda = \alpha \rho c_p \quad (1)$$

Where  $\lambda$  is the thermal conductivity ( $\lambda$ : W · m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),  $\alpha$  is the thermal diffusivity ( $\alpha$ : mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>),  $\rho$  is the density ( $\rho$ : g cm<sup>-3</sup>) and  $c_p$  is the specific heat capacity ( $c_p$ : J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> accepted as fixed).

Lee et al. 2013 [28] reported that there is no significant difference in the specific heat capacities of AZ31 and AZ61 as the aluminum quantities are quite similar. In their study, the specific heat capacity of magnesium (1.0241 J g<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) and aluminum (0.9025 J g<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) showed very little difference at room temperature [28]. Therefore, changes in the specific heat capacities of magnesium alloys caused by addition of aluminum in differing proportions are not significant. In this study, the specific heat capacity ( $c_p$ ) is accepted as fixed.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Microstructure, XRD Pattern and Hardness

The microstructure images (optical light microscopy-OM) and XRD patterns of the alloys are seen on Figure 1 and Figure 2, respectively. The microstructure of these alloys is made up of  $\alpha$ -Mg matrix and intermetallic phases (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> and Mg<sub>2</sub>Si) (Figure 2). It is seen that the Mg<sub>2</sub>Si intermetallic phase in the microstructure is in the form of Chinese scripts and Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> intermetallic phase ranges roughly along the grain boundaries (network formation). The morphologic structure of these alloys are consistent with the literature [5,6,8,9,11,12,23-25]. In the literature, it was indicated that the formation and location of intermetallic phases were due to changes in the solidification behavior of the melt by alloy addition (i.e. Zn, Si, Mn, Sr etc.) [5,6,8,9,11,12,23-25]. When the microstructure images of the AS91 alloy (seen in Figure 1e.) were examined, it was observed that the intermetallic phases in the alloy (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> and Mg<sub>2</sub>Si) were more evident and distributed within the structure depending on the variation of alloy components (9 Al, wt.%).

The hardness tests results obtained from the alloys are given in Figure 3. The mean hardness values of alloys were estimated as 41.8 HV<sub>10</sub> in the AS11 alloy, 48.6 HV<sub>10</sub> in the AS21, 51.6 HV<sub>10</sub> in the AS41 alloy, 54.7 HV<sub>10</sub> in the AS61 and 62.4 HV<sub>10</sub> in the AS91 alloy, respectively. The highest hardness was obtained from the AS91 alloy.

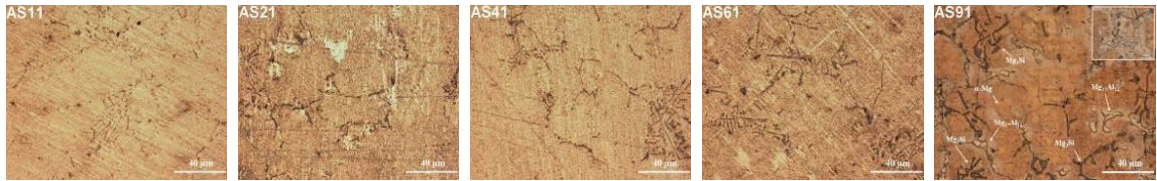


Figure 1. Microstructure of the alloys.

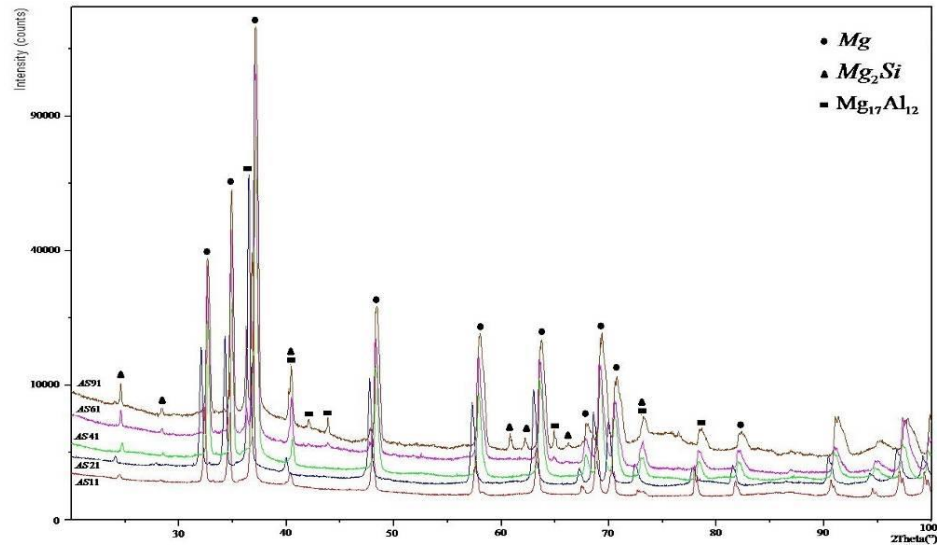


Figure 2. XRD patterns of the alloys.

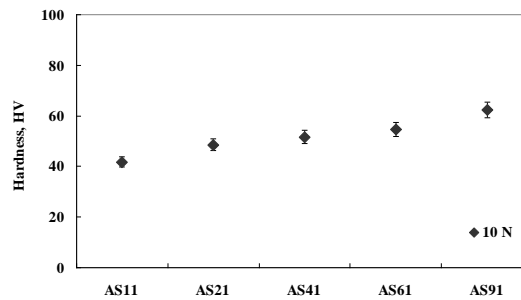


Figure 3. Hardness of the Alloys

### B. Density and Thermal Properties

The densities (seen in Figure 4) and thermal properties (thermal diffusivity and thermal conductivity) (seen in Figure 5a-b) of the alloys varied according to the Al content. The densities of the alloys increased with increasing the Al content in the alloy (seen in Figure 4). The highest density was acquired from the AS91 alloy while the lowest density was detected in the AS11. The densities of these alloys are  $1.75 \text{ g cm}^{-3}$  in the AS11 alloy and  $1.79 \text{ g cm}^{-3}$  in the AS91 alloy, which increase starting from AS11 up to AS91 (Figure 4).

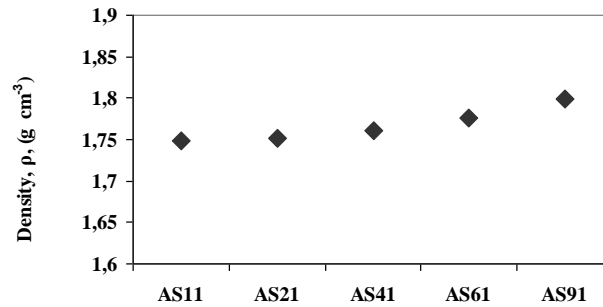


Figure 4. Density of the alloys

Figure 5(a-b) shows the effect of microstructure variations on the thermal properties of the alloys as a function of the alloy content. Thermal diffusivity and thermal conductivity of the Mg alloys used in the test were observed to decrease as the Al content (wt.%) in the alloy increased. Thermal properties of these alloys (except for AS11) increased by increasing temperature. As is known from the literature, thermal properties of pure metals are higher than those of alloys [30, 31]. Depending on the temperature increase (from 25°C to 400°C) in these alloys, thermal diffusivity and thermal conductivity were observed to increase (Figure 5a-b). While the highest thermal diffusivity and thermal conductivity (at all temperatures) occurred in the AS11 alloy, the lowest thermal properties (at all temperatures) were observed in the AS91 alloy (seen in Figure 5a-b). Considering the thermal diffusivity data of the alloys (from AS11 to AS91) at 25 °C, the thermal diffusivity values of these alloys were 68.4 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 57.34 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 44.56 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 34.81 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> and 29.33 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, respectively (seen in Figure 5a). When the temperature was increased to 400 °C, thermal diffusivity values were measured as 65.27 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 60.72 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 49.68 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 44.14 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> and 40.47 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, respectively (seen in Figure 6a). The thermal conductivity values of these alloys were 119.54 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 100.35 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 78.39 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 61.79 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> and 52.56 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> at 25 °C, respectively (seen in Figure 5b). When the temperature was increased to 400 °C, thermal conductivity values were measured as 114.07 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 106.27 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 87.40 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 78.35 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> and 72.53 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, respectively (seen in Figure 5b). The thermal properties of AS series cast Mg alloys increased depending on the temperature (from 25°C to 400°C) (seen in Figure 5). On the other hand, thermal diffusivity and thermal conductivity decreased with increasing Al content (seen in Figure 5).

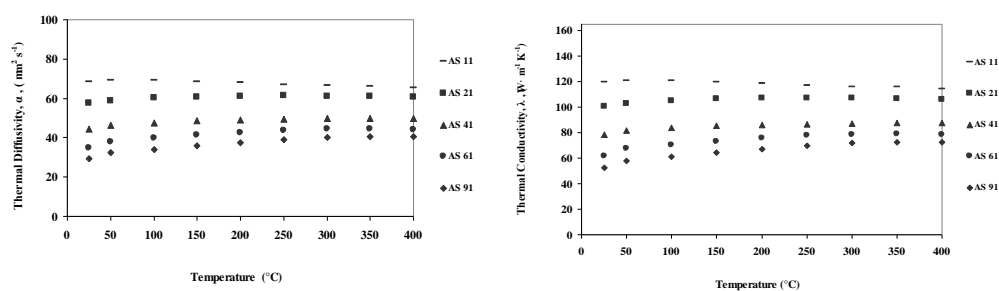


Figure 5. (a) Thermal diffusivity and (b) thermal conductivity of the alloys.

This experimental study results show that the intermetallic phases found (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> and Mg<sub>2</sub>Si) in microstructure of AS series magnesium alloys could be very effective on density, thermal properties (thermal diffusivity and thermal conductivity) and hardness as well. Results obtained from the study are in agreement with the literature [5,6,8,9,11,12,23-25,28-31].

#### IV. CONCLUSIONS

The following results were obtained as a result of this experimental study:

- The alloy composition (from 1 to 9 Al and constant 1 Si, wt.%) has an effect on the place and shape of intermetallic phases ( $Mg_{17}Al_{12}$  and  $Mg_2Si$ ) in the microstructure of AS series cast Mg alloys. The intermetallic phases in the alloys are effective on density and thermal properties/behaviors.
- The densities and thermal properties of the alloys vary according to the Al content (and constant Si). The densities of the alloys increase with increasing Al content. While the highest density was observed in the AS91 alloy ( $1.79 \text{ g cm}^{-3}$ ), the lowest density was in the AS11 ( $1.75 \text{ g cm}^{-3}$ ).
- Thermal properties/behaviors of the alloys were observed to decrease with increasing Al content (wt.%) in the alloy. Depending on the increase in temperature in the alloys (from  $25^\circ\text{C}$  to  $400^\circ\text{C}$ ), thermal diffusivity and thermal conductivity were observed to increase (except for AS11). While the highest thermal properties (at all temperatures) occurred in the AS21 alloy, the lowest thermal properties (at all temperatures) were observed in the AS91 alloy (Figure 6a-b).
- We may conclude that the Mg alloy components affect the alloy microstructure ( $Mg_2Si$  and  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetallic phases) and thermal properties; they also have an effect on temperature increase at the cutting tool tip, FBU occurs/accelerates at the cutting tool tip, wear occurs at the cutting tip and chip lengths vary, thereby facilitating ignition and burning.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank to Bilecik Şeyh Edebali University for support (2016-02.BŞEÜ.03-02 and 2018-02.BŞEÜ.03-03).

#### REFERENCES

- [1] Friedrich, H.E., Mordike, B.L. (2006). Magnesium Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [2] Mehta, D. S., Masood, S. H., Song, W. Q. (2004). Investigation of wear properties of magnesium and aluminum alloys for automotive applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156; 1526-1531.
- [3] Tönshoff, H. K., Denkena, B., Winkler, R. J., Podolsky, C. (2006). Machining, magnesium technology, metallurgy, design data, applications. *Verlag Berlin Heidelberg: Springer*, 398
- [4] Srinivasan, A., Ajithkumar, K. K., Swaminathan, J., Pillai, U. T. S., & Pai, B. C. (2013). Creep behavior of AZ91 magnesium alloy. *Procedia Engineering*, 55, 109-113.
- [5] Li-jie, C., Guo-rui, M., Chun-chong, T. (2012). Effects of isothermal process parameters on semisolid microstructure of Mg-8% Al-1% Si alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(10), 2364-2369.
- [6] Ünal, M. (2008). An investigation of casting properties of magnesium alloys, Gazi University, Institute of Science And Technology, Ph.D. Thesis.
- [7] Srinivasan, A., Swaminathan, J., Pillai, U. T. S., Guguloth, K., Pai, B. C. (2008). Effect of combined addition of Si and Sb on the microstructure and creep properties of AZ91 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 485(1-2), 86-91.
- [8] Li, X. L., Chen, Y. B., & Xiang, W. (2010). Effect of cooling rates on as-cast microstructures of Mg-9Al-xSi ( $x= 1, 3$ ) alloys. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 20, s393-s396.
- [9] Srinivasan, A., Swaminathan, J., Gunjan, M. K., Pillai, U. T. S., Pai, B. C. (2010). Effect of intermetallic phases on the creep behavior of AZ91 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 527(6), 1395-1403.
- [10] Akyüz, B., (2013). Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(8), 2243-2249.
- [11] Ma, G.R., Li, X. L., Xiao, L., Li, Q. F. (2010). Effect of holding temperature on microstructure of an AS91 alloy during semisolid isothermal heat treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 496(1-2), 577-581.
- [12] Dargusch, M. S., Dunlop, G. L., Bowles, A. L., Pettersen, K., Bakke, P. (2004). The effect of silicon content on the microstructure and creep behavior in die-cast magnesium AS alloys. *Metallurgical and Materials*

- Transactions A*, 35(6), 1905-1909.
- [13] Tomac, N., Tønnessen, K., Mikac, T. (2008). Study of influence of aluminium content on machinability of magnesium alloys. *Strojarstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu*, 50(6), 363-367.
- [14] Zhao, X. L., Tang, Y., Deng, W. J., Zhang, F. Y. (2007). Effect of tool flank wear on the orthogonal cutting process. In *Key Engineering Materials* (Vol. 329, pp. 705-710). Trans Tech Publications Ltd.
- [15] Tönshoff, H. K., Winkler, J. (1997). The influence of tool coatings in machining of magnesium. *Surface and Coatings Technology*, 94, 610-616.
- [16] Tönshoff, H. K., Friemuth, T., Winkler, J., Podolsky, C. (2000). Improving the characteristics of magnesium workpieces by burnishing operations. *Magnesium alloys and their applications*, 406-411.
- [17] Liu, K., Li, X. P., Liang, S. Y. (2007). The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(9-10), 875-884.
- [18] Ünal, M. (2014). Effects of solidification rate and Sb additions on microstructure and mechanical properties of as cast AM60 magnesium alloys. *International Journal of Cast Metals Research*, 27(2), 80-86.
- [19] Faruk, M., Özdemir, A., Kainer, K.U., Norbert, H. (2013). Influence of Ce addition on microstructure and mechanical properties of high pressure die cast AM50 magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(1), 66-72.
- [20] Tsuchiya, T., Watanabe, K., Matsuda, K., Kawabata, T., Sakakibara, K., Yamaguchi, T., Ikeno, S. (2012). Effect of Al and Mn contents on microstructure in AM-series magnesium alloys. In *Advanced Materials Research* (Vol. 409, pp. 379-382). Trans Tech Publications Ltd.
- [21] Kiełbus, A., Sozańska, M., Cizek, L. (2006). Microstructural Characterisation of AZ91 Magnesium Alloy. In *Magnesium: Proceedings of the 6th International Conference-Magnesium Alloys and Their Applications* (p. 190). John Wiley & Sons.
- [22] Ma, Y., Zhang, J., Yang, M. (2009). Research on microstructure and alloy phases of AM50 magnesium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 470(1-2), 515-521.
- [23] Akyüz, B. (2014). Influence of aluminum content on machinability of AS series cast magnesium alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(11), 3452-3458.
- [24] Akyüz, B. (2014). Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(9-12), 1735-1742.
- [25] Akyüz, B. (2016). Wear and machinability properties of AS series magnesium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(4), 701-709.
- [26] Akyüz, B. (2014). A study on wear and machinability of AZ series (AZ01-AZ91) cast magnesium alloys. *Kovove Mater*, 52, 255-262.
- [27] Akyüz, B. (2011). Machinability of magnesium and its alloys. *TOJSAT: The Online Journal of Science and Technology*, 1(3), 31-38.
- [28] Lee, S., Ham, H. J., Kwon, S. Y., Kim, S. W., Suh, C. M. (2013). Thermal conductivity of magnesium alloys in the temperature range from -125 °C to 400 °C. *International Journal of Thermophysics*, 34(12), 2343-2350.
- [29] Rudajevová, A., Lukáč, P. (2005). Comparison of the thermal properties of AM20 and AS21 magnesium alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 397(1-2), 16-21.
- [30] Chunming, W., Yungui, C., Sufen, X., Wucheng, D., Xia, L. (2013). Thermal conductivity and mechanical properties of as-cast Mg-3Zn-(0.5~ 3.5) Sn alloys. *Rare Metal Materials and Engineering*, 42(10), 2019-2022.
- [31] Tritt, T.M. (2005). Thermal conductivity: theory, properties, and applications. Springer Science & Business Media, 290.



*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Küresel Bir Nükleer Reaktör İçin Ana ve Alternatif Bükülmedeki Değişimlerin Kritik Yarıçapa Etkisi

### The Influence of Changes in Principal and Alternate Buckling on the Critical Radius for a Spherical Nuclear Reactor

Ali İhsan Göker<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 24/12/2020*

*Revize / Revised: 27/01/2021*

*Kabul / Accepted: 01/02/2021*

#### ÖZ

Nükleer enerjinin ticari olarak kullanılması nükleer reaktörlerde gerçekleşen kontrollü fisyon reaksiyonu yoluyla mümkün olmaktadır. Fisyon reaksiyonunun kontrollü gerçekleşmesi nötron sayısının sabit kalmasına bağlıdır. Buna kritiklik şartı denilmektedir. En basit yaklaşımda, fisyon reaksiyonunu tetikleyen nötronlar düşük enerjili termal nötronlar ve yüksek enerjili hızlı nötronlar olmak üzere enerjilerine göre iki ayrı gruba ayrılabilir. Buna iki gruplu nötron difüzyon teorisi adı verilir. Bu çalışmada, verilen bir reaktör kompozisyonu için kritikliği sağlayan reaktör yarıçapı iki gruplu kritiklik denklemini numerik olarak çözerek tespit edilmiştir. Bu yolla, küresel geometride ana ve alternatif bükülmedeki değişimlerin kritik reaktör yarıçapı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

*Anahtar Kelimeler- Nükleer Enerji, Kritiklik, Nötron Difüzyonu, Fisyon*

#### ABSTRACT

Commercial utilization of the nuclear energy becomes possible through the controlled fission reaction that occurs within the nuclear reactors. Controlled realization of the fission reaction depends on the neutron number staying constant. This is called criticality condition. In the simplest approximation, the neutrons that trigger the fission reaction can be separated into two groups as low energy thermal neutrons and high energy fast neutrons. This is named two group neutron diffusion theory. In this work, the reactor radius that satisfies the criticality for a given reactor composition has been determined by solving the two group criticality equation numerically. In this manner, the effects of changes in principal and alternate buckling on critical reactor radius have been elucidated in a detailed way.

*Keywords- Nuclear Energy, Criticality, Neutron Diffusion, Fission*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [agoker@gmail.com](mailto:agoker@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-8645-4617>)  
Fizik Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 11210, Bilecik, Türkiye

## I. GİRİŞ

Küresel ısınmanın giderek kendini hissettirmesinden dolayı, enerji ve diğer endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması gereği son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. [1,2] Bu doğrultuda, CO<sub>2</sub> yayılımının çok fazla olduğu fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması uygulamaya konulmuştur. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük verim ve kesintili enerji üretim yapısından dolayı nükleer enerji kesintisiz ve yüksek verim ile enerji üretimine imkan tanınmasından dolayı güçlü bir alternatif olarak kendini göstermektedir. Çernobil ve Fukushima benzeri sızıntı vakalarının kamuoyunda oluşturduğu tedirginlik nükleer enerjiye olan ilgiyi azaltmaktadır. [3,4] Nükleer enerjinin yaygın olarak kullanıma girebilmesi için güvenlik sorunlarının hassasiyetle çözülmesi hayati önem taşımaktadır. Bu bakımdan da reaktörde sızıntıya yol açabilecek ana etmen olan nötron dağılımının doğru olarak bilinmesi ve tasarımın o doğrultuda yapılması gerekmektedir.

Bir nükleer reaktörün gerçeğe uygun tasarlanabilmesi için, fisyon reaksiyonuna yol açan nötronların çekirdek içindeki dağılımlarının doğru ve hassas bir şekilde tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Şanssız bir şekilde, nötron dağılımını kesin olarak belirlemek genelde oldukça zor bir problemdir çünkü reaktör içindeki nötronlar tekrarlanan nükleer çarpışmalardan dolayı oldukça karmaşık yollar takip ederler. Buna rağmen, bu çarpışmaların toplamda etkisi nötronların reaktör ortamında difüzyona maruz kalması olarak kabul edilebilir. Bu, bir gazın bir diğeri içinde yayılmasıyla analogdur. Dolayısıyla, nötron dağılımının yaklaşık değeri difüzyon denklemini çözerek elde edilebilir. Bu denklem, moleküler taşınma gibi mühendisliğin diğer dallarında kullanılan difüzyon denkleminin aynısıdır.

Fisyonu tetikleyen nötronlar farklı enerji değerlerinde oldukları için, bu enerjiler aralıklara ayrılarak çok gruplu nötron difüzyon denklemleri ortaya çıkmıştır. Yüksek enerjili bir nötron, nükleer çekirdekle yaptığı inelastik çarpışma sonucu enerjisinin bir kısmını kaybederek bir alt gruba düşmekte ve reaksiyon bu şekilde devam etmektedir. Dolayısıyla farklı gruplardaki nötron akıları birbiriyle eşleşmiş durumdadır. Çok hassas hesaplamalarda, grup sayısı çok fazladır. Nötron difüzyon denklemlerinin çözümü için genelleştirilmiş Pade ve kesikli çarpım yaklaşımı [5], adaptif matris formasyon metodu [6], ilerleyici polinom yaklaşımı [7] ve sınır elemanı-tepki matrisi metodu [8] gibi değişik teknikler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, nötronları oda sıcaklığında olanlar ve onun üstünde kalan enerjiye sahip geri kalanların tamamı olmak üzere iki farklı gruba ayırarak, verilen bir reaktör kompozisyonu için kritik reaktör boyutlarını iki gruplu nötron difüzyon denklemini numerik olarak çözerek tespit ettik.

## II. MATERYAL VE METOT

$R$  yarıçapına sahip küresel geometriye sahip bir nükleer reaktör çekirdeğindeki nötron akısı  $\phi = nu$  ile ifade edilebilir. Burada  $n$  nötron yoğunluğu  $u$  ise nötron hızıdır. Reaktörün çekirdeğinin içinde nötronlar

$$J_r = -D \frac{d\phi}{dr} \quad (1)$$

şeklinde verilen Fick kanununa uygun şekilde difüzyona yani yayılmaya tabidirler. Burada  $D$  difüzyon katsayısıdır. Fick kanununu süreklilik denkleminde yerine yazarsak denge denklemlerine ulaşırız. Bu çalışmada nötronları termal ve hızlı nötronlar olarak 2 gruba ayıracağız. Termal nötronlar enerjileri 0.25 eV civarında olan nötronlara karşılık gelirken, bunun üzerinde enerjiye sahip tüm nötronları hızlı nötronlar olarak kategorize edeceğiz. Hızlı grup için denge denklemi

$$D_1 \nabla^2 \phi_1 - \Sigma_{1s} \phi_1 - \Sigma_{1a} \phi_1 + \nu \Sigma_{1f} \phi_1 + \nu \Sigma_{2f} \phi_2 = 0 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki terimler sırasıyla kaçak, saçılma yoluyla alt gruba indirgeme, emilme, hızlı fisyon ve termal fizyona karşılık gelir.  $\phi_1$  hızlı nötron akısı,  $\phi_2$  ise termal nötron akısına karşılık gelirken  $\nu$  fisyon reaksiyon başına oluşan nötron sayısını göstermektedir.  $\Sigma$  değerleri ise busüreçler için makroskopik kesit alanlardır. Termal nötronlar için denge denklemi ise

$$D_2 \nabla^2 \phi_2 - \Sigma_{2a} \phi_2 + \Sigma_{1s} \phi_1 = 0 \quad (3)$$

olarak yazılır. Buradaki terimler de yine kaçak, emilme ve hızlı gruptan elastik olmayan çarpışma ile aşağı inen nötronlara karşılık gelmektedir. Burada dikkat çekmek istediğimiz husus, termal grupta fisyon kaynağı olmayıp tek nötron kaynağının hızlı gruptan aşağı inen nötronlar olmasıdır. Reflektör içermeyen bir reaktörde, termal nötron akısının hızlı nötron akısına oranı

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{\Sigma_{1s}}{D_2 B^2 + \Sigma_{2a}} \quad (4)$$

ile verilen bir sabittir.

$R$  yarıçapına sahip bir nükleer reaktör çekirdeği ve onun etrafını saran  $T$  kalınlığındaki bir yansıtıcı tabakası arasındaki sınırda nötron akı ve akımının sürekliliğini sağlayan denklemler [9,10]

$$\begin{aligned} \phi_{1c} &= \phi_{1r} \\ \phi_{2c} &= \phi_{2r} \\ -D_{1c} \nabla \phi_{1c} &= -D_{1r} \nabla \phi_{1r} \\ -D_{2c} \nabla \phi_{2c} &= -D_{2r} \nabla \phi_{2r} \end{aligned} \quad (5)$$

ile verilir. Burada  $D_{1r,2r}$  hızlı ve termal nötronların çekirdekteki difüzyon katsayılarını,  $D_{1c,2c}$  ise hızlı ve termal nötronların yansıtıcıdaki difüzyon katsayılarını gösterir. Çekirdekteki hızlı ve termal nötron akıları ise sırasıyla

$$\begin{aligned} \phi_{1c} &= A \frac{\sin \mu r}{r} + C \frac{\sinh \nu r}{r} = AX + CY \\ \phi_{2c} &= AS_1 \frac{\sin \mu r}{r} + CS_2 \frac{\sinh \nu r}{r} = AS_1 X + CS_2 Y \end{aligned} \quad (6)$$

denklemleriyle verilir. Bu denklemlerde  $\mu^2$  ve  $\nu^2$  sırasıyla ana bükülme ve alternatif bükülme olarak adlandırılmaktadır ve  $\nu^2 = \mu^2 + b$  ilişkisiyle bağlantılıdır.  $b$  ise

$$b = \frac{\Sigma_{1s} + \Sigma_{1a} - \nu \Sigma_{1f}}{D_1} + \frac{\Sigma_{2a}}{D_2} \quad (7)$$

ile verilir ve daima pozitifdir. Bundan dolayı her zaman  $\nu \geq \mu$  şartı sağlanır.

Yansıtıcıdaki hızlı ve termal nötron akıları ise

$$\begin{aligned} \phi_{1r} &= F \frac{\sinh\left(\frac{R+T-r}{L_{1r}}\right)}{r} = FZ_1 \\ \phi_{2r} &= G \frac{\sinh\left(\frac{R+T-r}{L_{2r}}\right)}{r} + S_3 F \frac{\sinh\left(\frac{R+T-r}{L_{1r}}\right)}{r} = GZ_2 + S_3 FZ_1 \end{aligned} \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemlerde,  $L_{1r,2r}$  hızlıvetermalnötronların yansıtıcıdaki difüzyon uzunluğudur.  $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$  ise eşleşme katsayılarıdır. Bu ifadeleri 4. denklemde yerine koyup matris şeklinde yazarsak

$$\begin{pmatrix} X & Y & -Z_1 & 0 \\ S_1 X & S_2 Y & -S_3 Z_1 & -Z_2 \\ D_{1c} X' & D_{1c} Y' & -D_{1r} Z_1' & 0 \\ D_{2c} S_1 X' & D_{2c} S_2 Y' & -D_{2r} S_3 Z_1' & -D_{2r} Z_2' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ C \\ F \\ G \end{pmatrix} = 0 \quad (9)$$

ile karşı karşıya geliriz. Burada  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z_1'$ ,  $Z_2'$  birinci türevi temsil etmektedir. Bu, 4 bilinmeyenli ( $A, C, F$  ve  $G$ ) 4 lineer cebirsel denklemdir. Burada sıradan çözüm ( $A=C=F=G=0$ ) haricinde bir çözüm elde etmenin tek yolu

$$\begin{vmatrix} X & Y & -Z_1 & 0 \\ S_1 X & S_2 Y & -S_3 Z_1 & -Z_2 \\ D_{1c} X' & D_{1c} Y' & -D_{1r} Z_1' & 0 \\ D_{2c} S_1 X' & D_{2c} S_2 Y' & -D_{2r} S_3 Z_1' & -D_{2r} Z_2' \end{vmatrix} = 0 \quad (10)$$

şartının sağlanmasıdır. Bu ifadeye ilk sütunu  $X$ , ikinciye  $Y$ , üçüncüyü  $Z_1$  ve dördüncüyü  $Z_2$  ile böldükten sonra üçüncü satırı  $D_{1c}$  ve dördüncü satırı  $D_{2c}$  ile bölmek determinantın değerini değiştirmez. Bu düzenlemenin sonunda

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 \\ S_1 & S_2 & -S_3 & -1 \\ \alpha & \beta & -\rho_1 \gamma & 0 \\ S_1 \alpha & S_2 \beta & -\rho_2 S_3 \gamma & -\rho_2 \delta \end{vmatrix} = 0 \quad (11)$$

ifadesini elde ederiz. Burada  $\alpha = \frac{X'}{X}$ ,  $\beta = \frac{Y'}{Y}$ ,  $\gamma = \frac{Z_1'}{Z_1}$ ,  $\delta = \frac{Z_2'}{Z_2}$ ,  $\rho_1 = \frac{D_{1r}}{D_{1c}}$  ve  $\rho_2 = \frac{D_{2r}}{D_{2c}}$  olarak verilir.

9. denklemdeki determinantı açıp cebirsel hale getirirsek

$$\alpha = \frac{\rho_2 \delta C_1 + \rho_1 \gamma C_2 + \beta C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (12)$$

eşitliğini elde ederiz. Bu denklemde

$$\begin{aligned} C_1 &= S_1(\rho_1 \gamma - \beta) \\ C_2 &= S_2(\beta - \rho_2 \delta) \\ C_3 &= S_3 \rho_2(\delta - \gamma) \end{aligned} \quad (13)$$

ile verilir. Öte yandan,  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z_1'$ ,  $Z_2'$  açıkolarak

$$X'(r) = \frac{\mu \cos \mu r}{r} - \frac{\sin \mu r}{r^2}$$

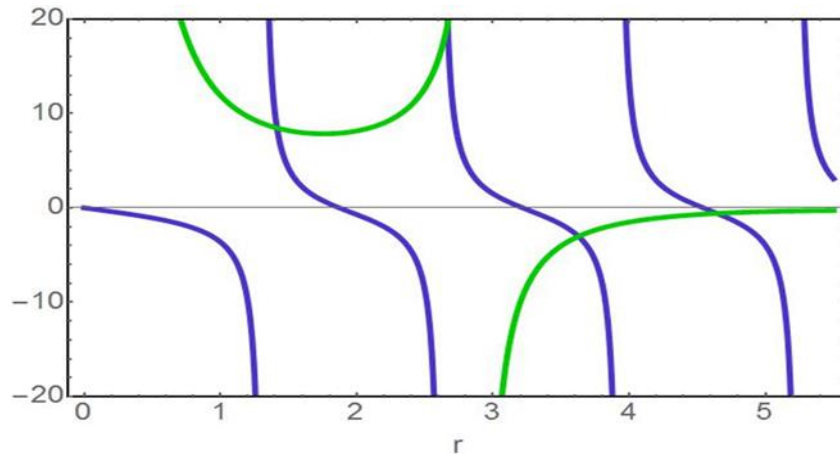
$$\begin{aligned}
 Y'(r) &= \frac{\nu \cosh \nu r}{r} - \frac{\sinh \nu r}{r^2} \\
 Z'_1(r) &= \frac{-\frac{1}{L_{1r}} \cosh \frac{R+T-r}{L_{1r}}}{r} - \frac{\sinh \frac{R+T-r}{L_{1r}}}{r^2} \\
 Z'_2(r) &= \frac{-\frac{1}{L_{2r}} \cosh \frac{R+T-r}{L_{2r}}}{r} - \frac{\sinh \frac{R+T-r}{L_{2r}}}{r^2}
 \end{aligned} \tag{14}$$

şeklinde belirtilebilir. Bizim hesaplamamıza referans teşkil eden denklem 10'dur. Bu makalede hedefimiz, verilen bir reaktör kompozisyonu için kritik yarıçap değerlerini hesaplamaktır. Bu amaç doğrultusunda takip ettiğimiz metod 10. denklemin sağ ve sol tarafındaki ifadelerin  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiğini çizmektir. Reaktör çekirdeğinin içinde bulunan bölgedeki kesişim noktaları bize kritik yarıçapı verecektir.

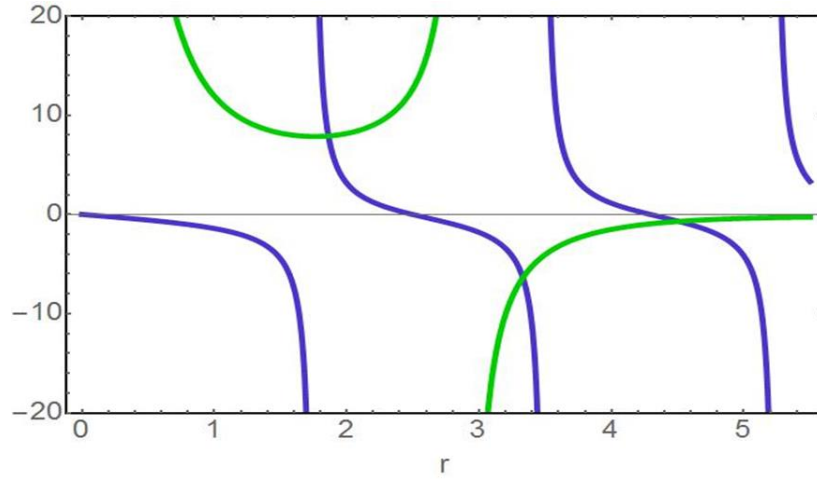
### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kritik reaktör yarıçapını tespit edebilmek için  $R=5$  m,  $T=0.5$  m olarak vektorsayıları da  $\rho_1=1$ ,  $\rho_2=1$ ,  $S_1=1$ ,  $S_2=2$ ,  $S_3=3$  şeklinesabitlererek sayısal hesaplamaları gerçekleştirdik. Sayısal hesaplamalarımız yukarıda detaylı bir şekilde anlatıldığı üzere 7. denklemin sağ ve sol taraflarının  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiğinin çizilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamaların ilk adımında difüzyon uzunluklarını  $L_{1r}=2$  m ve  $L_{2r}=1$  m alıp,  $\mu$  ve  $\nu$  değerlerini değiştirerek iki eğrinin kesişim noktalarının yani kritik yarıçapların nasıl davrandığını inceledik. Dikkat çekmek istediğimiz birdiğerhusus  $\nu^2 = \mu^2 + b$  olduğuiçin hesaplamalarımızda seçtiğimiz  $\mu$  ve  $\nu$  parametreleri her zaman  $\nu \geq \mu$  şartını sağlamaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlar şekil 1, şekil 2, şekil 3., şekil 4 ve şekil 5'te gösterilmiştir. Bu şekillerin hepsinde  $y$  ekseninin birimi  $m^{-1}$ 'dir.

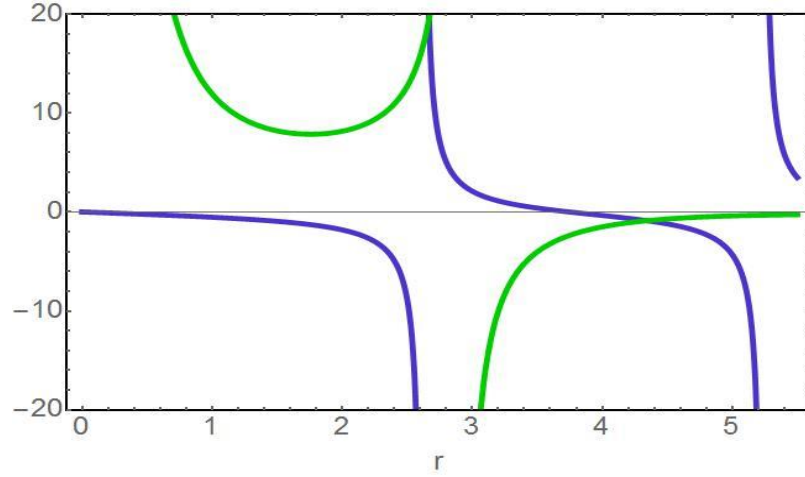
Şekil 1'de reaktörün içinde kritiklik şartını sağlayan 3 yarıçap varken,  $\nu$  sabitken  $\mu$  azaldıkça kritiklik şartını sağlayan yarıçap sayısının giderek azaldığı görülmektedir. Nitekim, şekil 2'de kritiklik şartını sağlayan yarıçap sayısı 3'e, şekil 3'de ise 2'ye düşmektedir. Bu hesaplamalar sırasında  $\nu$  sabittutulmuştur. Öteyandan  $\mu$  sabitken,  $\nu$  nünazaltılması kritik yarıçap sayısını etkilemezken, kritik yarıçap değerlerini değiştirmektedir.



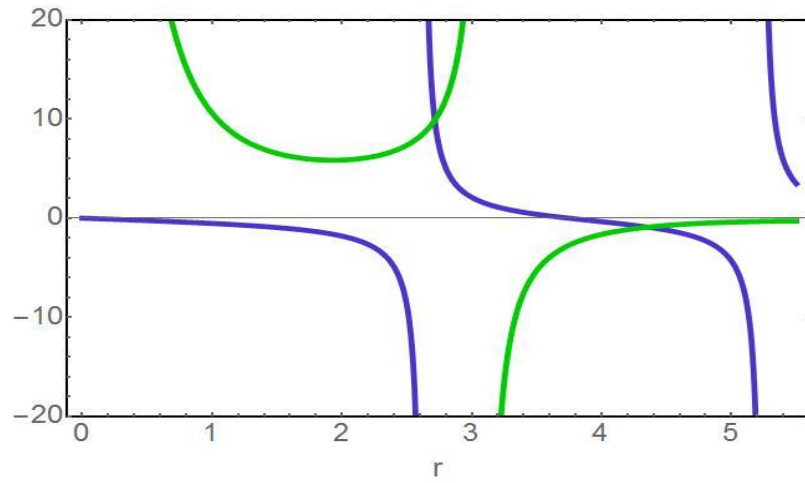
Şekil 1.  $\mu = 2.4$  ve  $\nu = 2.4$  için 7. Denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği



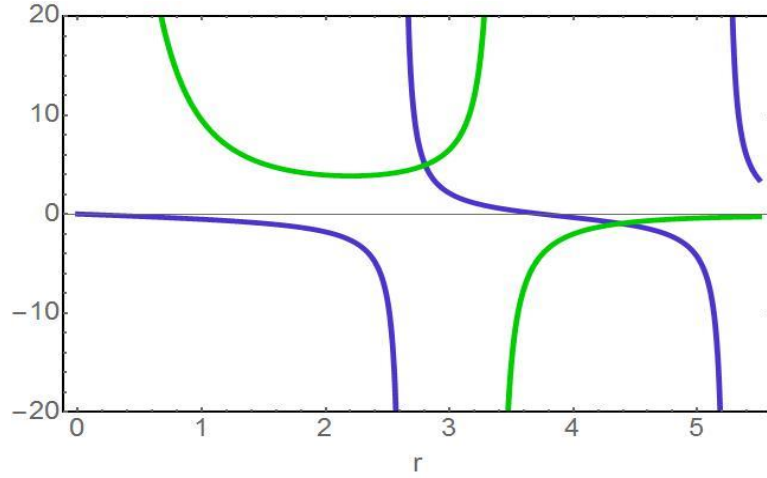
Şekil 2.  $\mu = 1.8$  ve  $V = 2.4$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği.



Şekil 3.  $\mu = 1.2$  ve  $V = 2.4$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği.

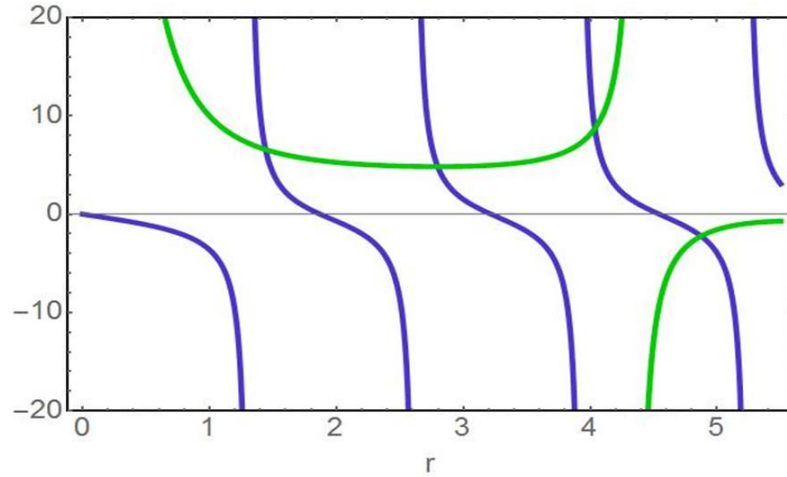


Şekil 4.  $\mu = 1.2$  ve  $V = 1.8$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği.

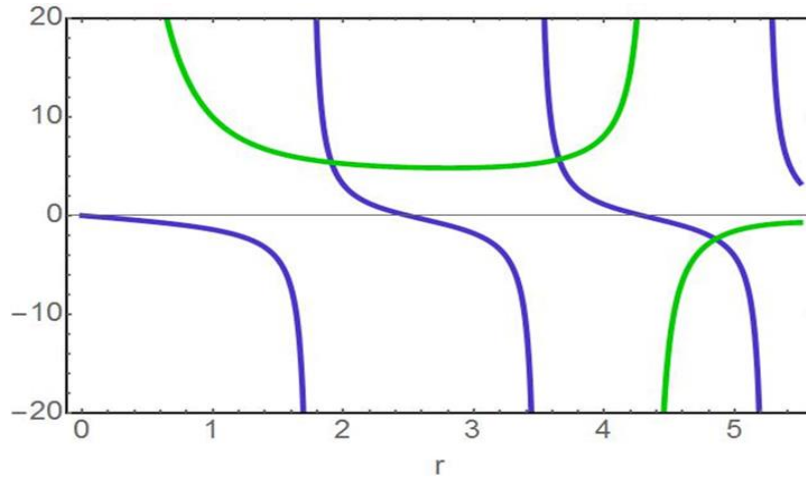


Şekil 5.  $\mu =1.2$  ve  $V =1.2$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının ( $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği).

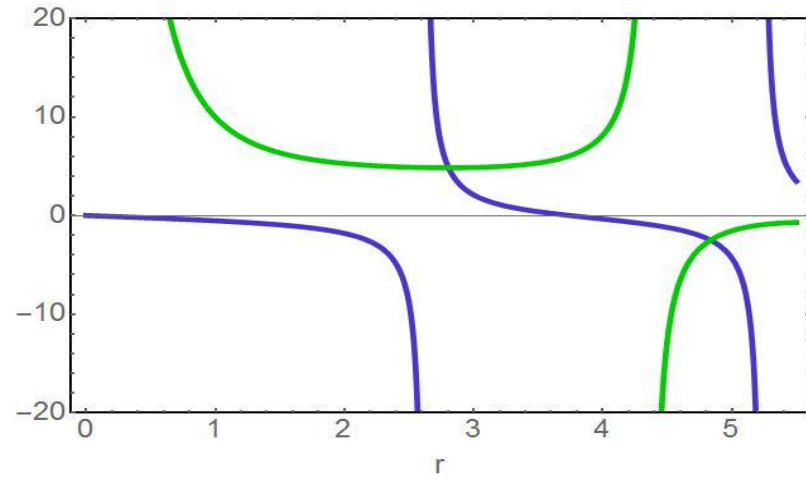
Bu sonuçların genelliğini tespit etmek için hesaplamalarımızı  $L_{1r}=2$  m ve  $L_{2r}=0.5$  m için aynı hesaplamaları tekrarladık. Sonuçlar şekil 6, şekil 7, şekil 8., şekil 9 ve şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 6'da yine şekil 1'de olduğu gibi reaktör içinde kritiklik şartını sağlayan 4 yarıçapvarken,  $v$  sabitken  $\mu$  azaldıkça yine kritiklik şartını sağlayan yarıçap sayısı şekil 7'de önce 3'e sonra şekil 8'de 2'ye düşmektedir. Dolayısıyla genel davranış aynıdır. Son olarak,  $\mu$  sabitken  $v$ 'nün azalması daha önce olduğu gibi kritik yarıçap sayısını etkilemezken sadece değerlerini değiştirmektedir. Bu da şekil 9 ve şekil 10'da görülmektedir. Her iki durumda da kritik yarıçap sayısı değişmeyip 2 olarak kalmıştır. Dikkat çekmek istediğimiz son nokta reaktör çekirdek yarıçapı  $R=5$  m alındığı için bu çalışmada sadece çekirdek içinde kalan matematiksel çözümleri tespit ettik. Reaktör çekirdeği dışında kalan matematiksel çözümler fiziksel olmadığı için göz ardı edilmiştir.



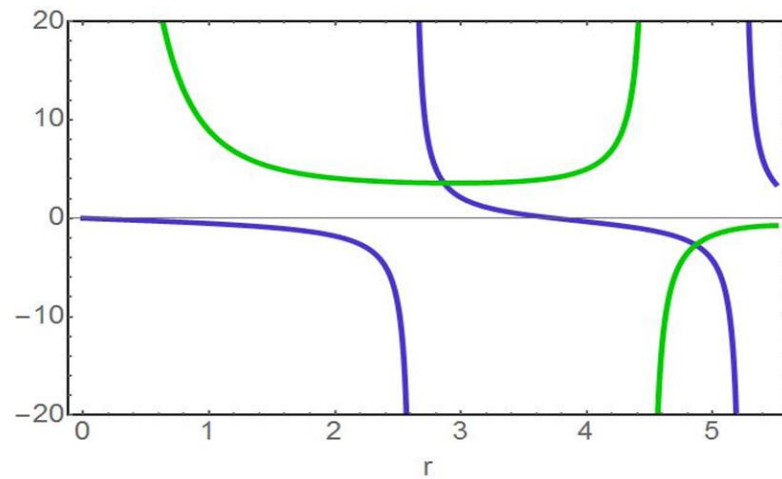
Şekil 6.  $\mu =2.4$  ve  $V =2.4$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol (mavi eğri)taraflarının ( $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği).



Şekil 7.  $\mu = 1.8$  ve  $V = 2.4$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol (mavi eğri) taraflarının  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği.

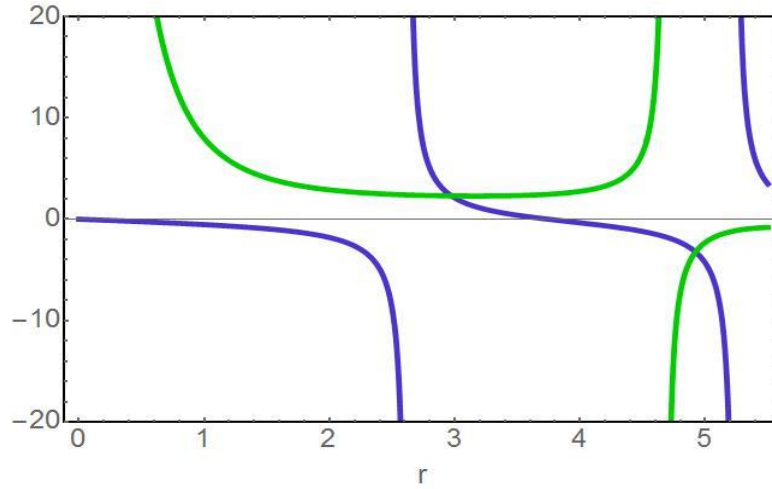


Şekil 8.  $\mu = 1.2$  ve  $V = 2.4$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği



Şekil 9.  $\mu = 1.2$  ve  $V = 1.8$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği





Şekil 10.  $\mu = 1.2$  ve  $V = 1.2$  için 7. denklemin sağ (yeşil eğri) ve sol taraflarının (mavi eğri)  $r$ 'nin fonksiyonu olarak grafiği

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmayla bir nükleer reaktör çekirdeğinde meydana gelen fisyon reaksiyonunun güvenli olarak devam edebilmesi için zaruri olan kritiklik şartını sağlayan yarıçap değerlerini gerçek bir reaktöre olabildiğince yakın bir model olan iki gruplu nötron difüzyon teorisi yardımıyla hesaplamış olduk. Bu çalışmanın sonuçlarının kamuoyunda geniş yer alan reaktör güvenliği ve tasarımına ışık tutması dileklerimizdir. Ayrıca, gelecekte bu modeli daha fazla nötron grupları için gerçekleştirmeyi planladığımızı da belirtmek isteriz.

#### KAYNAKLAR

- [1] Mitchell, C. (2016). Momentum is increasing towards a flexible electricity system based on renewables. *Nature Energy*, 1(2), 1-6.
- [2] Meckling, J., Sterner, T., & Wagner, G. (2017). Policy sequencing toward decarbonization. *Nature Energy*, 2(12), 918-922.
- [3] Bunn, M., & Heinonen, O. (2011). Preventing the next Fukushima. *Science*, 333(6049), 1580-1581.
- [4] Dai, J., Li, S., Bi, J., & Ma, Z. (2019). The health risk-benefit feasibility of nuclear power development. *Journal of Cleaner Production*, 224, 198-206.
- [5] Aboanber, A. E., & Nahla, A. A. (2006). Solution of two-dimensional space-time multigroup reactor kinetics equations by generalized Padé and cut-product approximations. *Annals of Nuclear Energy*, 33(3), 209-222.
- [6] Aboanber, A. E., & Nahla, A. A. (2007). Adaptive matrix formation (AMF) method of space-time multigroup reactor kinetics equations in multidimensional model. *Annals of Nuclear Energy*, 34(1-2), 103-119.
- [7] Quintero-Leyva, B. (2010). The multi-group integro-differential equations of the neutron diffusion kinetics. Solutions with the progressive polynomial approximation in multi-slab geometry. *Annals of Nuclear Energy*, 37(5), 766-770.
- [8] Maiani, M., & Montagnini, B. (1999). A boundary element-response matrix method for the multigroup neutron diffusion equations. *Annals of Nuclear Energy*, 26(15), 1341-1369.
- [9] Lewis, E. E., & Miller, W. F. (1984). Computational methods of neutron transport.
- [10] Marchuk, G. L., & Lebedev, V. I. (1986). Numerical methods in the theory of neutron transport.

*Araştırma Makalesi -Research Article*

# Yumurta Kabuğundan Alınan Akustik Sinyalin Dalgacık Paket Dönüşümü ve Entropiye Dayalı Olarak İşlenmesi ve Yapay Sinir Ağlarıyla Çatlağın Belirlenmesi

## Processing the Acoustic Signal Received from the Eggshell Based on Wavelet Packet Transformation and Entropy and Detecting the Crack with Artificial Neural Networks

Zekeriya Balcı<sup>1\*</sup>, Mehmet Yumurtacı<sup>2</sup>, İsmail Yabanova<sup>3</sup>, Semih Ergin<sup>4</sup>

*Geliş / Received: 27/12/2020*

*Revize / Revised: 15/02/2021*

*Kabul / Accepted: 22/02/2021*

### ÖZ

Endüstride birçok üründe ve evlerimizde, vitaminler ve mineraller bakımından zengin olmasından dolayı yumurta yaygın olarak tüketilmektedir. Artan ihtiyacı hızlı bir şekilde karşılanması için tavuk çiftliklerinde yumurtaların toplanması, ağırlıklarına göre sınıflandırılması, sağlam/çatlak olanların ayrılması, paketlenmesi vb. işlemler için otomasyona geçiş yapılmıştır. Kabuğun çatlak olması durumunda içerisine zararlı mikroorganizmalar kolaylıkla girebileceği gibi yumurta içinin havayla temasından dolayı kısa sürede bozulmasına yol açacaktır. Çatlaklar gözle görülebilecek kadar büyük olabildiği gibi bazen de mikro boyutta olmakta insan gözüyle tespit edilememektedir. Bu çalışmada yumurta kabuğunun çatlak/sağlam olması durumunun sinyal işleme ve makine öğrenme tabanlı tespiti gerçekleştirilmiştir. Mekanik sistem vasıtasıyla kabuğa yapılan darbe neticesindeki oluşan akustik sinyal sistemdeki mikrofonla 50kHz örnekleme frekansında 0.2 sn süresince kayıt altına alınmaktadır. Kabuğu sağlam ve çatlak olan ayrı ayrı 50 yumurta verisi düzenekle kayıt altına alınıp veri seti oluşturulmuştur. Yumurta kabuğuna darbenin uygulanma anından sönümlenene kadarki zamanın tespiti için 0.74V eşik değeri kullanılıp bu değerden sonraki 680 veri alınmıştır. Bu verilere db4 ana dalgacığı ile 2. seviyeden Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) uygulanarak farklı frekanslı detay ve yaklaşım bileşenleri çıkartılmıştır. Her bir bileşenin entropi değeri hesaplanarak 1x4 boyutunda özellik vektörü elde edilmiştir. Çıkartımı yapılan özellik vektörünün yumurta kabuğundaki çatlağın tespitindeki etkinliğini belirlemek için Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanılmıştır. %100 başarımla elde edilmiş olup bir yumurtanın kabuk çatlak/sağlam belirleme süresi yaklaşık olarak 0.216sn'dir.

**Anahtar Kelimeler-** Çatlak, Entropi, Dalgacık Paket Dönüşümü, Sinyal İşleme, Yapay Sinir Ağları

### ABSTRACT

Eggs are widely consumed in many products industry and homes as they are rich in vitamins and minerals. In order to meet increasing need quickly, automation has been made in chicken farms for processes, such as collecting

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [balcizekeriya29@gmail.com](mailto:balcizekeriya29@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-1389-1784>)

*Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Çaldıran Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [mehmetyumurtaci@aku.edu.tr](mailto:mehmetyumurtaci@aku.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-8528-9672>)

*Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Afyon, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [iyabanova@gmail.com](mailto:iyabanova@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-8075-3579>)

*Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Afyon, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [sergin@ogu.edu.tr](mailto:sergin@ogu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-7470-8488>)

*Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, Türkiye*

eggs, weight classifying, separating cracked, and packing. If shell is cracked, harmful microorganisms can easily enter into it, and egg will deteriorate in a short time due to contact with air. Cracks can be large enough to be visible to naked eye, and sometimes they are micro-sized and cannot be detected by human eye. In this study, detection of cracked eggshell based on signal processing and machine learning was carried out. Acoustic signal generated as a result of impact made to shell by means of mechanical system was recorded for 0.2 seconds at a sampling frequency of 50 kHz with microphone. Separately, 50 eggs data with intact and cracks shells were recorded with system and data set were created. Threshold value of 0.74V was used to determine time from moment of impact to egg shell to damping, and 680 data were taken after this value. The detail and approximation components with different frequencies were extracted by applying Wavelet Packet Transform (WPT) from 2nd level with db4 main wavelet. By calculating entropy value of each component, 1x4 feature vector was obtained. Artificial Neural Network (ANN) was used to determine efficiency of extracted feature vector in detecting crack egg shell. 100% performance was achieved and an egg's shell crack detection time was determined in approximately 0.216 seconds.

**Keywords-** *Crack, Entropy, Wavelet Packet Transform, Signal Processing, Artificial Neural Networks*

## I.GİRİŞ

Yumurta, zengin besin içeriklerinden ve ucuz bir gıda olmasından dolayı insanlar tarafından günlük beslenmede tercih edilen ve tüketimi giderek artış gösteren besin kaynaklarından birisi olmuştur [1]. Ancak yumurtanın kabuğunda üretimden pazara ulaşıncaya kadar kırık ve çatlak gibi hasarlar oluşabilmektedir. Bu hasarlar sonucunda işletmelerde ve yumurta endüstrisinde önemli bir sorun teşkil etmekle birlikte önemli ekonomik kayıplara neden olabilmektedir [2,3]. Yumurta kabuğunda oluşabilecek çatlaklar yumurtayı zararlı mikro organizmalara karşı savunmasız hale getirebilmektedir. Bakteri bulaşmış bir yumurta insan sağlığını tehdit edebilmekle birlikte gıda güvenirliliğini ortadan kaldırmaktadır [4]. Çatlak yumurtadan kaynaklanabilecek bu olumsuzlukların giderilmesi veya en aza indirilmesi amacıyla, çatlak yumurtaların üretim aşamasında tespit edilerek ayrıştırılması önem arz etmektedir.

Yumurta çatlaklarının tespiti için yapılan çalışmaların, akustik sinyal analizi ve bilgisayarlı görü yöntemleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

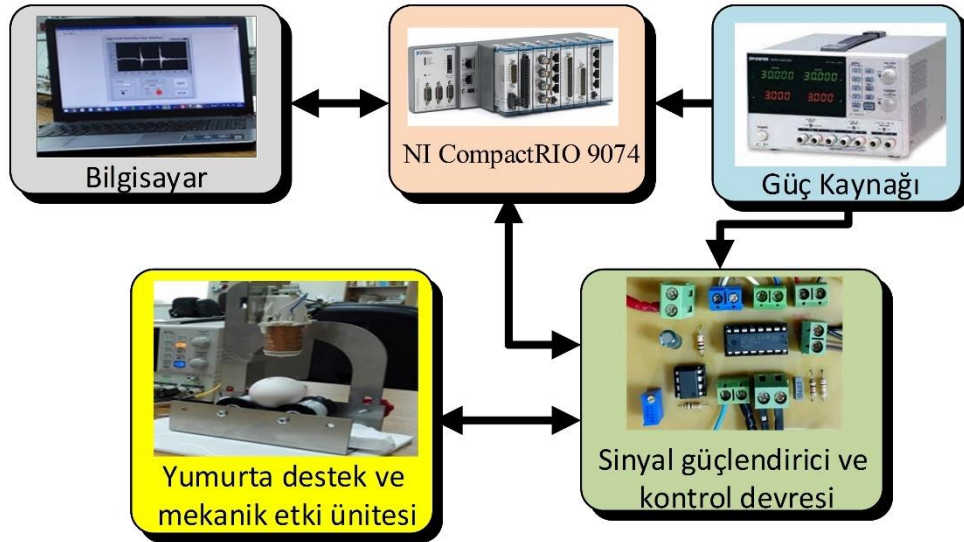
Bilgisayarlı görü yöntemleri basit yapısı, bakım maliyetleri ve çevre gürültüsünden etkilenmediği için çatlak yumurta tespiti çalışmalarında da kullanılmıştır. Bilgisayarlı görü yöntemlerinde yumurta bir ışık kaynağı tarafından aydınlatılarak yumurta yüzeyindeki kusurların ortaya çıkarılması sağlanır. Daha sonra görüntü kamera ile alınarak ardından çeşitli görüntü işleme yöntemleri ve örüntü tanıma metodları ile çatlaklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Önceki çalışmalar göstermiştir ki, gözle görülebilen çatlaklarda bilgisayarlı görü ile yumurta kabuğundaki çatlaklar %90 üzeri bir başarımla tespit edilebilmiştir [5–10]. Ancak bilgisayarlı görü yönteminde yumurta yüzeylerinin düzensizliği ve ışık kaynağının ayarı yumurta kabuğundaki çatlakların tespitinde sorun teşkil ettiği, ayrıca bu yöntemlerin yumurta kabuğundaki mikro çatlakları tespit etmede yetersiz kaldığı rapor edilmiştir [11]. Belirtilen problemin çözümü için yumurtaya kapalı bir kap içerisinde negatif basınç uygulanması sonucunda mikro çatlak bölge açılarak çatlak alanın görünürlüğü artırılması sonucu uygulanan yöntemler ile çatlak tespitinde % 100'e kadar ulaşıldığı rapor edilmiştir [12–15]. Sunulan çalışmalar, negatif basınç sonucu mikro çatlakların belirginleştirilerek tespit edilmesinde başarımın yüksek olmasına rağmen bu sistemlerin karmaşık yapısı, online tespit ve endüstriye uygulanabilirliği bakımından çekinceler oluşturmaktadır.

Akustik sinyal analizi yönteminde, yumurtaya zarar vermeyecek bir şiddette yumurta kabuğuna uygulanan mekanik etki sonucu oluşan akustik sinyallerin analizi ile çatlak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntem temelde, akustik cevap sinyalinin alınması, özellik çıkarımı ve seçiminin ardından tanıma işleminden oluşmaktadır. Son çalışmaların tanıma sürecinde sınıflandırma algoritması geliştirilmesi üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Yumurta kabuğundaki çatlakların tespiti için akustik sinyal analizi üzerine, Bulanık Mantık [16], Destek Vektör Veri Tanımlaması [17], Destek Vektör Makinaları [18], Lineer Ayrıcılık Analizi [19], YSA [20, 21] ve birçok yöntem uygulanmıştır [22–25]. Uygulanan bu yöntemler neticesinde yumurta kabuğundaki çatlakların tespitinde başarımın % 98.9'a kadar ulaştığı, sistem performansı ve hızının pratikte uygulanabilirliği için iyileştirilmesi gerektiği rapor edilmiştir.

Bu çalışma, yumurta kabuğuna uygulanan mekanik bir etki sonucunda oluşan akustik sinyal kullanılarak kabuğun çatlak/sağlam olması durumunun belirlenmesi üzerinedir. Akustik sinyal mikrofon yardımıyla 50kHz örnekleme frekansında 10.000 veri olarak kayıt altına alınmıştır. Kabuğa uygulanan darbeden itibaren sönümlenme anına kadarki verileri tespit etmek için 0.75V eşik değerinin üzerine çıkılmasından sonraki 680 veri kullanılmıştır. Bu veriye DPD uygulanarak farklı frekanslı bileşenleri tespit edilmiştir. Her bir bileşenin entropi değeri hesaplanarak 1x4 boyutunda özellik vektörü elde edilmiştir. Yumurta kabuğunun sağlam olması durumunda YSA'nın çıkış etiketi 1 iken çatlak olması durumunda 0 olarak belirlenmiştir. 50 sağlam ve 50 çatlak kabuğa sahip yumurta verisi kullanılarak YSA eğitilmiştir. 100 adet veriden rast gele olarak seçilen 80 adedi ağın eğitimi, 10 adedi eğitilen ağın değerlendirilmesinde ve son olarak geriye kalan 10 adedi ise test işleminde kullanılmıştır. Ağ çıkışında kabuğun sağlam olması durumunda 1 bilgisi alınırken çatlak olması durumunda 0'a yakın bir değer alınmaktadır. Ağ çıkış etiketinin 0 olması için bir eşik değeri (1e-6) kullanılmıştır. Harici olarak alınan 16 adet yumurta verisi ile ekstra olarak sınıflandırma yapılmış olup tüm veriler için %100 başarımla elde edilmiştir. Bu makalede, öncelikle, literatürde daha önce yer almayan, kendi içerisinde kararlı ve istikrarlı deneysel çalışmaların sonucu elde edilmiş bir veri tabanının araştırmacıların bilgisine ve kullanımına sunulması gerçekleştirilmiştir. Bu veri tabanı kullanılarak yumurta kabuğundaki çatlakların belirlenmesinde öne sürülen DPD ve entropiye dayalı öznelik vektörleri sayesinde 1x4 vektör boyutuyla 0.216 sn. gibi oldukça kısa bir sürede ve epeyce yüksek bir doğruluk oranıyla yumurta çatlakları tespit işlemi yürütülmüştür.

## II. MATERYAL VE METOT

Uygulamada geliştirilen deneysel düzenek güç kaynağı, işlemsel yükselteç ve kontrol devresi, CompactRIO (cRIO), verilerin toplanması analiz edilmesi, görselleştirilmesi için yazılım ve bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 1'de uygulama için geliştirilen sistemin blok şeması verilmiştir. Sonraki bölümlerde bileşenler detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 1. Sistemin blok şeması

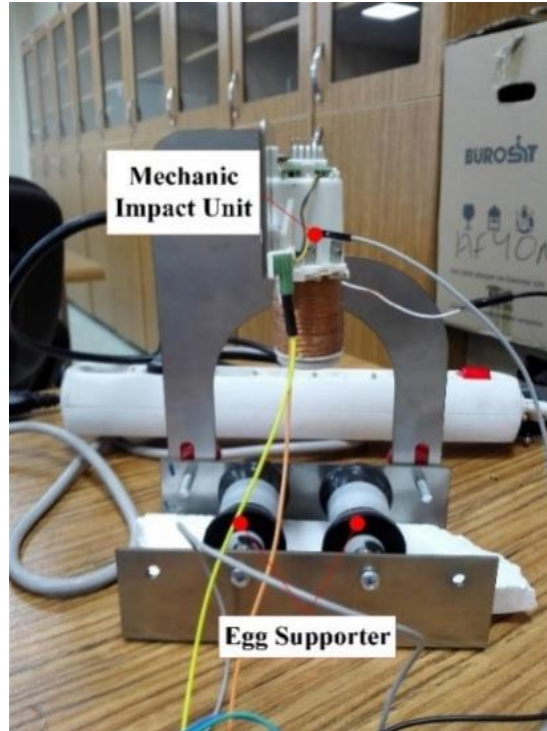
### A. CompactRIO

CompactRIO National Instruments (NI) firması üretimi modüler birimler ile uygulamaya yönelik düzenlenebilir endüstriyel kontrolördür [26]. Bu çalışmada cRIO 9074 ile birlikte NI-9215 analog giriş modülü ve NI-9375 dijital giriş çıkış modülü kullanılmıştır. cRIO'ya ait teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

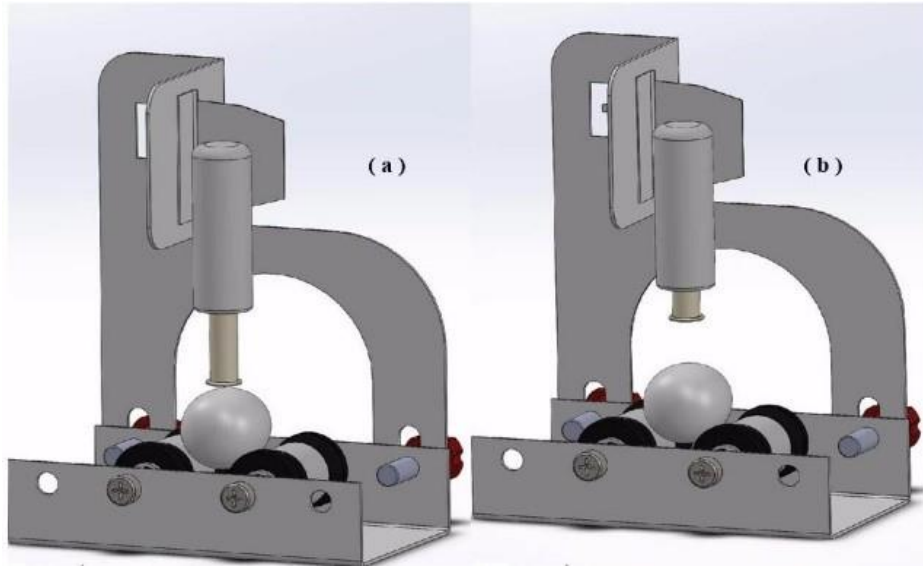
- +19V DC ile 30V DC arası çalışma gerilimi
- 400 MHz işlemci hızı
- 256 MB dahili hafıza
- Xilinx Spartan-3 2M FPGA
- Ethernet ve RS232 haberleşme desteği
- 8 adet modüler birim

### B. Yumurta Destek ve Mekanik Etki Ünitesi

Yumurtanın konumlandırılacağı yumurta destek ünitesi ve mekanik etki ünitesi Şekil 2'de verilmiştir. Bu ünite ile makaralar üzerine konumlandırılan bir adet yumurtaya mekanik bir etki uygulanarak bu etki sonucunda oluşan ses sinyalleri bir mikrofon yardımı ile alınmaktadır. Mekanik etki ünitesi içi boş bir boru şeklinde dış bobin ile sarılmış dış kısım ve dış kısmın içinde boru şeklindeki hareketli iç kısımdan oluşmaktadır. Bu hareketli kısım yumurtanın kabuğuna zarar vermeyecek bir çarpma ile akustik sinyallerin oluşturulmasını sağlamaktadır ve bu olay Şekil 3'de tasvir edilmiştir.



Şekil 2. Yumurta destek ünitesi ve mekanik etki ünitesi genel görünümü



Şekil 3. Yumurta çarpma pozisyonu (a), başlangıç pozisyonu (b)

### C. İşlemsel Yükselteç ve Sürücü Devresi

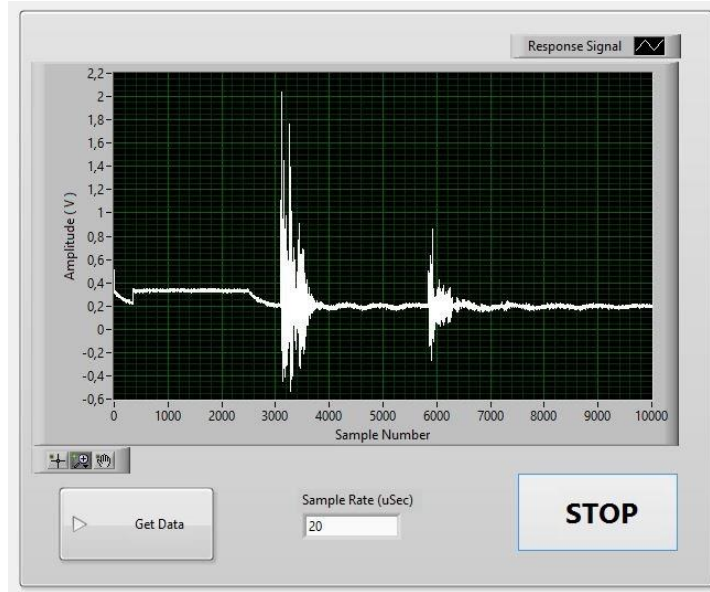
Yumurta kabuğundan elde edilen akustik sinyalleri kuvvetlendirmek ve mekanik etki ünitesinin kontrolü için, L293D sürücü entegresi, LN358N kuvvetlendirici entegresi ve devre için gerekli pasif devre elemanları kullanılarak tasarlanan kart Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Sinyal kuvvetlendirici ve kontrol devresi

### D. Veri Toplama Programı

Çalışmada ihtiyaç duyulan veri setinin oluşturulması için LABVIEW [27] ortamında yazılan veri toplama programı Şekil 5'te verilmiştir. Bu programda veri al butonuna basıldığında belirtilen örnekleme süresi esas alınarak yumurtaya uygulanan mekanik etki sonucu oluşan ses sinyalinin verisi alınmaktadır.



Şekil 5. LABVIEW ortamında yazılan veri alma programı

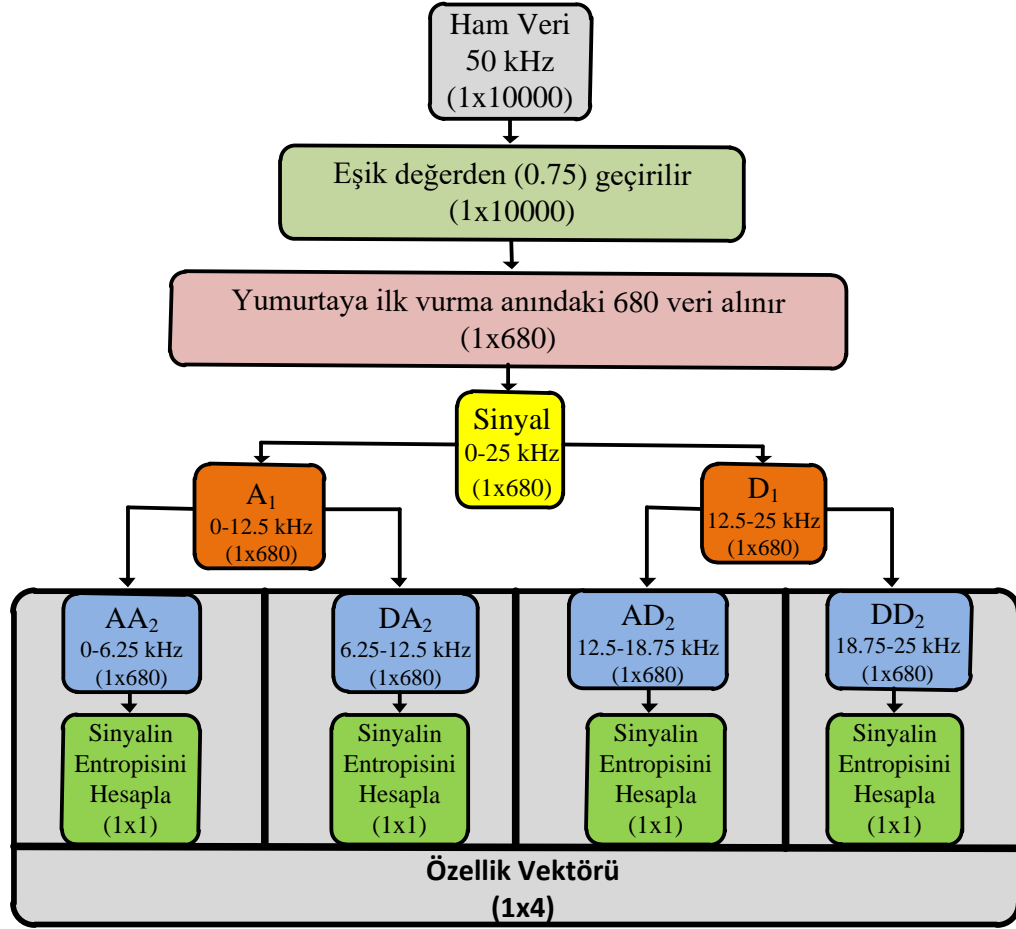
### E. Özellik Vektörünün Çıkarımı

Sistemden her bir yumurta için 50 kHz örnekleme frekansında 0.2 sn boyunca 10000 adet veri alınmıştır. LabVIEW programında 116 adet yumurta verisini barındıran bir veri seti oluşturulmuştur. Bundan sonraki işlemler Matlab programında gerçekleştirilmiştir. Sinyalin bu haliyle kullanılması hem işlem sürecinin uzamasına hem de yapay zekâ yöntemiyle yapılacak yumurta kabuğunun çatlak/sağlam olması durumunun sınıflandırma başarımını düşürecektir. Mekanik sistemdeki bobine bir yönde enerji verildiğinde içerisindeki pim çıkarak yumurtaya vurmakta ve bobine diğer yönde enerji uygulanması durumunda pim geri ilk konumuna gelmektedir. Şekil 5'te verilen bir yumurta verisi incelendiğinde bobin içerisindeki pimin yumurtaya vurması durumunda ve kapanması durumunda alınan ses sinyalinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Pimin yumurtaya vurmasıyla ses sinyalinin genliğinde ani bir artış gözlemlenerek oluşan salınım zamanla sönümlenmektedir. Kabuğu çatlak/sağlam yumurtada salınım süresi değişkenlik göstermektedir. 0.75V eşik değeri kullanılarak yumurtaya vurulma anı tam olarak tespit edilip bundan sonraki 680 veri alınıp kullanılmıştır.

Dalgacık dönüşümü, sinyaldeki keskin yükselmeler ve süreksizlikleri tanımlamada çok etkili bir yöntemdir [28]. Dalgacık dönüşümünün özelliğini doğal olarak tutan DPD hem zaman hem de frekans alanları içinde iyi bir yerleştirme özelliğine sahiptir. Durağan ve periyodik olmayan sinyallerin analizinde büyük bir başarımlı göstermektedir [29]. Sinyalden özellik çıkartımı için DPD kullanılmıştır. Böylece sinyalin düşük frekanslı yaklaşım ve yüksek frekanslı detay bileşenleri tespit edilmiştir. Ana dalgacık olarak Daubechies 4 (db4) dalgacığı kullanılmıştır [30]. İkinci seviye DPD uygulanarak 1x680 boyutunda farklı frekans bantlarına ait dört farklı sinyal elde edilir. Gerek bu verilerin boyutunu azaltmak gerekse durağan olmayan bir sinyal içerisindeki düzensizlik derecesini ölçmek için bu sinyallerin entropisi hesaplanır. Çeşitli entropi hesaplama yöntemleri mevcut olup bu çalışmada norm entropi tercih edilmiştir. Matematiksel ifadesi denklem (1)'deki gibidir [31];

$$E(s) = \sum_i |S_i|^p \quad 1 \leq p < 2 \quad E(s) = \sum_i |S_i|^p \quad 1 \leq p < 2 \quad (1)$$

Özellik vektörümüz 1x4 boyutuna gelmiştir. Verilerin kaydı sırasında daha az yer kapladığı gibi sınıflandırıcının da birbiriyle yakın ilişkili olan daha az veriyle işlem yapması sınıflandırma başarımını arttıracaktır. Özellik vektörünün çıkarımına ilişkin adımlar detaylı olarak Şekil 6'da verilmiştir.

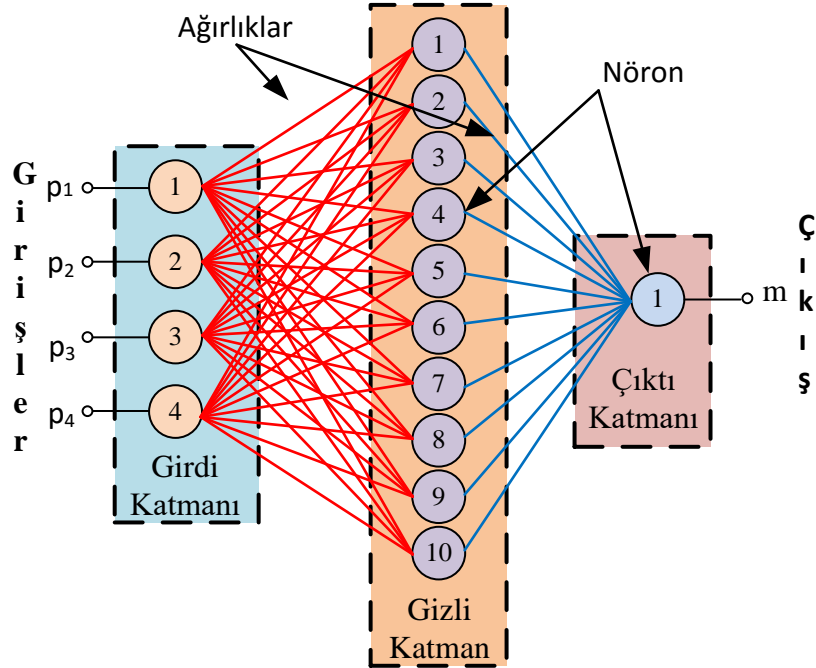


Şekil 6. Özellik vektörünün çıkarımı

#### F. YSA ile Çatlak Yumurtanın Tespiti

İnsan beyninin çalışma mantığından esinlenerek YSA'lar oluşturulmuştur. Öncelikli olarak eldeki verilere göre ağ eğitilmekte ve sonrasında yeni bir durumla karşılaşıldığında bir yargıya varabilmektedir. Temel olarak bir YSA giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Ağın giriş ve çıkış sayısı giriş ve çıkış katmanındaki nöron sayısını belirlerken, gizli katman sayısını ve katmanlardaki nöron sayısı kullanılan veri setine göre değişkenlik göstermektedir. YSA modeli, MATLAB programı içerisinde yer alan Neural Network FittingTool (nftool) aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Özellik vektörünün boyutu 1x4 olduğundan giriş katmanında 4 nöron bulunmaktadır. Gizli katmanda 10 nöron seçilirken tek çıkışımız olduğundan çıkış katmanında 1 nöron bulunmaktadır. Çıkışın değeri yumurta kabuğunun çatlak olması durumunda 0, sağlam olması durumunda 1 olacak şekilde etiketlenmiştir. 100 yumurta verisi içerisinde rastgele olarak ağın eğitimi için 80, değerlendirilmesi için 10 ve test edilmesi için ise 10 adedi kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile ileri beslemeli geri yayımlı ağı eğitimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan YSA modelinin ayrıntıları Şekil 7' de verilmiştir.





Şekil 7. Hazırlanan YSA modelinin yapısı

Eğitimi gerçekleştirilen YSA'nın değerlendirmesi ortalama karesel hata (MSE) ve regresyon değerine ( $R^2$ ) göre yapılmaktadır. Ağın iyi eğitilmesi için MSE değerinin sıfıra ve  $R^2$  değerinin bire yakın olması beklenmektedir. Eğitimi yapılan YSA modelinin MSE ve  $R^2$  değerleri Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan YSA modelinin eğitim sonuçları

	Örnek Sayısı	MSE	$R^2$
Eğitim	80	8.92112e-16	9.99999 e-1
Değerlendirme	10	3.32617e-16	9.99999 e-1
Test	10	1.36625e-15	9.99999 e-1

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

50 kHz örnekleme frekansında yumurta kabuğunda mekanik etki ile oluşturulan ses sinyalleri pim üzerindeki mikrofon yardımıyla 0.2 sn boyunca 10.000 adet veri olarak kayıt altına alınmıştır. Kabuğu çatlak olan 50 ve sağlam olan 50 yumurta olmak üzere 100 yumurtaya ait bir veri seti oluşturulmuştur. Bir yumurtaya ait 10.000 veriyi azaltmak içerisindeki asıl darbe anı ve sonrasında sönümlenme süresince verileri tespit etmek için 0.75V eşik değeri kullanılmıştır. Eşik değerinden sonraki 680 veri alınarak öncelikli olarak sinyal işleme metotlarından biri olan DPD uygulanmıştır. Farklı frekans bant aralığına sahip bileşenlerin entropi değerleri hesaplanarak özellik vektörünün boyutu 1x4 olarak düşürülmüştür. Veri setindeki 50 çatlak ve 50 sağlam yumurta verisi kullanılarak YSA eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. YSA çıkışında sağlam yumurta için 1 değeri alınırken çatlak yumurta için ise tam 0 değeri değil de sıfıra yakın bir değer elde edilmiştir. Çıkarımı yapılan özellik vektörünün yumurtanın kabuğunun çatlak/sağlam olması durumundaki değişimi ve YSA'nın tahmini çıkış değerlerinin durumu Tablo 2'de gerçek değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu veriler, YSA tarafından başlangıçta 100 yumurta içeren veri seti içerisinde rastgele seçilen 10 adet test verisinden örnek olarak alınan üç adet kabuğu çatlak ve üç adet kabuğu sağlam yumurtaya ait verilerdir.

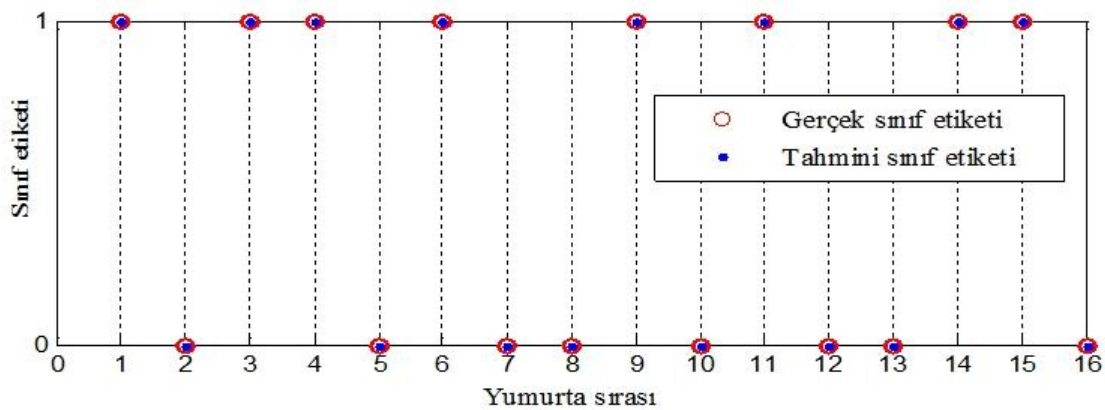
**Tablo 2.** Çıkarımı yapılan özellik vektörleri ve YSA modelinin tahmini çıkış değerleri

	Çatlak Yumurta			Sağlam Yumurta		
Özellik Vektörü	245.0170	132.2851	212.3664	65.2689	134.7160	155.6506
	1.4694	0.4515	0.7624	0.0731	0.0494	0.0381
	0.0279	0.0209	0.0161	0.0088	0.0063	0.0050
	0.0359	0.0257	0.0375	0.0149	0.0152	0.0091
Gerçek Çıkış	0	0	0	1	1	1
Tahmini Çıkış	2.8985e-08	-9.9765e-08	1.6064e-08	1	1	1

Yumurta kabuğunun çatlak olması durumunda, sağlam olması durumuna göre özellik vektörünü oluşturan özellikler 2. ve 3. parametrelerin değerleri daha yüksektir. YSA modeli çıkışında çatlak yumurtaya ait olan 0 etiketinin tam olarak alınabilmesi için  $1e-6$  değerinde bir eşikten geçirilmesine karar verilmiştir. Böylece ağır çıkışında gerçek değerlerle birebir aynı etiketler gözlemlenmiştir.

Referans [24] incelendiğinde 22050Hz örnekleme frekansında aldıkları 500 veriyi çalışmalarında kullanmışlardır. Elde edilen sinyale db7 dalgacığını kullanarak 7. seviyeden ayrık dalgacık dönüşümü uygulamışlardır. Elde edilen bileşenlerin enerji değerlerini hesaplayarak  $1 \times 8$  boyutunda özellik vektörünü elde etmişlerdir. Özellik vektörü verilerini Bayes teoremine dayalı olarak oluşturdukları ayrık modele girerek yumurta kabuğunun çatlak/sağlam olması durumunu farklı dokunma noktalarına göre %95'e varan başarımla tespitini sağlamışlardır. Bu çalışmada ise, yumurta kabuğundan 50 kHz örnekleme frekansında 10.000 adet veri alınıp, 0.75V eşik değerinden geçirilip, toplamda 680 veri kullanılmıştır. 2. seviyeden DPD uygulanıp elde edilen bileşenlerin entropisi hesaplanarak,  $1 \times 4$  boyutunda özellik vektörü elde edilmiştir. Özellik vektörünün etkinliğini göstermek amacıyla YSA ile yapılan tahmin işlemlerinde %100 başarımla elde edilmiştir.

Ağır eğitim işlemi sürecine dâhil edilmeyen eğitim/değerlendirme/test verilerinden hariç olarak 16 adet yumurta verisiyle kullanılan özellik vektörü ve sınıflandırıcının doğruluğu denenmiş ve başarımla %100 olarak bulunmuştur (Şekil 8). Elde edilen sonuçlar çıkartımı yapılan özellik vektörünün yumurta kabuğundaki çatlakların tespitinde etkili olduğunu göstermektedir.



**Şekil 8.** Harici değerlendirme veri sonuçları

Çalışma süresince kullanılan laptopun özellikleri; işlemcisi Intel Core i7 740QM @ 1.73GHz, ram 6 GB DDR3 1333MHz ve 500 GB 5400 RPM hızındaki hard diske sahiptir. Yumurta çatlak verilerinin temini için tasarlanan mekanik sistemden verinin alınması için 0.2 sn gerekli iken bu verinin işlenip özellik vektörünün çıkartılıp sınıflandırıcı tarafından çatlak/sağlam durumunun tespiti için yaklaşık 0.016 sn gibi bir süre gereklidir. Hem mekanik sistem hem de yazılımlar ile doğrudan bir yumurtanın çatlak/sağlam olması durumu yaklaşık olarak 0.216 sn' de tespit edilebilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda rahatlıkla kullanılacak bir sürede sistem sonuç vermektedir.

#### IV. SONUÇLAR

Yumurthanın üretildiği andan paketleme aşamasına gelene kadarki süreçte kabuğunda çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu çatlaklardan zararlı mikro organizmalar içerişine girebileceği gibi havayla temastan dolayı kısa sürede yumurtanın bozulmasına sebebiyet verecektir. Çatlaklar bazen gözle kolayca ayırt edilebilirken bazen de mikro boyutta olup ayırt edilememektedir. Artan yumurta talebinin karşılamak için bu işlemin hızlı ve yüksek doğruluk oranı ile gerçekleştirilebilmesi gerektiğinden sinyal işleme ve makine öğrenme tabanlı sistemler tercih edilir. Bu çalışmada mekanik sistem vasıtasıyla yumurta kabuğuna zarar vermeyecek şiddette bir darbe uygulanıp akustik ses sinyalleri kayıt altına alınıp sinyal işleme ve yapay zekâya dayalı olarak kabuğun sağlam/çatlak durumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Öncelikli olarak darbe anı ve sonrasında salınım kısmını veri içerisinden çıkartmak amacıyla bir eşik değeri ve sonrasında 680 veri alınarak kullanılmıştır. Akustik sinyaldeki bize gerekli olan kısım alındıktan sonra sırasıyla sinyale DPD uygulanmış ve elde edilen bileşenlerin entropi değeri hesaplanarak 1x4 boyutunda özellik vektörümüz elde edilmiştir. YSA bu verilerle eğitilerek çıkışında 0-çatlak kabuk 1-sağlam kabuk bilgisi elde edilmektedir. Mekanik sistemin veri alınıp işlenip özellik vektörünün elde edilmesi ve YSA ile kabuğun çatlak/sağlam durumunun tespiti yaklaşık olarak 0.216 sn gibi kısa bir sürede denenen tüm verilerle %100 doğruluk oranında tespit edilmiştir. Endüstriyel uygulamalar için elverişlidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Sing, M. & Brar, J. (2016). Egg Safety in the Realm of Preharvest Food Safety. *Microbiol. Spectr.*, 4 (4),1-14, doi: 10.1128/microbiolspec.PFS-0005-2014.
- [2] Mazzuco, H. & Bertechini, A. G. (2014). Critical points on egg production: causes, importance and incidence of eggshell breakage and defects. *Ciência e Agrotecnologia*, 38 (1), 7–14.
- [3] Van Mourik, S., Alders, B. P. G. J., Helderma, F., van de Ven, L. J. F. & Koerkamp, P. G. (2017). Predicting hairline fractures in eggs of mature hens. *Poultry science*, 96(6), 1956-1962.
- [4] Rycroft, J. P. A. N. & Gregory, N. G. (2009). Hazards with cracked eggs and their relationship to egg shell strength. *J. Sci. Food Agric.*, 89 (2), 201–205.
- [5] Öztürk, N. (2014). Görüntü işleme teknikleri ile beyaz yumurtalar üzerindeki yumurta kabuğu kusurlarının algılanması. (Y. Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Trabzon.
- [6] Abdullah, M. H. Nashat, S. Anwar, S. A. & Abdullah, M. Z. (2017). A framework for crack detection of fresh poultry eggs at visible radiation *Comput. Electron. Agric.*, 141, 81–95.
- [7] Fang, W. & Youxian, W. (2011). Detecting preserved eggshell crack using machine vision. 2011 International Conference of Information Technology, 2011, Nanjing, 62–65.
- [8] Omid, M. Soltani, M. Dehrouyeh, M. H. Mohtasebi, S. S. & Ahmadi, H. (2013). An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques. *J. Food Eng.*, 118 (1), 70–77, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2013.03.019.
- [9] Wang, F. Zhang, S. & Tan, Z. (2017). Non-destructive crack detection of preserved eggs using a machine vision and multivariate analysis. *Wuhan Univ. J. Nat. Sci.*, 22 (3), 257–262.
- [10] Wu, L. Wang, Q. Jie, D. Wang, S. Zhu, Z. & Xiong, L. (2018). Detection of crack eggs by image processing and soft-margin support vector machine. *J. Comput. Methods Sci. Eng.*, 18 (1), 21–31.
- [11] Orlova, Y. Linker, R. & Spektor, B. (2012). Expansion of cracks in chicken eggs exposed to sub-atmospheric pressure. *Biosyst. Eng.*, 112, (4), 278–284.
- [12] Lawrence, K. C. Yoon, S. C. Jones, D. R. Heitschmidt, G. W. Park, B. & Windham, W. R. (2009). Modified pressure system for imaging egg cracks. *Trans. ASABE*, 52 (3), 983–990.
- [13] Lawrence, K. C. Yoon, S. C. Heitschmidt, G. W. Jones, D. R. & Park, B. (2008). Imaging system with modified-pressure chamber for crack detection in shell eggs. *Sens. Instrum. Food Qual. Saf.*, 2 (2), 116–122.
- [14] Li, Y. Dhakal, S. & Peng, Y. (2012). A machine vision system for identification of micro-crack in egg shell. *J. Food Eng.*, 109 (1), 127–134, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2011.09.024.
- [15] Priyadumkol, J. Kittichaikarn, C. & Thainimit, S. (2017). Crack detection on unwashed eggs using image processing. *J. Food Eng.*, 209, 76–82.
- [16] Wang, S. C. Ren, Y. L. Chen, H. Xiong, L. R. & Wen, Y. X. (2004). Detection of cracked-shell eggs using acoustic signal and fuzzy recognition. *Transactions CSAE*, 20 (4), 130–132.
- [17] Lin, H. Zhao, J. Chen, Q. Cai, J. & Zhou, P. (2009). Eggshell crack detection based on acoustic response and support vector data description algorithm. *Eur. food Res. Technol.*, 230 (1), 95–100.
- [18] Deng, X. Wang, Q. Chen, H. & Xie, H. (2010). Eggshell crack detection using a wavelet-based support vector

- machine. *Comput. Electron. Agric.*, 70 (1), 135–143, doi: 10.1016/J.COMPAG.2009.09.016.
- [19] Zhao, Y. Wang, J. Lu, Q. & Jiang, R. (2010). Pattern recognition of eggshell crack using PCA and LDA. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 11 (3), 520–525.
- [20] Ding, T. Lu, W. Zhang, C. Du, J. Ding, W. & Zhao, X. (2015). Eggshell crack identification based on Welch power spectrum and generalized regression neural network (GRNN). *Food Sci*, 36, 156–160.
- [21] Wang, H. Mao, J. Zhang, J. Jiang, H. & Wang, J. (2016). Acoustic feature extraction and optimization of crack detection for eggshell, *J. Food Eng.*, 171, 240–247.
- [22] Strnková, J. & Nedomová, Š. (2013). Eggshell Crack Detection Using Dynamic Frequency Analysis. *MENDELNET*, 2013, Brno, 603-608.
- [23] Jin, C. Xie, L. & Ying, Y. (2015). Eggshell crack detection based on the time-domain acoustic signal of rolling eggs on a step-plate. *J. Food Eng.*, 153, 53–62, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2014.12.011.
- [24] Li, P. Wang, Q. Zhang, Q. Cao, S. Liu, Y. & Zhu, T. (2012). Non-destructive Detection on the Egg Crack Based on Wavelet Transform. *IERI Procedia*, 2, 372–382, doi: 10.1016/J.IERI.2012.06.104.
- [25] Sun, L. Feng, S. Chen, C. Liu, X. & Cai, J. (2020). Identification of eggshell crack for hen egg and duck egg using correlation analysis based on acoustic resonance method. *J. Food Process Eng.*, 43 (8), 1-9.
- [26] Wikipedia. (2020). CompactRIO. <https://en.wikipedia.org/wiki/CompactRIO>, (Ekim 09, 2020).
- [27] Wikipedia. (2020). LabVIEW. <https://tr.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, (Ekim 09, 2020).
- [28] Xiong, S. Zhou, H. He, S. Zhang, L. Xia, Q. Xuan, J. & Shi, T. (2020). A novel end-to-end fault diagnosis approach for rolling bearings by integrating wavelet packet transform into convolutional neural network structures. *Sensors*, 20, doi:10.3390/s20174965.
- [29] Chen, G. Li, Q. Li, D. Wu, Z. & Liu, Y. (2019). Main frequency band of blast vibration signal based on wavelet packet transform. *Applied Mathematical Modelling*, 74, 569-585.
- [30] Dodia, S. Edla, D. R. Bablani, A. Ramesh, D. & Kuppili, V. (2019). An efficient EEG based deceit identification test using wavelet packet transform and linear discriminant analysis. *Journal of neuroscience methods*, 314, 31–40.
- [31] Uyar, M. (2008). Güç kalitesindeki bozulma türlerinin akıllı örüntü tanıma yaklaşımları ile belirlenmesi. (Doktora Tezi), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Elazığ.

*Araştırma Makalesi–Research Article*

# Giyilebilir Teknolojik Ürünlerin Tasarımında Etkili Olan Faktörlerin Best-Worst Metodu (BWM) İle Değerlendirilmesi\*

## Evaluation of Factors Effective in the Design of Wearable Technological Products Using the Best-Worst Method (BWM)

Gözde Koca<sup>1\*</sup>, Ezgi Dilan Urmak Akçakaya<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 27/12/2020*

*Revize / Revised: 11/02/2021*

*Kabul / Accepted: 15/02/2021*

### ÖZ

Teknolojinin gelişimi ile birlikte sadece bilgisayarlar ve akıllı telefonlar değil, kullandığımız kıyafet ve aksesuarlar da akıllı cihaza dönüşebilmektedir. Kullanıcı veri alışverişi daha küçük cihazlarla, kullanıcının vücuduna monte durumunda gerçekleşmesi birçok açıdan kolaylık sağlamaktadır. Bu nedenle giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken faktörler önem arz etmektedir. Bu çalışmada da, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan faktörlerin, öznel kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan Best-Worst metodu ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında uzman beş kişilik bir ekip tarafından değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmelerin çözümlenmesi için BWM-Solver tercih edilmiştir. Sonuçta, en önemli ana faktörün “Akıllılık”, en az önemli ana faktörün ise “Moda” olduğu, en önemli alt faktörün “Bilgi Sağlama”, en az önemli alt faktörün ise “Teknoloji” olduğu belirlenmiştir. Ayrıca BWM yönteminin tutarlılığını ve kullanılabilirliğini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** *Giyilebilir Teknolojik Ürün, Çok Kriterli Karar Verme, Best-Worst Metot*

### ABSTRACT

With the development of technology, not only computers and smart phones, but also the clothes and accessories we use can turn into smart devices. User data exchange with smaller devices provides convenience in many aspects when mounted on the user's body. Therefore, it is important to pay attention to the design of wearable technological products. In this study, it is aimed to evaluate the factors that are effective in the design of wearable technological products with Best-Worst method, which is one of the subjective criteria weighting methods. For this reason, evaluations were made by a team of five experts in the design of wearable technological products. BWM-Solver was preferred for analysis of the evaluations. As a result, it was determined that the most important main factor was "Intelligence", the least important main factor was "Fashion", the most important sub factor was "Information Providing," and the least important sub factor was "Technology". Also, a sensitivity analysis was conducted to show the consistency and usefulness of the BWM method.

**Keywords–** *Wearable IT Product, Multi Criteria Decision Making, Best-Worst Method*

\*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Etik Kurulu'nun 26.02.2021 tarihi ve 3 sayılı toplantısının 1 nolu kararı ile etiğe aykırılık bulunmadığına karar verilmiştir.

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [gozde.koca@bilecik.edu.tr](mailto:gozde.koca@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-6847-6812>)

<sup>2</sup>İletişim: [ezgidilanurmak@ardahan.edu.tr](mailto:ezgidilanurmak@ardahan.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-3472-1837>)

<sup>2</sup>İletişim: [ezgidilanurmak@ardahan.edu.tr](mailto:ezgidilanurmak@ardahan.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-3472-1837>)  
İşletme Bölümü, Ardahan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ardahan, Türkiye

## I. GİRİŞ

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte yeni kullanım alanlarına yönelik birçok yenilikçi ve yaratıcı ürünler geliştirilmektedir. Bu ürünler arasında giyilebilir teknoloji ürünleri de yer almaktadır[1]. Giyilebilir teknoloji, akıllı ve yardımcı sistemlerin kullanıcının günlük faaliyetlerini kesintiye uğratmayacak ve kullanıcıyı rahatsız etmeyecek şekilde aksesuar ya da kıyafetlere entegre edilmesi ile ortaya çıkan bilgisayar teknolojileridir [2]. İlk giyilebilir teknoloji ürünü 1961 yılında geliştirilmiştir [3]. Teknolojinin daha da ilerlemesi ile 1980'li yıllarda giyilebilir teknoloji alanındaki gelişmeler hız kazanmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise sağlık, savunma ve eğlence sektörlerindeki gelişmeler neticesinde bu ürünlere yönelik gelişmeler daha da hızlanmıştır [4]. Günümüzde ise giyilebilir teknolojik ürünler tekstil ve moda tasarımı alanlarına dahi yön vermeye başlamıştır [5].

Giyilebilir teknolojik ürünler, kullanıcıların ya da nesnelerin hareketlerini, pozisyonlarını ve ağırlıklarını algılama; kullanıcıların ruh halini, zihinsel ve fiziksel durumunu ölçme; sesleri algılama, konuşmayı yorumlama; bilgisayar görüntüsü tespit etme; kullanıcıların bulunduğu ortamın koşullarını izleme gibi özelliklere sahiptir. Giyilebilir teknolojiler bu mekanik (konum, yer değiştirme, hız, enerji), biyolojik (kalp atış hızı, vücut sıcaklığı, sinirsel aktivite, solunum hızı), akustik (ses, ses perdesi, frekans), optik (kırılma, ışık dalgası frekansı, parlaklık) ve çevresel bilgileri (sıcaklık, nem) ölçmek için ise çok çeşitli sensörler içermektedirler [6]. Kullanıcılar bu sensörler sayesinde kişisel ölçümler gerçekleştirerek günlük yaşamlarının hemen hemen her yönünü izleyebilmektedirler [7]. Akıllı sensörlere sahip olan bu ürünler veri aktarımını internet aracılığı ile sağlamaktadırlar [8]. En yaygın kullanılan giyilebilir teknolojik ürünlere örnek olarak sporcu bileklikleri, akıllı saatler ve akıllı bileklikler verilebilir [9].

Giyilebilir teknolojik ürünler sayesinde kullanıcının hayatı kolaylaşmakta ve böylelikle hayat kalitesi de artmaktadır. Sağlık, spor, eğitim ve üretim gibi alanlarda kullanılan ve hayatı kolaylaştıran bu ürünler, tüketici istek ve ihtiyaçlarına göre geliştirilmekte böylece her geçen gün daha farklı ürünler ortaya çıkmaktadır. Ancak geliştirilen bu ürünlerin kullanımında istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalılabilmekte ürünler işlevselliğini yitirebilmektedir [10]. Bu olumsuz sonuçların önlenmesi için ürünler geliştirilirken tasarım aşamasına gereken önem verilmelidir. Ayrıca tüketici istek ve ihtiyaçlarının ön planda tutulması ile geliştirilen giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında dikkate alınması gereken birçok faktörden söz edilebilir. Ancak karar vericinin tasarım açısından önceliği hangi faktöre vermesi gerektiğine karar verebilmesi oldukça güçtür. Bu kapsamda, çok kriterli karar verme yöntemleri, karar vericinin birçok faktörü aynı anda değerlendirebilmesine imkân tanınması açısından işlevsel yöntemlerdir.

İnsanlar, yaşamın her anında karar verme problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemlerin çözümünde birden fazla kriterin dikkate alınması gerekliliği, karar verme sürecini oldukça karmaşık hale getirmektedir. Örneğin, otomobil almak isteyen bir kişi motor gücü, yakıt tüketimi, konfor, iç hacim, güvenlik gibi birçok kriter açısından tüm alternatifleri değerlendirerek kendisi için en uygun olan otomobili belirlemek durumundadır. Bunun gibi ya da bundan çok daha karmaşık olan çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere bilim insanları tarafından çok kriterli karar verme yöntemleri geliştirilmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri, alternatifleri, farklı ölçü birimlerine sahip olan birden fazla kriter açısından değerlendirerek en iyi alternatifin seçilmesini sağlayan araçlardır. Karar vericinin amacı seçme, sıralama ve sınıflandırma problemlerinin her birinde farklı olabilmektedir. Seçme probleminde karar verici en iyi alternatifi belirlemeyi amaçlarken; sıralama probleminde alternatifleri iyiden kötüye doğru sıralamayı amaçlamaktadır. Sınıflandırma probleminde ise alternatifler amaca göre sınıflandırılmaktadır[11].

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bir diğer işlevi ise kriter ağırlıklarının hesaplanabilmesine ve böylece kriterlerin önem derecelerinin belirlenebilmesine imkan tanınmasıdır. Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında birçok subjektif ve objektif yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir[12]. Bu yöntemlere örnek olarak Entropi, Best-Worst, CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemleri verilebilir.

Bu çalışmada giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan 3 ana faktörün ve bu faktörlere ait alt faktörlerin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamdagiyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan faktörler akıllılık, mobilite ve moda olarak belirlenmiştir. Akıllılık ana faktörü; bilgi sağlama, sezgisel iletişim, iletişim ağı ve otomasyon olmak üzere 4 alt faktörden oluşmaktadır. Mobilite ana faktörü; yaygın bilişim, kolaylık, yerini belirleme ve kişiselleştirme olmak üzere 4 alt faktörden meydana gelmektedir. Moda ana faktörü ise; sembol, kültür, yenilik, estetik ve teknoloji olmak üzere 5 alt faktörden oluşmaktadır. Faktörlerin

önceliklendirilmesi subjektif yöntem olan Best-Worst Metodu (BWM) ile gerçekleştirilmiştir. BWM metodunun seçilmesinin nedeni, ele alınan faktörleri birbirleriyle değil de, en iyi ve en kötü faktöre göre değerlendirmesi veböylelikle tüm faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapıldığı diğer subjektif yöntemlerin aksine BWM metodunda daha az sayıda ikili karşılaştırmanın yapılmasıdır. Bu durum hesaplama zamanının azalmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda verilen yanıtların tutarlılıklarını ölçmesi de bir diğer tercih sebebidir. Söz konusu faktörler ise giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında uzman 5 karar vericinin görüşleri alınarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma konunun genel çerçevesinin değerlendirildiği giriş bölümü ile birlikte yedi bölümden oluşmaktadır. BWM ve giyilebilir teknolojik ürünler ile ilgili literatür taraması, BWM metodu, uygulama, duyarlılık analizi bölümüne ek, son olarak sonuç bölümü yer almaktadır.

## II. LİTERATÜR TARAMASI

BWM ve giyilebilir teknolojik ürünler ile ilgili çalışmalara Tablo 1’de yer verilmektedir.

**Tablo 1.** Literatür İncelemesi

<b>Best-Worst Metodu ile Yapılan Çalışmalar</b>	
BWM yönteminin önerilmesi	[13]
Lojistik sektöründe hizmet kalitesinin ölçülmesi	[14]
Hayat-dışı sigorta şirketlerinin performans değerlendirmesi	[15]
Sürdürülebilir çoklu taşıma rotası tespiti için gerekli sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyinin belirlenmesi	[16]
Bir konaklama işletmesinin dış kaynak seçiminde göz önünde bulundurduğu kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi	[17]
Kurumsal kaynak planlama sistemi seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterlerin değerlendirilmesi	[18]
Yol güvenliği ile ilgili sürücü davranış faktörlerinin değerlendirilmesi	[19]
Bulanık BWM yönteminin geliştirilmesi	[20]
İran sahil bölgesindeki yatırım fırsatlarının değerlendirilmesi	[21]
Geleneksel ve çevresel kriterleri entegre eden tedarikçi seçimi	[22]
Petrolle kirlenmiş toprakların arıtılması için en iyi stabilizasyon / katılaştırma yönteminin seçilmesi	[23]
Kentsel kanalizasyon çamurunun arıtılmasına yönelik teknolojilerin sürdürülebilirlik değerlendirmesinde kriterlerin ağırlıklandırılması	[24]
Tedarik zincirlerinin sosyal sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi	[25]
Tedarikçi seçimi, Su kıtlığı yönetimi, İnovasyon yönetimi, Bilimsel eserlerin kalite değerlendirmesi	[26],[27], [28], [29]
Bulanık Best Worst yöntemi ve uygulama örneklerinin değerlendirilmesi	[30]
Best Worst yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi	[31]
Lojistik performans endeks göstergelerinin göreceli önem değerlerinin ölçülmesi	[32]
BWM'den elde edilen optimum aralıkların konsantrasyonunu kontrol etmek için geliştirilen konsantrasyon oranının tanıtılması	[33]
Üniversite-sanayi doktora projelerinin etkinliğinin ölçülmesi	[34]
İdeal özel okul seçimini etkileyen kriterlerin BWM ve FUCOM yöntemleri ile derecelerinin belirlenmesi	[35]
Finansal oranların önem düzeylerinin hesaplanması	[36]
Ülkelerin seyahat ve turizm rekabetedebilirliğinin değerlendirilmesi	[37]
En iyi radyo frekanslı tanımlama sisteminin belirlenmesi	[38]
<b>Giyilebilir Teknoloji ve Ürünler ile İlgili Yapılan Çalışmalar</b>	
İletken iplik alımında etkili kriterler arasındaki ilişkilerin DEMATEL yöntemi ile belirlenmesi	[39]
Giyilebilir Sağlık Teknolojilerinin AHP, PROMETHEE ve TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi	[40]
CRITIC ve MAUT yöntemleri ile farklı akıllı saat markalarından kullanıcıya en çok faydayı sağlayan markanın tespit edilmesi	[41]
Bulanık DEMATEL ve EDAS yöntemleri kullanılarak sporcular için akıllı bileklik seçimi	[42]
Tüketicilerin giyilebilir teknolojileri benimsemesine yönelik davranışsal niyetleri ve kullanımları üzerinde etkili faktörlerin değerlendirilmesi	[43]
Bireysel ölçüm ve giyilebilir teknolojinin sağlık hizmetleriyle bütünleştirilmesinin değerlendirilmesi	[44]
Tüketicilerin giyilebilir teknolojileri kabulünü etkileyen faktörlerin belirlenmesi	[45]
Tüketicilerin giyilebilir teknolojik ürünleri satın alma karar sürecinde algıladıkları risk faktörleri ve sebeplerinin tespit edilmesi	[46]

Tablo 1'den de anlaşılacağı gibi giyilebilir teknolojik ürünlere ait bazı ürünler ÇKKV problemleri ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların genellikle giyilebilir teknolojik ürünlerin seçimine yönelik çalışmalar olduğu; ancak Türkiye'de giyilebilir teknolojik ürünlerin özellikle tüketiciler tarafından talep edilip, dikkate alınan tasarım faktörleri üzerinden incelendiğinde Türkiye'de böyle bir çalışmaya rastlanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın literatüre olan katkısı ise giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan faktörlerin ÇKKV yöntemi ile önceliklendirilmesidir. Söz konusu bu faktörler uzman görüşü ve literatür değerlendirilmesi yapılarak belirlenmiştir. Faktör önceliklerinin belirlenmesinde subjektif yöntemlerden biri olan BWM yöntemi kullanılmıştır. Faktörlere ait nicel verilerin olmaması, BWM yönteminde değerlendirmelerin tüm faktörlerin ikili karşılaştırmasına gerek duyulmadan daha az sayıda karşılaştırmaya olanak sağlaması böylelikle değerlendirme sürecinin nispeten daha az olması nedeniyle BWM yöntemi tercih edilmiştir.

### III. BEST-WORST METOT (BWM)

Karar vericiler, birçok ana faktörü ve alt faktörü değerlendirme sürecinde, çok kriterli karar verme yöntemlerinden birini kullanmaktadır. Bu yöntemlerden biri de Best-Worst metotdur [13], [19], [49], [50]. BWM, en iyi faktörü diğer kriterlerle ve diğer tüm faktörleri en kötüyle karşılaştıran bir kıyaslama karar verme yöntemidir. BWM ile karar vericilerin tüm faktörler arasında ikili karşılaştırmalara gerek yoktur. Sadece en iyi ve en kötü faktörün tanımlanması ve ardından en iyi / en kötü faktör ile diğer faktörler arasında ikili karşılaştırmalar yapmak gerekmektedir. Farklı faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için maksimum matematiksel model oluşturulmuştur. Yöntemin güvenilirliğini kontrol etmek için yeni bir tutarlılık oranı tanımı yapılmıştır. Ancak BWM'de, faktör sayısı çok fazla olduğunda hangi faktörün en iyi veya en kötü olduğunu belirlemek kolay değildir. Bu nedenle, en iyi veya en kötü faktörleri belirlemek için özel bir prosedür uygulamak gerekir. BWM'nin en büyük katkısı, karar vericilerin önce en iyi ve en kötü faktörleri tanımlaması ve ardından bu iki faktörün her biri (en iyi ve en kötü) ve diğer faktörler arasında ikili karşılaştırmalar yapmalarınıdır.

Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Bir dizi karar kriterinin belirlenmesi gerekiyor. Bu adımda, karar verici karar vermek için kullanılan  $n$  kriterini  $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  belirler.

Adım 2: En iyi (en çok istenen, en önemli) ve en kötü (en az istenen, en az önemli) kriterler belirlenir.

Adım 3: 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak en iyi kriterin belirlenmesi ve diğer tüm kriterlere göre tercih oranının belirlenmesi aşamasıdır. 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak en iyi kriterin tercihinin belirlendiği aşamadır. Diğer tüm kriterler (1: eşit derecede önemli, 3: orta derecede daha önemli, 5: çok önemli, 7: çok daha önemli, 9: çok önemli). Bu adım sonucunda en iyiden diğerine hareket eden En İyi-Diğerleri (AB) adlı bir vektöre ulaşılır. Bu vektör aşağıdaki gibidir:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), \quad (1)$$

$A_B$  vektöründeki her bir  $a_{Bj}$ ,  $j$  kriterine göre en iyi kriter B'nin tercihinin gösterir.

Ayrıca  $a_{BB} = 1$ . Bu, en önemli kriterin onunla karşılaştırıldığı anlamına gelir.

Adım 4: 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak diğer tüm kriterlerin en kötü tercih edilen kriterlere göre tercih oranlarının belirlenmesi ile ilgilidir. Bu adımda diğer kriterlerin en kötü kriterlere göre görece önemi karar verici tarafından belirlenmiştir. 1'den 9'a kadar bir sayı kullanarak, bu adımın bir sonucu olarak, vektörün en kötüsü aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, a_{3W}, \dots, a_{nW})^T, \quad (2)$$

Bu vektörde, her bir  $a_{jW}$ , en kötü kriter W'ye kıyasla  $j$  kriterinin tercihinin belirtir. Ve ayrıca  $a_{WW} = 1$ , bu, en kötü kriterin onunla karşılaştırıldığı anlamına gelir.

Adım 5: Son adımda her kriter için en uygun ağırlık belirlenmelidir.



$$(W_1^*, W_2^*, W_3^*, \dots, W_n^*) \quad (3)$$

Bu adımdaki amaç, maksimum mutlak farkları sağlamak için kriterlerin optimal ağırlıklarını belirlemektir.

$$\text{Kriterler için optimum ağırlık, sırasıyla } \frac{W_B}{W_j} = a_{Bj} \text{ ve } \frac{W_j}{W_w} = a_{jw} \text{ için her } \frac{W_B}{W_j} \text{ ve } \frac{W_j}{W_w} \text{ çifti.}$$

J değerleri bulunmalıdır  $\{|W_B - a_{Bj}W_j|, |W_j - a_{jw}W_w|\}$  burada maksimum mutlak farklar en aza indirilir. Bu nedenle, aşağıdaki min - maks modeline dönüştürülmüştür:

$$\text{Kısıtlamalar altında, } \min \max_j \{|W_B - a_{Bj}W_j|, |W_j - a_{jw}W_w|\} \quad (4)$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad (5)$$

$$W_j \geq 0 \quad (6)$$

Problem denklemi aşağıdaki doğrusal programlama problemine aktarılmıştır:

$$\min \xi^L \quad (7)$$

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \quad (8)$$

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \quad (9)$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad (10)$$

$$W_j \geq 0, \quad (11)$$

Adım 6: Yöntemin son aşamasında yapılan değerlendirmelerin tutarlılığı test edilir. Tablo 2' de gösterilen tutarlılık endeks değerlerinden yararlanılarak, tutarlılık oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = \xi / \text{Tutarlılık endeks değeri (TE)} \quad (12)$$

Tutarlılık oranı sıfıra yaklaştıkça yapılan değerlendirmelerin daha tutarlı olduğu, 1'e doğru yaklaştıkça ise daha az tutarlı olduğunu ifade etmek doğru olacaktır.

Tablo 2. Tutarlılık Endeks Değerleri

$a_{Bw}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TE	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

#### IV. UYGULAMA

Çalışma kapsamında, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan faktörlerin BWM metodu ile önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu faktörler; akıllılık (F1), mobilite (F2) ve moda (F3) olmak üzere 3 ana faktörden oluşmaktadır. Akıllılık ana faktörü; bilgi sağlama (F11), sezgisel iletişim (F12), iletişim ağı (F13) ve otomasyon (F14) olmak üzere 4 alt faktörden oluşmaktadır. Mobilite ana faktörü; yaygın bilişim (F21), kolaylık (F22), yerini belirleme (F23) ve kişiselleştirme (F24) olmak üzere 4 alt faktörden meydana gelmektedir. Moda ana faktörü ise; sembol (F31), kültür (F32), yenilik (F33), estetik (F33) ve teknoloji (F34) olmak üzere 5 alt faktörden oluşmaktadır. Bu faktörler, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Etik Kurulu'nun 26.02.2021 tarihli ve 3 sayılı toplantısının 1 nolu kararıyla etik kurul izni alınarak, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında uzman 5 karar verici (KV) tarafından değerlendirilmiştir. Bu karar vericilerin tümünün uzmanlığı en az 5 yıl olup, alanlarında yönetici statüsünde olan uzmanlardır. Uzman değerlendirmeleri sonucu elde edilen görüşler <https://bestworstmethod.com/software/> sitesinden indirilen BWM-Solver ile çözümlenmiştir. Söz konusu 5 karar verici tarafından değerlendirilmiş, olan ana faktörlerin değerlendirilmeleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Ana faktörlerin değerlendirilmeleri

<b>KV 1'in Değerlendirmeleri</b>			
<i>En önemli faktör: F1</i>		<i>En az önemli faktör: F3</i>	
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>En önemli faktörün (F1) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F3) göre tercih oranı</i>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>KV 2'nin Değerlendirmeleri</b>			
<i>En önemli faktör: F1</i>		<i>En az önemli faktör: F3</i>	
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>En önemli faktörün (F1) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F3) göre tercih oranı</i>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>KV 3'ün Değerlendirmeleri</b>			
<i>En önemli faktör: F1</i>		<i>En az önemli faktör: F3</i>	
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>En önemli faktörün (F1) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F3) göre tercih oranı</i>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>KV 4'ün Değerlendirmeleri</b>			
<i>En önemli faktör: F1</i>		<i>En az önemli faktör: F2</i>	
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>En önemli faktörün (F1) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F2) göre tercih oranı</i>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>KV 5'in Değerlendirmeleri</b>			
<i>En önemli faktör: F1</i>		<i>En az önemli faktör: F3</i>	
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>En önemli faktörün (F1) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>			
<i>Değerlendirme</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F3) göre tercih oranı</i>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Akıllılık ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri ise Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Akıllılık ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri

<b>KV 1’in Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F11</i>		<i>En az önemli faktör:F12</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>En önemli faktörün (F11) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F12) göre tercih oranı</i>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>KV 2’Nin Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F11</i>		<i>En az önemli faktör:F12</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>En önemli faktörün (F11) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F12) göre tercih oranı</i>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>KV 3’ün Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F11</i>		<i>En az önemli faktör:F12</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>En önemli faktörün (F11) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F12) göre tercih oranı</i>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>KV 4’ün Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F14</i>		<i>En az önemli faktör:F12</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>En önemli faktörün (F14) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F12) göre tercih oranı</i>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>KV 5’in Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F11</i>		<i>En az önemli faktör:F12</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>En önemli faktörün (F11) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>	<b>F14</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F12) göre tercih oranı</i>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

Mobilite ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri ise Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Mobilite ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri

<b>KV 1’in Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F21</i>		<i>En az önemli faktör:F22</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>En önemli faktörün (F21) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F22) göre tercih oranı</i>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>KV 2’nin Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F21</i>		<i>En az önemli faktör:F22</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>En önemli faktörün (F21) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F22) göre tercih oranı</i>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>KV 3’ün Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F21</i>		<i>En az önemli faktör:F23</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>En önemli faktörün (F21) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F23) göre tercih oranı</i>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>KV 4’ün Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F24</i>		<i>En az önemli faktör:F22</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>En önemli faktörün (F24) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F22) göre tercih oranı</i>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>KV 5’in Değerlendirmeleri</b>				
<i>En önemli faktör:F21</i>		<i>En az önemli faktör:F22</i>		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>En önemli faktörün (K3) diğer faktörlere göre tercih oranı</i>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>				
<i>Değerlendirme</i>	<b>F21</b>	<b>F22</b>	<b>F23</b>	<b>F24</b>
<i>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (K5) göre tercih oranı</i>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Moda ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Moda ana faktörüne ait alt faktörlerin değerlendirmeleri

KV 1'in Değerlendirmeleri					
En önemli faktör:F32			En az önemli faktör:F34		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
En önemli faktörün (F32) diğer faktörlere göre tercih oranı	2	1	4	5	3
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F34) göre tercih oranı	4	6	2	1	3
KV 2'nin Değerlendirmeleri					
En önemli faktör: F32			En az önemli faktör: F33		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
En önemli faktörün (F32) diğer faktörlere göre tercih oranı	2	1	6	5	4
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F33) göre tercih oranı	4	6	1	2	3
KV 3'ün Değerlendirmeleri					
En önemli faktör:F31			En az önemli faktör:F35		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
En önemli faktörün (F31) diğer faktörlere göre tercih oranı	1	2	4	5	6
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F35) göre tercih oranı	6	5	3	2	1
KV 4'ün Değerlendirmeleri					
En önemli faktör:F32			En az önemli faktör:F35		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
En önemli faktörün (F32) diğer faktörlere göre tercih oranı	2	1	4	5	6
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F35) göre tercih oranı	6	7	3	2	1
KV 5'in Değerlendirmeleri					
En önemli faktör:F32			En az önemli faktör:F35		
<b>En önemli faktörün diğer faktörlere göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
En önemli faktörün (F32) diğer faktörlere göre tercih oranı	4	1	3	5	8
<b>Diğer faktörlerin en az önemli faktöre göre ikili karşılaştırma vektörü</b>					
Değerlendirme	F31	F32	F33	F34	F35
Diğer faktörlerin en az önemli faktöre (F35) göre tercih oranı	3	8	5	2	1

Her bir karar vericiye ait ana faktörlerin ve alt faktörlerin ağırlıkları, tutarlılık oranları ve ortalama ağırlıklar ise Tablo 6, Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 7.** Ana faktörlere ait ağırlıklar, tutarlılık oranları ve ortalama ağırlıklar

Karar Vericiler	W <sub>F1</sub>	W <sub>F2</sub>	W <sub>F3</sub>	ξ	Tutarlılık Oranı (TO)
KV 1	0,647	0,235	0,117	0,058	0,058
KV 2	0,562	0,312	0,125	0,062	0,062
KV 3	0,628	0,228	0,142	0,057	0,057
KV 4	0,541	0,166	0,291	0,041	0,041
KV 5	0,687	0,187	0,125	0,062	0,062
Son Ağırlıklar	0,613	0,225	0,160		

**Tablo 8.** Akıllılık alt faktörlerine ait ağırlıklar, tutarlılık oranları ve ortalama ağırlıklar

Karar Vericiler	W <sub>F11</sub>	W <sub>F12</sub>	W <sub>F13</sub>	W <sub>F14</sub>	ξ	Tutarlılık Oranı (TO)
KV 1	0,465	0,103	0,172	0,258	0,051	0,031
KV 2	0,471	0,081	0,268	0,178	0,065	0,039
KV 3	0,549	0,076	0,160	0,213	0,091	0,055
KV 4	0,285	0,071	0,142	0,500	0,071	0,043
KV 5	0,486	0,078	0,144	0,289	0,092	0,056
Son Ağırlıklar	0,451	0,081	0,177	0,287		

**Tablo 9.** Mobilite alt faktörlerine ait ağırlıklar, tutarlılık oranları ve ortalama ağırlıklar

Karar Vericiler	W <sub>F21</sub>	W <sub>F22</sub>	W <sub>F23</sub>	W <sub>F24</sub>	ξ	Tutarlılık Oranı (TO)
KV 1	0,478	0,086	0,173	0,260	0,043	0,026
KV 2	0,513	0,081	0,270	0,135	0,027	0,016
KV 3	0,454	0,181	0,090	0,272	0,090	0,055
KV 4	0,258	0,103	0,172	0,465	0,051	0,031
KV 5	0,559	0,084	0,152	0,203	0,050	0,030
Son Ağırlıklar	0,452	0,107	0,171	0,267		

**Tablo 10.** Moda alt faktörlerine ait ağırlıklar, tutarlılık oranları ve ortalama ağırlıklar

Karar Vericiler	W <sub>F31</sub>	W <sub>F32</sub>	W <sub>F33</sub>	W <sub>F34</sub>	W <sub>F35</sub>	ξ	Tutarlılık Oranı (TO)
KV 1	0,236	0,415	0,118	0,071	0,157	0,057	0,025
KV 2	0,256	0,448	0,064	0,102	0,128	0,064	0,028
KV 3	0,448	0,256	0,128	0,102	0,064	0,064	0,028
KV 4	0,263	0,439	0,131	0,105	0,058	0,087	0,038
KV 5	0,143	0,498	0,190	0,114	0,053	0,074	0,032
Son Ağırlıklar	0,269	0,411	0,126	0,098	0,092		

Tüm ana faktörlerin ağırlıkları ve tüm alt faktörlerin global ve yerel ağırlıkları Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11.** Tüm ana faktörlerin ağırlıkları ve tüm alt faktörlerin global ve yerel ağırlıkları

Ana Faktörler	Ana Faktörlerin Yerel Ağırlıkları	Ana Faktörlerin Sıralaması	Alt Faktörler	Alt Faktörlerin Yerel Ağırlıkları	Alt Faktörlerin Yerel Sıralaması	Alt Faktörlerin Global Ağırlıkları	Alt Faktörlerin Global Sıralaması
F1: Akıllılık	0,613	1	F11: Bilgi Sağlama	0,451	1	0,286	1
			F12: Sezgisel İletişim	0,081	4	0,049	7
			F13: İletişim Ağı	0,177	3	0,108	3
			F14: Otomasyon	0,287	2	0,175	2
F2: Mobilite	0,225	2	F21: Yaygın Bilişim	0,452	1	0,101	4
			F22: Kolaylık	0,107	4	0,024	10
			F23: Yerini Belirleme	0,171	3	0,038	9
			F24: Kişiselleştirme	0,267	2	0,060	6
F3: Moda	0,160	3	F31: Sembol	0,269	2	0,043	8
			F32: Kültür	0,411	1	0,065	5
			F33: Yenilik	0,126	3	0,020	11
			F34: Estetik	0,098	4	0,015	12
			F35: Teknolojik	0,092	5	0,014	13

Tablo 10'dan da anlaşılacağı gibi ana faktörler arasından *akıllılık* faktörü 0,613 yerel ağırlık değeriyle en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Ana faktörler arasında bulunan *moda* faktörü ise 0,160 yerel ağırlık değeri ile en az öneme sahip faktör olarak belirlenmiştir. Alt faktörlerin global ağırlık değerleri incelendiğinde ise *bilgi sağlama* alt faktörü 0,276 global ağırlık değeri ile en önemli faktör, *teknoloji* alt faktörü ise 0,014 global ağırlık değeri ile en az önemli faktör olarak belirlenmiştir.

## V. DUYARLILIK ANALİZİ

Giyilebilir teknolojik ürün tasarımında etkili olan faktörlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla önerilen BWM yönteminin etkinliğini ve verimliliğini belirlemek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu nedenle, BWM gibi subjektif ağırlık belirleme yöntemleri sınıfında yer alan AHP ve FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemleriyle değerlendirmeler yapılarak faktör ağırlıkları ve kriter sıralamaları tespit edilmiştir. BWM metodunun yanında diğer iki metodun da seçilmesinin sebebi subjektif olmalarının yanında tutarlılık oranını hesaplamalarıdır. Tablo 12'de elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Tablo 12. Duyarlılık sonuçları

Faktörler	BWM Sıra	AHP Sıra	FUCOM Sıra
F11	1	1	1
F12	7	7	7
F13	3	3	3
F14	2	2	2
F21	4	5	5
F22	10	9	10
F23	9	10	9
F24	6	6	6
F31	8	8	8
F32	5	4	4
F33	11	11	12
F34	12	12	11
F35	13	13	13

Sonuçlar arasında oldukça güçlü bir benzerlik vardır. Sonuç olarak BWM yönteminin diğer yöntemlerle oldukça tutarlı sonuçlar verdiği söylenebilir. BWM, AHP ve FUCOM yöntemleri arasındaki korelasyon ve anlamlılık düzeyleri Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. BWM, AHP ve FUCOM arasındaki korelasyon ve anlamlılık düzeyleri

Spearman's rho	BWM	AHP	FUCOM
BWM	1,000 (0,000)	,989** (0,000)	,989** (0,000)
AHP	,989** (0,000)	1,000 (0,000)	,989** (0,000)
FUCOM	,989** (0,000)	,989** (0,000)	1,000 (0,000)

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tablo 13'ten de anlaşılacağı üzere BWM, AHP ve FUCOM yöntemleri ile elde edilen sıralamalar arasındaki korelasyonlar, her üç yöntemde de oldukça benzer sonuç verdiği bu şekilde belirtilerek, karar vericiler tarafından kullanılabilirliğini ortaya çıkarılmıştır.

## VI. SONUÇ

Teknolojinin hızla gelişmesi sonucunda ortaya çıkan giyilebilir teknolojik ürünler günlük yaşantımızı kolaylaştırmaktadır. Bu ürünlerin tasarımı, hem üreticiler hem de tüketiciler için önem arz etmektedir. Tüketiciler açısından, satın alınması planlanan giyilebilir teknolojik ürünün estetik, kullanışlı ve amacına uygun şekilde tasarlanmış olması beklenmekte ve bu özelliklere sahip olan ürünler arasından bir seçim yapılmaktadır. Üretici açısından ise yükselen küresel rekabete paralel olarak önemi artan giyilebilir teknoloji sektöründe rekabet üstünlüğünün ve sürekliliğinin sağlanması ve ürünlerin tasarımına yönelik çalışmalara öncelik verilmesi büyük

önem arz etmektedir. Üretici firmalar tasarımlarını gerçekleştirirken tüketicilerin istek ve ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmamak durumdadırlar. Bu bağlamda, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan birçok faktörün varlığından söz edilebilir. Bu faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi, üreticiye tasarım aşamasında hangi faktörlere daha fazla önem vermesi gerektiğine karar vermesinde ve buna bağlı olarak uygulanacak üretim stratejilerinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, bu faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesine imkan tanımaktadır.

Literatür incelendiğinde, giyilebilir teknoloji ile ilgili pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Ancak Türkiye’de özellikle tüketiciler tarafından istenip, dikkate alınan tasarım faktörlerinin birden çok ÇKKV yöntemi ile değerlendirilmesine rastlanmamıştır. Bu çalışma, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan faktörlerin birden ÇKKV yöntemi ile önceliklendirilmesini dolayısıyla da literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Değerlendirmeler sonucunda, tasarımda etkili olan en önemli ve en az önemli ana faktörler ve alt faktörler belirlenmektedir.

Bu bağlamda, öncelikle giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında etkili olan 3 ana faktör *akıllılık*, *mobilité* ve *moda* faktörleri belirlenmiştir. Bu ana faktörler ise kendi içerisinde alt faktörlere ayrılmaktadır. Akıllılık ana faktörü; bilgi sağlama, sezgisel iletişim, iletişim ağı ve otomasyon olmak üzere 4 alt faktörden oluşmaktadır. Mobilité ana faktörü; yaygın bilişim, kolaylık, yerini belirleme ve kişiselleştirme olmak üzere 4 alt faktörden meydana gelmektedir. Moda ana faktörü ise; sembol, kültür, yenilik, estetik ve teknoloji olmak üzere 5 alt faktörden oluşmaktadır. Ana ve alt faktörler, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında uzman 5 karar vericinin görüşleri alınarak Best-Worst metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, ana faktörler arasında *akıllılık* faktörü 0,613 yerel ağırlık değeriyle en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Ana faktörler arasında bulunan *moda* faktörü ise 0,160 yerel ağırlık değeri ile en az öneme sahip faktör olarak belirlenmiştir. Giyilebilir teknolojik ürünler, sektördeki kullanım amaçları bakımından dış görünümünden ziyade işlevsel olması gereken ürünler olduğundan akıllılık faktörünün yüksek, moda faktörünün ise düşük ağırlıkta çıkması aslında beklenen bir durumdur. Alt faktörlerin global ağırlık değerleri incelendiğinde ise *bilgi sağlama* alt faktörü 0,276 global ağırlık değeri ile en önemli faktör, *teknoloji* alt faktörü ise 0,014 global ağırlık değeri ile en az önemli faktör olarak belirlenmiştir. Günümüzde toplumdaki bireylerin giyilebilir teknolojik ürünlerden beklentilerinin daha çok bilgi edinmek olduğu düşünüldüğünde, bilgi sağlama alt faktörünün en önemli faktör olarak belirlenmesi rasyonel görünmektedir. Öte yandan teknoloji alt faktörünün en az önemli faktör olarak çıkması ise müşterilerin ürünlerden temel beklentisinin işlevsellik olduğunu göstermektedir. Bu durum yeterince işlevsel olarak algılanan ürün kategorilerinde müşterilerin teknolojiye daha az önem verdikleri yönünde değerlendirilebilir. Ayrıca, çalışmada her bir ana faktöre ait alt faktörlerin kendi içerisinde önceliklendirilmesi de elde edilmiştir. *Akıllılık* ana faktöründeki alt faktörler incelendiğinde, en fazla öneme sahip olan faktör *bilgi sağlama* iken en az öneme sahip olan faktör *sezgisel iletişim* olmuştur. *Mobilité* ana faktörünün alt faktörleri incelendiğinde, en fazla öneme sahip olan faktör *yaygın bilişim* iken en az öneme sahip faktör *kolaylık* faktörü olarak belirlenmiştir. *Moda* ana faktörünün alt faktörleri incelendiğinde ise *kültür* faktörü en fazla öneme sahip iken *teknoloji* en az öneme sahip faktör olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma bazı sınırlılıkları kapsamaktadır. Bu sınırlılıkların başında, giyilebilir teknolojik ürünlerin tasarımında çalışan beş uzmanın belli kriterler dahilinde görüşlerinin alınması gelmektedir. Ayrıca çalışma, BWM, AHP ve FUCOM yöntemlerinin mutlak sayıların kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda uzman sayısı ve kriter sayısı artırılarak, farklı sayı tiplerinde, farklı yöntemler kullanılarak geliştirilebilir. Son olarak, bu çalışmanın giyilebilir teknolojik ürün yaklaşımını uygulamaya istekli olan şirketlere ve karar vericilere yol göstereceği beklenmektedir.

### ETİK KURUL KARARI

"Giyilebilir Teknolojik Ürünlerin Tasarımında Etkili Olan Faktörlerin BestWorst Metodu (BWM) İle Değerlendirilmesi" isimli çalışma için, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Etik Kurulu’nun 26.02.2021 tarihli ve 3 sayılı toplantısının 1 nolu kararı ile etiğe aykırılık bulunmadığına karar verilmiştir.



#### KAYNAKLAR

- [1] Özgüner Kılıç, H. (2017). Giyilebilir Teknoloji Ürünleri Pazarı ve Kullanım Alanları. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (4), 99–112.
- [2] Geppert, J. (2012). Smart Things: Wearables & Clothing. *Smart Things*, 3, 41–48.
- [3] Thorp, E. O. (1961). A Favorable Strategy for Twenty-One. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 47 (1), 110-112.
- [4] Sağbaş, E. A., Ballı, S. & Yıldız, T. (2016). Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünü, Bugünü ve Geleceği. 18. *Akademik Bilişim Konferansı* içinde (ss. 749–756). Aydın, Türkiye.
- [5] Erdem İşmal, Ö. & Yüksel, E. (2016). Tekstil ve Moda Tasarımına Teknolojik Bir Yaklaşım: Akıllı ve Renk Değiştiren Tekstiller. *Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi*, 16, 87–98.
- [6] Barfield, W. & Caudell, T. (2001). Basic Concepts in Wearable Computers and Augmented Reality. W. Barfield & T. Caudell (Ed.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality* içinde . New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- [7] Page, T. (2015). Privacy Issues Surrounding Wearable Technology. *i-Manager's Journal on Information Technology*, 4 (4), 1–16.
- [8] Karamehmet, B. (2019). Dijital Pazarlamada Nesnelerin İnterneti: Giyilebilir Teknolojiler. *Journal of Turkish Studies*, 14 (2), 521–537. doi:10.7827/TurkishStudies.14997
- [9] Albayrak, Ö. & Erkayman, B. (2018). Bulanık Dematel ve Edas Yöntemleri Kullanılarak Sporcular İçin Akıllı Bileklik Seçimi. *Ergonomi*, 1 (2), 92–102. doi:10.33439/ergonomi.478303
- [10] Sönmez Çakır, F., Aytekin, A. & Tüminçin, F. (2018). Nesnelerin İnterneti ve Giyilebilir Teknolojiler. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, 4 (5), 84–95.
- [11] Kuzu, S. (2015). VIKOR. B. F. Yıldırım ve E. Önder (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* içinde (2. Baskı.). Bursa: Dora Yayın.
- [12] Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*. Ankara: Nobel.
- [13] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- [14] Kolat, D., Ajlan Kökçü, H., Kiranli, M., Özbiltekin, M. & Öztürkoğlu, Y. (2020). Measuring Service Quality in the Logistic Sector by Using Servqual and Best Worst Method. N. M. Durakbasa ve M. G. Gençyılmaz (Ed.), *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019* içinde (ss. 720–731). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-31343-2\_61
- [15] Akyüz, G., Tosun, Ö. & Aka, S. (2020). Performance Evaluation Of Non-Life Insurance Companies with Best-Worst Method And Topsis. *International Journal of Management Economics and Business*, 16 (1), 108–125. doi:10.17130/ijmeb.700907
- [16] Çetinkaya, V. & Deveci, D. A. (2020). Optimal Sürdürülebilir Rota Tespiti için Gerekli Göstergelerin Birçok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Önem Düzeyi Tespiti. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 12 (1), 25–46. doi:10.18613/deudfd.775117
- [17] Çakır, E. & Can, M. (2019). Best-Worst Yöntemine Dayalı ARAS Yöntemi ile Dış Kaynak Kullanım Tercihinin Belirlenmesi: Turizm Sektöründe Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23 (3), 1273–1300.
- [18] Aşan, H. & Ayçin, E. (2020). Kurumsal Kaynak Planlama Sistemlerinin Seçimindeki Kriterlerin Best-Worst Metodu ile Değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Akademik İzdüşüm Dergisi*, 5 (2), 114–124.
- [19] Moslem, S., Farooq, D., Ghorbanzadeh, O., & Blaschke, T. (2020). Application of the AHP-BWM model for evaluating driver behavior factors related to road safety: A case study for Budapest. *Symmetry*, 12 (2), 243.
- [20] Guo, S. & Zhao, H. (2017). Fuzzy Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method and Its Applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23–31. doi:10.1016/j.knosys.2017.01.010
- [21] Askarifar, K., Motaffef, Z. & Azaami, S. (2018). An investment development framework in Iran's seashores using TOPSIS and best-worst multi-criteria decision making methods. *Decision Science Letters*, 7 (1), 55–64. doi:10.5267/j.dsl.2017.4.004
- [22] Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J. & Tavasszy, L. (2016). A Supplier Selection Life Cycle Approach Integrating Traditional And Environmental Criteria Using The Best Worst Method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577–588. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.125

- [23] Kujlu, R., Moslemzadeh, M., Rahimi, S., Aghayani, E., Ghanbari, F. & Mahdavianpour, M. (2020). Selecting the best stabilization/solidification method for the treatment of oil-contaminated soils using simple and applied best-worst multi-criteria decision-making method. *Environmental Pollution*, 263, 1–9. doi:10.1016/j.envpol.2020.114447
- [24] Ren, J., Liang, H. & Chan, F. T. S. (2017). Urban sewage Sludge, Sustainability, and Transition for Eco-City: Multi-Criteria Sustainability Assessment of Technologies Based on Best-Worst Method. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 29–39. doi:10.1016/j.techfore.2016.10.070
- [25] Badri Ahmadi, H., Kusi-Sarpong, S. & Rezaei, J. (2017). Assessing the social sustainability of supply chains using Best Worst Method. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 99–106. doi:10.1016/j.resconrec.2017.07.020
- [26] Gupta, H. & Barua, M. K. (2017). Supplier Selection Among SMEs on The Basis Of Their Green Innovation Ability Using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.125
- [27] Chitsaz, N. & Azarnivand, A. (2017). Water Scarcity Management in Arid Regions Based on an Extended Multiple Criteria Technique. *Water Resources Management*, 31 (1), 233–250. doi:10.1007/s11269-016-1521-5
- [28] Gupta, H. & Barua, M. K. (2016). Identifying Enablers of Technological Innovation for Indian MSMEs Using Best–Worst Multi Criteria Decision Making Method. *Technological Forecasting and Social Change*, 107, 69–79. doi:10.1016/j.techfore.2016.03.028
- [29] Salimi, N. (2017). Quality Assessment of Scientific Outputs Using The BWM. *Scientometrics*, 112 (1), 195–213. doi:10.1007/s11192-017-2284-3
- [30] Guo, S. & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23–31.
- [31] Mi, X., Tang, M., Liao, H., Shen, W. & Lev, B. (2019). The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next?. *Omega*, 87, 205-225.
- [32] Rezaei, J., van Roekel, W. S. & Tavasszy L. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158-169.
- [33] Rezaei, J. (2020). A Concentration Ratio for Nonlinear Best Worst Method. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 19, (3), 891-907.
- [34] Salimi, N. & Rezaei, J. (2016). Measuring efficiency of university-industry Ph.D. projects using best worst method. *Scientometrics*, 109, 1911-1938.
- [35] Demir, G. & Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden Bwm Ve Fucom Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21, (2), 170-185.
- [36] Rençber, Ö.F. (2018). Finansal Oranların Önem Düzeylerinin Hesaplanmasında Ahp Ve Bwm Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *ICOAEF'18 IV. International Conference on Applied Economics and Finance & Extended with Social Sciences*. November 28-29-30, / Kuşadası – Turkey.
- [37] Özmen, M., (2020). Bwm-Edas Yöntemi ile Ülkelerin Seyahat Ve Turizm Rekabetebilirliğinin Değerlendirilmesi. *Geleceğin Dünyasında Bilimsel Ve Mesleki Çalışmalar* (pp.40-61), Bursa: Ekin BasımYayın Dağıtım.
- [38] Şenyiğit E. & Ünal Z. (2019). BWM-MOPA Yöntemi ile En İyi RFID Sisteminin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı*, 9-14.
- [39] Çetin, M. S. & Erdem, D. (2019). İletken İplik Alımında Etkili Kriterler Arasındaki İlişkilerin DEMATEL Yöntemi İle Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (17), 152–160. doi:10.31590/ejosat.593034
- [40] Deringöz, A., Danışan, T. & Eren, T. (2020). Covid-19 Takibinde Giyilebilir Sağlık Teknolojilerinin ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 1-1. doi:10.2339/politeknik.768219
- [41] Bulğurcu, B. (2019). Çok Nitelikli Fayda Teorisi ile CRITIC Yöntem Entegrasyonu: Akıllı Teknoloji Tercih Örneği. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13 (19), 1930–1957. doi:10.26466/opus.584123
- [42] Albayrak, Ö. & Erkayman, B. (2018). Bulanık Dematel ve Edas Yöntemleri Kullanılarak Sporcular İçin Akıllı Bileklik Seçimi. *Ergonomi*, 1 (2), 92–102. doi:10.33439/ergonomi.478303
- [43] Belge, S. & Mutlu, H. M. (2020). Tüketicilerin Giyilebilir Teknolojileri Benimsenmesine Yönelik Davranışsal Niyet Ve Kullanımları Üzerine Bir Araştırma. *Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi*, 4 (1), 14–

35.

- [44] Aydan, S. & Aydan, M. (2016). Sağlık Hizmetlerinde Bireysel Ölçüm ve Giyilebilir Teknoloji: Olası Katkıları, Güncel Durum ve Öneriler. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19 (3), 325–342.
- [45] Marangoz, M. ve Aydın, A. E. (2018). Tüketicilerin Giyilebilir Teknoloji Ürünlerini Benimsemesinde Etkili Olan Faktörler. *Pazarlama Teorisi ve Uygulamaları Dergisi*, 4 (1), 1–20.
- [46] Ada, A. & Aksoy, R. (2020). Giyilebilir Teknolojik Ürünlerde Tüketicilerin Algıladıkları Risklerin Farklılaşması: Akıllı Saat Kullanıcılarına Dönük Bir Araştırma. *Herkes için Spor ve Rekreasyon Dergisi*, 2 (1), 50–61.
- [47] Erol, A. D. & Çetiner, S. (2017). Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamaları. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (1), 1–20.
- [48] Kao, C. H., Yang, C. M., Hsieh, C. H., & Hung, Y. S. (2013). Decision making in the design process of wearable IT products. In *5th International Congress of International Association of Societies of Design Research (IASDR)*, Tokyo (8), 26–35.
- [49] Rezaei, J., Wang, J., & Tavasszy, L. (2015). Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method. *Expert Systems with Applications*, 42 (23), 9152-9164.
- [50] Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Borlanmış Hardox 500 Çeliklerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

### Investigation of Wear Behavior of Boronized Hardox 500 Steels

Rıza Kara<sup>1\*</sup>, Yusuf Kayalı<sup>2</sup>, Fatih Çolak<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 03/01/2021*

*Revize / Revised: 01/03/2021*

*Kabul / Accepted: 02/03/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada, aşınma direnci ve mekanik özellikleri ile dikkat çeken Hardox 500 çelikleri farklı sıcaklıklarda ve sürelerde kutu borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işlemi 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda ve her bir borlama sıcaklığı için 2, 4 ve 6 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Borlama işleminin sonucunda numune yüzeylerinde oluşan bor tabakasının morfolojisi SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Vickers sertlik değerleri ölçülerek oluşan bor fazları X-Ray kırınım tekniği (XRD) ile analiz edilmiştir. XRD analizine göre oluşan borür tabakasının tek fazlı Fe<sub>2</sub>B yapısından oluştuğunu gözlemlenmiştir. Artan borlama sıcaklığı ve süresi ile Hardox 500 çeliğinde borür tabaka kalınlığının arttığı görülmüştür. Aşınma testleri, kuru bir ortamda ve 500 metrelik bir kayma mesafesinde 10 N'luk bir yük altında 0,3 m/s'lik bir kayma hızında bilyeli disk aşınma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonrasında yapılan aşınma deneyi sonucunda Hardox 500 çeliğinin aşınma hızı satın alındığı duruma göre azalmış aşınma direnci ise artmıştır. Borür tabakasının yapışma özellikleri Daimler-Benz Rockwell-C testi ile incelenmiştir. Borlama sıcaklığı ve süresinin artmasıyla aşınma ve yapışma direncinin azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Hardox 500, Kutu Borlama, Aşınma, Rockwell-C*

#### ABSTRACT

In this study, Hardox 500 steels, which draw attention with their wear resistance and mechanical properties, were subjected to box boring process at different temperatures and times. Boronizing process was carried out at 850, 900 and 950 °C temperatures and for 2, 4, and 6 hours for each boring temperature. The morphology of the boron layer formed on the sample surfaces as a result of the boronization process was examined by SEM microscope. Boron phases formed by measuring the Vickers hardness values were analyzed by X-Ray diffraction technique (XRD). It was observed that the boride layer formed according to the XRD analysis consisted of a single phase Fe<sub>2</sub>B structure. It was observed that the boride layer thickness in Hardox 500 steel increased with the increasing boronization temperature and duration. The abrasion tests were carried out using the ball disc wear method at a sliding speed of 0.3 m / s under a load of 10 N in a dry environment and a sliding distance of 500 meters. As a result of the abrasion test performed after the boronization process, the wear rate of Hardox 500 steel decreased compared to the purchased state, and the wear resistance increased. The adhesion properties of the boride layer were examined by the Daimler-Benz Rockwell-C test. It was determined that with increasing boronization temperature and time, the wear and adhesion resistance decreased.

**Keywords-** *Hardox 500, Pack Boriding, Wear, Rockwell-C*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [riza.kara@usak.edu.tr](mailto:riza.kara@usak.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-0820-2577>)

*Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Uşak, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [iykayali@aku.edu.tr](mailto:iykayali@aku.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-2449-7125>)

*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Afyon, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [fatih.colak@usak.edu.tr](mailto:fatih.colak@usak.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1161-9875>)

*Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Uşak, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Mükemmel aşınma direnci, tokluk ve sertlik özellikleri ile Hardox çelikleri özellikle taşıyıcı, eleyici, yükleyici presler ve kırıcı gibi ağır iş makinelerinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Sahip oldukları yüksek sertlikle beraber iyi tokluk özellikleri ile kalıcı deformasyon göstermeden ağır yüklemelere ve darbelere karşı dayanıklıdır [1-4]. Hardox 500 çelikleri martenzitik faz yapısına sahip malzemelerdir. Hardox 500 çelikleri 470-530 HB sertlik, -40 °C’ de 37 Joule çentik darbe dayanımı ve yaklaşık 1400 MPa akma dayanımı ile ilgi çekmektedir. Ancak Hardox 500 çelikleri 250 °C’ ye kadar bu mekanik değerlerini koruyabilir [3]. Hardox çeliklerinin çarpma mukavemeti ve plastik esnekliği çok yüksektir [5]. Mekanik parçaların aşınması incelendiğinde büyük oranda abrasiv ve adhesion aşınma mekanizması ile hasara uğramaktadır. Bu oranın yaklaşık% 65’si abrasiv ve adhesion aşınması oluşturmaktadır. Geri kalan hasar mekanizmasında diğer aşınma mekanizmaları etkindir [1].

Aşınma ve korozyon mekanizmaları ile yüzey malzemesi kaybı ortaya çıkmaktadır [2]. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için malzeme yüzey işlemleri en yaygın modifikasyon yöntemlerindedir. Genel olarak, demir esaslı metallerin yüzey özelliklerini geliştirmek için sementasyon, nitrürleme veya borlama işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [6,7]. Malzemelere uygulanan yüzey kaplama uygulamaları ile kullanım ömürlerinin artırılması yaygın bir metottur [6,8].

Borlama işlemi genellikle 700-1000 °C yüksek sıcaklıklar aralığında çeliğe bor atomlarının yayınımlı işlemidir. Borlama işlemi bu sıcaklık aralıklarında farklı sürelerde (2-10 saat) ve farklı borlama ortamlarında gerçekleştirilir [9-11]. Bor işlemi neticesinde FeB, Fe<sub>2</sub>B veya FeB+Fe<sub>2</sub>B borür tabakaları demir esaslı metallerin yüzeyinde tek veya çift fazlı olarak ortaya çıkmaktadır [12]. Kutu borlama yönteminde bor verici tozlar içerisinde malzemenin kimyasal bileşimine, kalınlığına ve elde edilmek istenilen bor tabakası kalınlığına göre 800-1050 °C sıcaklıklar aralığında en az bir saat bekletilerek gerçekleştirilir [13-16]. Malzemenin kimyasal yapısına, borlama yöntemi ve şartlarına bağlı olarak borlanmış malzeme yüzeyindeki bor tabakası yaklaşık 2000 HV sertliğe sahip olabilmektedir. Elde edilen tabaka fazına bağlı olarak malzeme yüzeyi aşınma direnci kazanır [17,18]. Bu şekilde makine parçalarının kullanım ömürleri uzatılabilmektedir.

Bu çalışmada Hardox 500 çeliği, farklı sıcaklık ve bekletme sürelerinde kutu borlama yöntemi ile borlanmıştır. Borlama işlemi sonucunda Hardox 500 çeliğinin yüzey özelliklerinde, aşınma ve yapılaşma davranışlarındaki değişim incelenmiştir.

## II. MALZEME VE METOT

### A. Malzemeler ve Borlama İşlemi

Deneylerde kullanılan numuneler Ø15x6 mm ölçülerinde kesilerek 120-1200 grit zımpara aşamalarından geçilerek yüzeyleri borlama işlemi için hazırlanmıştır. Numuneler önce farklı sıcaklıklarda (850, 900, 950 °C) ve her bir sıcaklıktaki farklı bekletme sürelerinde (2, 4, 6 saat) paslanmaz çelik potaya doldurulan ticari Ekabor-2 tozun içerisinde ısıtılma tabii tutulmuştur. Daha sonra numuneler oda sıcaklığına kadar kutu içerisinde soğutulmuş ve pota içerisinden çıkarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Hardox 500 çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

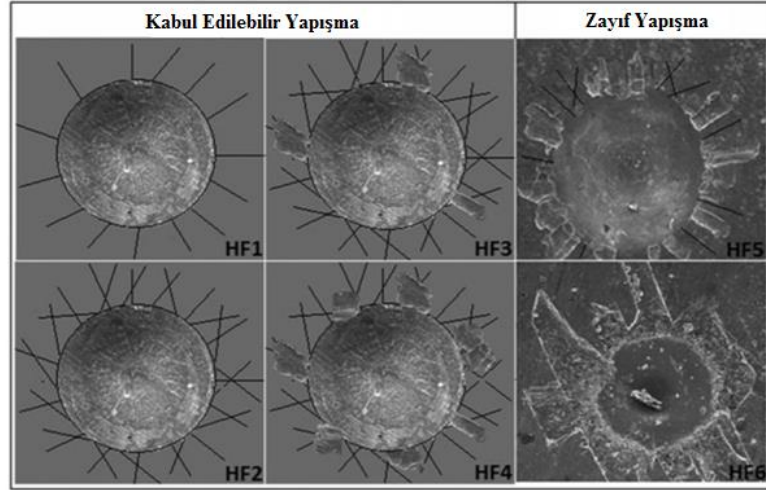
Tablo 1. Test malzemesinin kimyasal bileşimi

Çelik	C	Mn	Cr	Si	Mo	P	S	B	Ni
Hardox 500	0.3	1.6	1.5	0.7	0.6	0.02	0.001	0.005	0.15

Borlama ısıtılma işlem sonrasında hassas numune kesme cihazında numuneler kesilmiştir. Numune yüzeyleri metalografik yöntemlere uygun olarak önce 120-1200 Grit kum zımpara kağıtlarında aşındırılmış ve sonrasında 1 µm alümina süspansiyon ile parlatılmıştır. Ardından numuneler % 3 Nital asitli çözeltide dağlanmıştır. Numuneler Rockwel-C yöntemi ile yapılan yapılaşma kalitesi testi için LEO 1430 VP marka SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Bor tabakasındaki fazlar, CuKα (λ = 1.5406 Å) radyasyonu kullanılarak Shimadzu XRD-6000 marka X-ışını kırınımı ile belirlenmiştir. Borür kaplama tabaka kalınlığı, bir optik mikroskoba bağlanan dijital kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Numunelerin Vickers sertlik değerleri Shimadzu HM-2 mikro sertlik cihazında 50 gr. yük altında Vickers uç kullanılarak belirlenmiştir.

### B. Yapışma ve Aşınma Testi

Kaplama sonrası oluşan bor tabakasının yapışma mukavemeti VDI 3198 normu ile Daimler-Benz Rockwell-C yapışma testi kullanılarak değerlendirilmiştir. VDI 3198 standardı Şekil 1’ de gösterilmiştir [19]. Şekil 1’ de kaplamalar için kabul edilebilir veya zayıf yapışma sınıflandırmaları Rockwell-C indentörünün batıcı ucunun sonuçlarına dayalı görülmektedir. Rockwell-C girinti testi 1471 N yük altında her numune için üç adet girinti testi uygulanmıştır. Test sonuçları SEM mikroskobu görüntüsü ile değerlendirilmiştir.



Şekil 1. VDI3198 standartına göre kaplamaların yapışma kalitesi

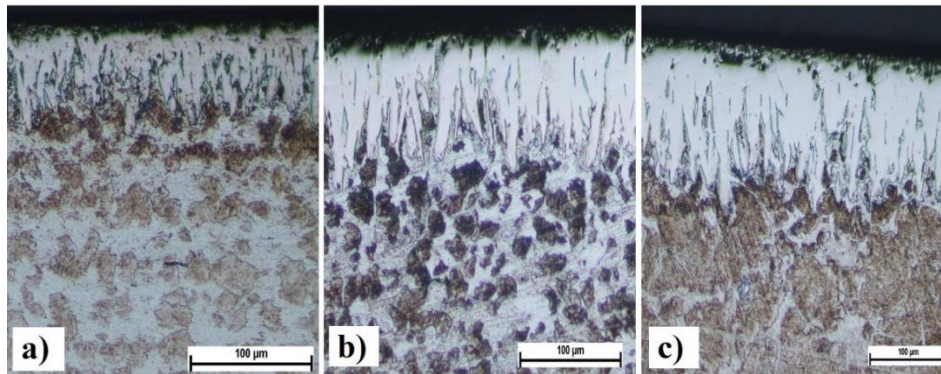
Kutu borlanmış Hardox 500 çeliğinin aşınma özellikleri bilyeli disk aşınma cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Aşınma deneyinde 8 mm çaplı WC-Co bilyesi kullanılmıştır. Aşınma deneyi 10N yük altında oda sıcaklığında ve 0,3 m/s kayma hızında kuru ortam şartlarında 500 metre uzunluğuna karşılık gelen kaydırma uzunluğu boyunca gerçekleştirilmiştir. Aşınma oranı Rugosimeter marka pürüzlülük cihazı belirlenmiştir. Aşınma hacminin hesaplandığı formül ise Denklem 1’ de verilmiştir.

$$\text{Aşınma Hızı} = \text{Aşınma Hacmi} / (\text{Uygulama Yüğü} \times \text{Kayma Mesafesi}) \text{ (mm}^3 / \text{Nm)} \quad (1)$$

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. Bor Kaplamanın Karakterizasyonu

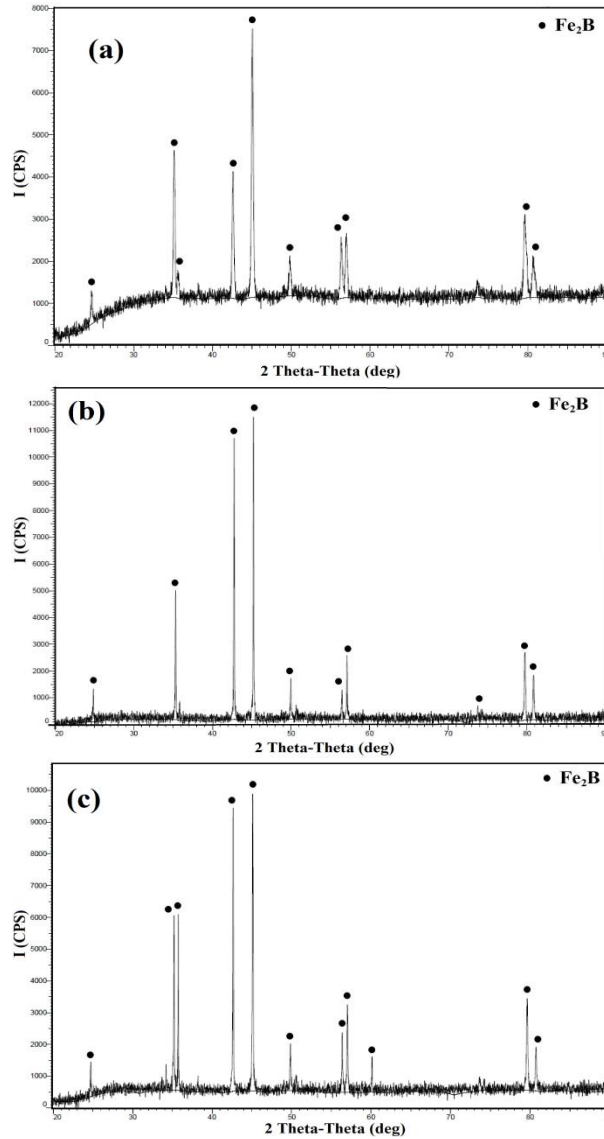
850, 900 ve 950 °C’ de 4 saat süre ile borlanmış Hardox 500 çeliklerin mikroyapıları Şekil 2’ de gösterilmiştir. Hardox 500 çeliğinin borlama işlemi neticesinde oluşan borür tabakasının parça yüzeyinden merkezine doğru uzanan testere dişi formunda olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bu oluşan testere dişi morfoloji tabaka formu yüksek alaşımlı çeliklerin kutu borlanmasında da görülmüştür [20].



Şekil 2. Hardox 500 çeliklerin 4 saat süre ile a) 850 °C b) 900 °C c) 950 °C’ de borlanmış mikroyapısı

### B. X-Işını Kırınım Analizi

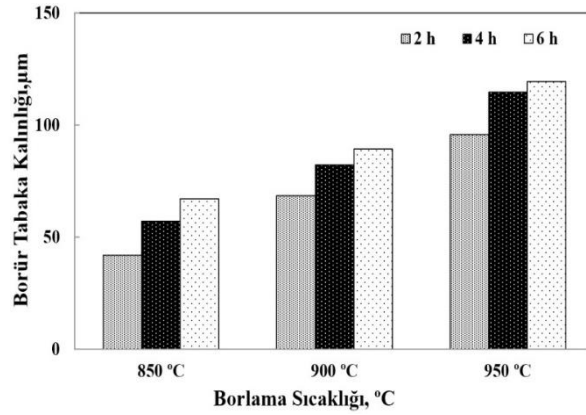
X-ışınları kırınım deseni grafiği Şekil 3' te gösterilmiştir. XRD analizi sonucunda 4 saat süre ile 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda borlanmış Hardox 500 çeliklerinin yüzeyinde Fe<sub>2</sub>B borür tabakasının oluştuğu görülmüştür. Genel olarak çeliklerin borlanması ile FeB ve Fe<sub>2</sub>B ikili faz tabakasının oluşumu yapılan XRD analizlerinde görülmektedir. Oluşan iki fazlı yapı durumunda FeB fazı çekme çalışırken Fe<sub>2</sub>B fazı ise basma etkisi göstermektedir. Bu farklı gerilme altındaki durumda fazlar arasında boşluk oluşumu ve dökülmeler görülebilmektedir. Bu etki FeB fazının sert ve gevrek yapısından da kaynaklandığı düşünülebilir. Çalışmada oluşan Fe<sub>2</sub>B tek fazlı yapısı özellikle yapılan çalışmalarda istenilen bir durumdur [21].



Şekil 3. Hardox 500 çeliklerin 4 saat süre ile borlanmış a) 850 °C b) 900 °C c) 950 °C X-ışınları difraksiyon analizi

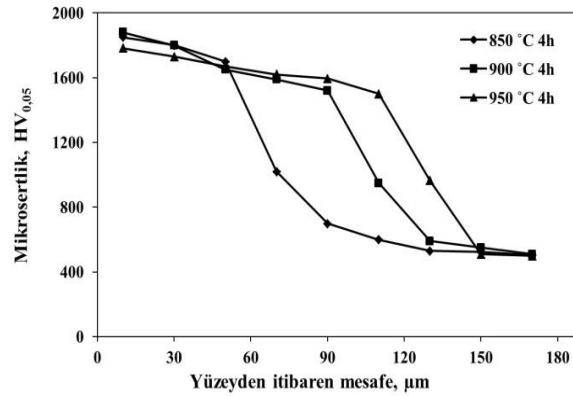
### C. Borür Tabaka Kalınlığı ve Mikrosertlik Analizi

Borür tabaka kalınlığı, malzemenin kimyasal bileşimi, borlama yöntemi, sıcaklığı ve süresine göre değişmektedir [22]. Genel olarak artan sıcaklık ve süre ile doğru orantılı olarak tabaka kalınlığı artmaktadır. Hardox 500 çeliklerin yüzeyinde borlama ısı işlem sıcaklığı ve süresine göre elde edilen borür tabaka kalınlıkları Şekil 4' de gösterilmiştir. Kaplama taba kalınlığının 40-120 µm arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Hardox 500 çeliklerin borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak borür tabaka kalınlığı değişimi

Şekil 5' te Hardox 500 çeliklerin kutu borlama işlemi sonucunda malzemenin yüzeyinden belirli mesafedeki mikrosertlik değişimi gösterilmiştir. Sertlik değerlerindeki değişim borlama süresi ve sıcaklığı ile oluşan borür fazına göre değişecektir [22]. En yüksek sertlik değeri oluşan Fe<sub>2</sub>B faz bölgesinde malzemenin en dış yüzeyi bölgesinde elde edilmiştir. Malzemenin matris bölgesi yaklaşık 400 HV<sub>0,05</sub> iken numune yüzeyindeki borür tabakası yaklaşık 1850 HV<sub>0,05</sub> olduğu gözlemlenmiştir.

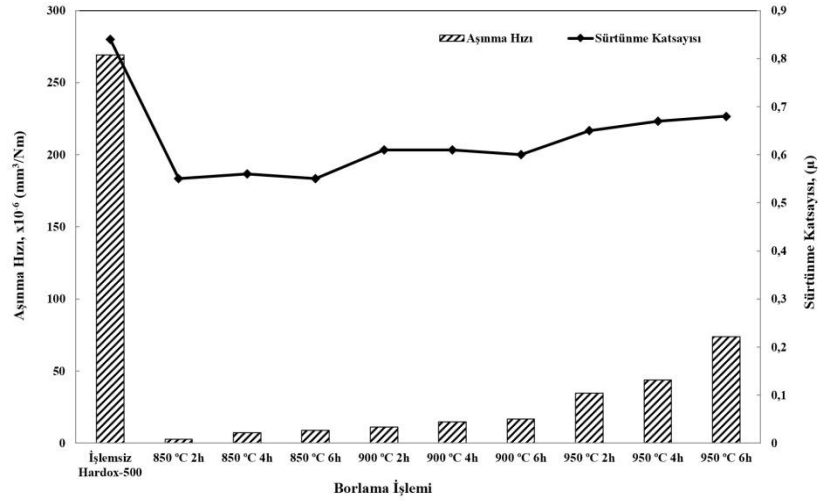


Şekil 5. Hardox 500 çeliklerin borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak mesafeye göre mikrosertlik değişimi

#### D. Aşınma ve Yapışma Analizi

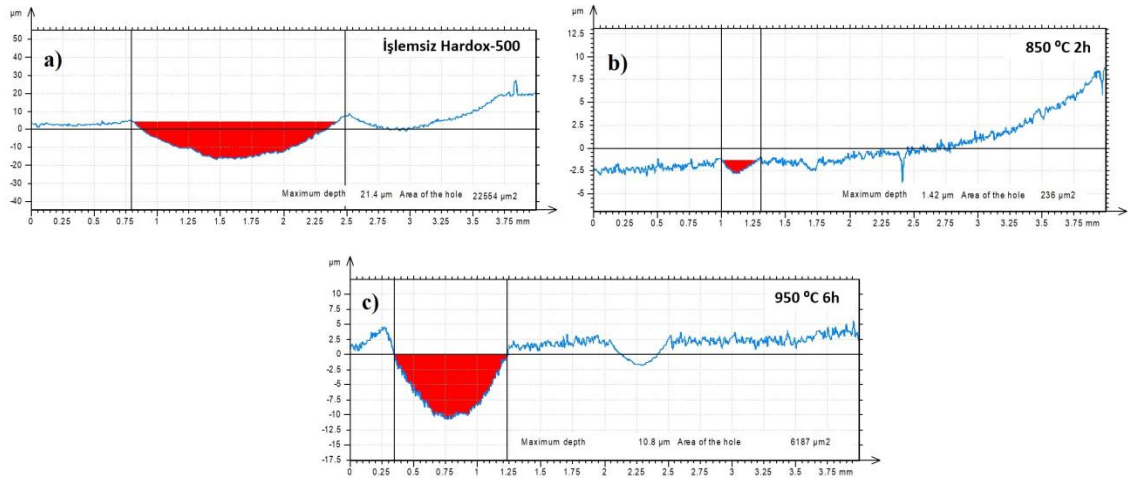
Şekil 6'da farklı süre ve sıcaklıklarda borlanmış Hardox 500 çelik numunelerin aşınma hızı ve sürtünme katsayısı gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlarda en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma hızı 850 °C 2 saat süre ile borlanmış numunelerde elde edilmiştir. Artan borlama sıcaklığı ve süresi ile sürtünme katsayısı ve aşınma hızı da artmıştır. Artan sıcaklık ve bekleme süresi ile tabaka kalınlığı artarken aşınma oranının da arttığı görülmektedir [23].





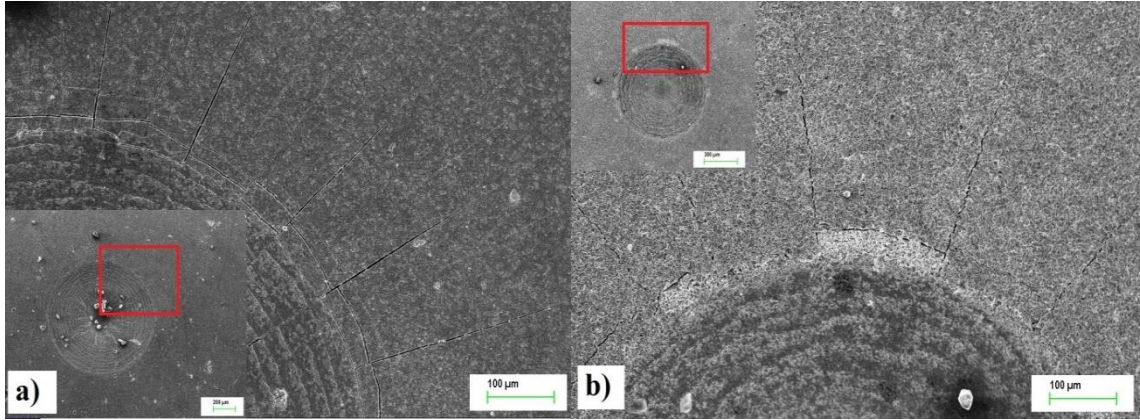
Şekil 6. Hardox 500 çeliğinin sürtünme katsayısı ve aşınma hızı grafiği

Şekil 7’ de aşınma testi sonucunda elde edilen aşınma izlerinin yüzey profilleri gösterilmiştir. Elde edilen yüzey izlerine göre en geniş aşınma yüzeyi işlemsiz ilk durumdaki Hardox 500 çeliğinde elde edilmiştir. En dar iz genişliği ise 850 °C 2 saat borlanmış Hardox 500 çelik numunesinde elde edilmiştir. 850 °C 2 saat borlanmış numunenin yüzey iz genişliği aşınma hızı ve sürtünme katsayısı ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Hardox 500 çeliğinin aşınma yüzey profili a) işlemsiz b) 850 °C 2 saat borlanmış c) 950 °C 6 saat borlanmış

Rockwell-C girinti testi sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 8’ de gösterilmiştir. Şekil 8’ de borlanmış Hardox 500 numuneleri arasında aşınma testi sonuçlarında en düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısına sahip 850 °C 2 saat borlanmış numune ve en yüksek aşınma hızı ve sürtünme katsayısına sahip 950 °C 6 saat borlanmış numune SEM mikroskobu görüntüsü gösterilmiştir. 850 °C 2 saat borlanmış numune Rockwell-C girinti testi sonucunda mikro çatlakların oluştuğu ve Daimler Benz test haritasına göre HF1’e uygun olduğu gözlemlenmiştir. 950 °C 6 saat borlanmış numune de ise hem delaminasyonlar hem de mikro çatlakların oluştuğu ve Daimler Benz test haritasına göre HF5’e uygun olduğu gözlemlenmiştir. Borlama sıcaklığının ve süresinin artırılmasıyla elde edilen borür tabakasının yapışma kalitesi hem aşınma testine hem de Rockwell-C girinti testi sonuçlarına göre azalmaktadır [22].



Şekil 8. Borlanmış Hardox 500 çeliğin Rockwell-C Yapışma Testi SEM görüntüsü a) 850 °C 2 saat b) 950 °C 6 saat

#### IV. SONUÇLAR

Hardox 500 çeliğinin kutu borlama yöntemi kullanılarak 850°C, 900°C, 950°C sıcaklıklarında 2, 4 ve 6 saat süreyle borlanmasıyla;

Kaplama tabakasının testere dişi morfolojisinde oluşmuştur. Kaplama tabakası kalınlığı 40-120 µm arasında değişmiştir. En yüksek kaplama kalınlığı 950°C 6 saat süreyle borlanmış numunede elde edilmiştir. Artan borlama sıcaklığı ve süresiyle kaplama kalınlığı artmıştır. XRD analizinde kaplama tabakasının tek fazlı Fe<sub>2</sub>B olduğu tespit edilmiştir. Borlama işlemi sonucunda kaplama tabakasının sertliği 1850 HV<sub>0,05</sub> olduğu tespit edilmiştir. Bu değer işlemsiz ilk hale göre 4,5 kat daha yüksektir. Aşınma testi sonucunda en iyi aşınma direnci 850°C 2 saat süre ile borlanmış numunedir. Aynı numunenin yüzey iz genişliği ve aşınma hacmi de düşük çıkmıştır. En düşük aşınma direnci ise 950°C 6 saat süre ile borlanmış numunede elde edilmiştir. 850 °C 2 saat sürede borlanmış numuneler Rockwell-C girinti testi sonucuna göre uygun yapılaşma kalitesine sahiptir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Adamiak, M., Górka, J. & Kik, T. (2009). Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 37(2), 375-380.
- [2] Mindivan, H. (2013). Effects of combined diffusion treatments on the wear behaviour of hardox 400 steel. *Procedia Engineering*, 68, 710-715.
- [3] Anonim, (2020). SSAB. <https://www.ssab.com.tr/api/sitecore/Datasheet/GetDocument> (Erişim Tarihi: 17.12.2020).
- [4] Kayalı Y. & Kara R., (2019). Borlanmış Hardox Çeliklerinin Difüzyon Kinetiklerinin İncelenmesi. The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology, 21-23 Haziran 2019, Nevşehir.
- [5] Tabur M. & İzciler M., (2019). Hardox 500 ve Hardox 600 Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması. ISAS 2019, 19-21 Nisan 2019, Ankara.
- [6] Teker, T., Karataş, S. & Yılmaz, S. O. (2014). Microstructure and wear properties of AISI 1020 steel surface modified by HARDOX 450 and FeB powder mixture. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 50(1), 94-103.
- [7] Hacısalıhoğlu, İ., Yıldız, F. & Çelik, A. (2018). Tribocorrosion behavior of plasma nitrided Hardox steels in NaCl solution. *Tribology International*, 120, 434-445.
- [8] Gromov, V. E., Kormyshev, V. E., Glezer, A. M., Konovalov, S. V., Ivanov, Y. F., & Semin, A. P. (2018, September). Microstructure and wear properties of Hardox 450 steel surface modified by Fe-C-Cr-Nb-W powder wire surfacing and electron beam treatment. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 411(1), 012024
- [9] Çelikyürek, İ., Baksan, B., Torun, O. & Gürler, R. (2006). Boronizing of iron aluminide Fe72Al28. *Intermetallics*, 14(2), 136-141.
- [10] Bejar, M. A., & Moreno, E. (2006). Abrasive wear resistance of boronized carbon and low-alloy steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3), 352-358.
- [11] Kayalı, Y. (2015). Investigation of diffusion kinetics of borided AISI P20 steel in micro-wave furnace.

- [12] Özsoy, A. (2001). Borlama ile ilgili genel bir değerlendirme. *Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi, Sayı, 22*, 10-13.
- [13] Sinha A K, 1991. Boronizing. ASM Materials Handbook 4, ASM International
- [14] Hunger, H. J. & Trute, G. (1994). Boronizing to produce wear resistant surface layers. *Heat Treatment of Metals (UK)*, 21(2), 31-39.
- [15] Karakan, M., Alşaran, A. & Çelik, A. (2002). *Plazma Borlama, Mühendis ve Makine*, 43(512), 51-54.
- [16] Er, Ü. (2004). Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1), 1-12.
- [17] Atık, E., Yunker, U. & Meriç, C. (2003). The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels. *Tribology International*, 36(3), 155-161.
- [18] Barut, N., Yavuz, D. & Kayali, Y. (2014). Borlanmış AISI 5140 ve AISI 420 Çeliklerinin Difüzyon ve Adhezyon Davranışlarının İncelenmesi (015701) (1-8). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-8.
- [19] Anonim, (1992). Daimler Benz adhesion test, Richtlinien, No. 3198, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Dusseldorf: VDI-Verlag, 7-12.
- [20] Efe, G. Ç., İpek, M., Özbek, İ. & Bindal, C. (2008). Kinetics of borided 31CrMoV9 and 34CrAlNi7 steels. *Materials characterization*, 59(1), 23-31.
- [21] Delikanlı, K., Çalık, A., & Uzun, H. A. (2002). Sade karbonlu bir çeliğin borlama özelliklerinin incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 99-110.
- [22] Kayalı, Y. (2013). Investigation of the diffusion kinetics of borided stainless steels. *The physics of metals and metallography*, 114(12), 1061-1068.
- [23] Meriç, C., Şahin, S., Backir, B., & Köksal, N. S. (2006). Investigation of the boronizing effect on the abrasive wear behavior in cast irons. *Materials & Design*, 27(9), 751-757.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Yüksek Enerjili Rölativistik Çarpışmalarda Baryonik Rezonans Oluşumları\*

### Production of Baryonic Resonances at High Energy Relativistic Collisions

Serpil Yalçın Kuzu<sup>1\*</sup>, Ayben Karasu Uysal<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 05/01/2021*

*Revize / Revised: 24/02/2021*

*Kabul / Accepted: 23/03/2021*

#### ÖZ

Baryonik rezonanslar üç kuarktan oluşan uyarılmış durumlardır. Kütle, rezonans genişliği ve ürün bolluğu gibi karakteristik özellikleri ortam tarafından etkilenebilir, böylece bu parçacıkların ölçümleri ile rölativistik ağır iyon çarpışmaları sonucu oluşan sistemin dinamiği araştırılabilir. Çok kısa ortalama ömre ( $\tau \sim 10^{-23}$ s) sahip olan baryonik rezonanslar, yüksek enerjili çarpışmalarda oluşan ortamın kimyasal donma noktası ile kinetik donma noktası arasında (i) bozunabilir, (ii) yeniden saçılabilir ve (iii) yeniden üretilebilirler. Bu sebeple bu parçacıkların karakteristik özelliklerinin incelenmesi çarpışmalarda oluşan ve maddenin yeni hali olarak tanımlanan Kuark Gluon Plazma (KGP) ve onu takip eden hadronizasyon safhaları hakkında bilgi verebilir. Ayrıca bu rezonansların farklı yüksek enerjili çarpışma sistemlerinde incelenmesi oluşan ortam boyutlarının rezonans üretimi üzerine etkisini açıklayabilir. Bu çalışmada baryonik rezonanslardan biri ve protonun uyarılmış hali olan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonansları DPMJET-III olay üreticisi ile 5.02 TeV enerjili proton kurşun (p-Pb) çarpışmaları için incelenmiştir. Ayrıca elde edilen değerler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Farklı rölativistik çarpışma sistemlerinde oluşan ortamın bu parçacık üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Baryonik Rezonans, Kütle Kayması, Monte Carlo Olay Üreticileri*

#### ABSTRACT

Baryonic resonances, composed of three quarks, are excited states of the corresponding ground state particles. Modification of their properties, such as mass, width, and yield by the medium make them to be used to investigate the dynamics of the system formed in relativistic heavy ion collisions. Due to having very short lifetime ( $\tau \sim 10^{-23}$ s) these particles may (i) decay, (ii) rescatter, and (iii) regenerate between chemical and kinetic freeze-out temperatures of created medium in high energy collisions. Therefore, studying their characteristic properties provides information about quark gluon plasma (QGP), the new state of matter, and the following phase, hadronization, of the medium formed in collisions. Measurement of these resonances in different high energy collision systems allows explaining system size effect on resonance production mechanism. In this work,  $\Delta(1232)^{++}$  resonance, which is one of the baryonic resonances and excited state of proton, were studied with DPMJET-III event generator for proton lead (p-Pb) collisions at the energy of 5.02 TeV. In addition, derived values are compared with the experimental results and the effect of the medium formed in different relativistic collisions on the resonances is discussed.

**Keywords-** *Baryonic Resonance, Mass Shift, Monte Carlo Event Generators*

\*Bu çalışma Serpil YALÇIN KUZU'nun doktora tezinden üretilmiştir.

<sup>1</sup>Sorumlu yazar iletişim: [skuzu@firat.edu.tr](mailto:skuzu@firat.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-8905-8089>)

Fizik Bölümü, Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [ayben.karasu@karatay.edu.tr](mailto:ayben.karasu@karatay.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-6297-2532>)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karatay, Konya, Türkiye

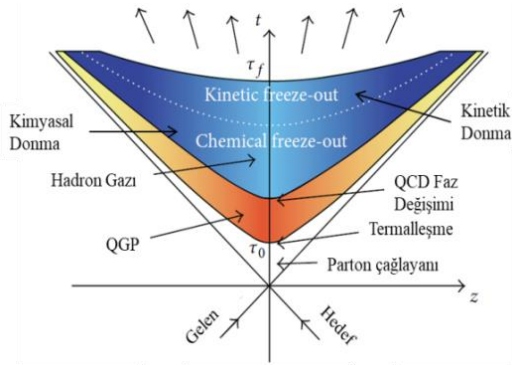
## I. GİRİŞ

Büyük Patlama (Big Bang) teorisine göre evren bundan 13 milyar yıldan daha uzun bir süre önce çok sıcak ve yoğun tek bir noktadan büyük bir patlama ile oluşmuştur. Patlamayı takip eden birkaç mikro saniye içinde ortam maddenin bilinen en küçük yapı taşları olan ve parton olarak da tanımlanan kuark ve gluonların oluşturduğu kuark-gluon plazma (KGP) formuna dönüşmüştür. Zamanın ilerlemesiyle birlikte partonlardan oluşan ortam genişleyerek soğumuş ve serbest durumdaki partonlar, üç kuarklı baryonik ile iki kuarklı mezonik hadronik sistemler haline gelmiştir. Evrenin oluşumunun anlaşılabilmesi için maddenin en küçük yapıtaşlarının serbest olduğu KGP safhası araştırılmalıdır. Bu sebeple laboratuvar koşullarında bu ortamın oluşturulması gerekmektedir.

Rölativistik hadron çarpıştırıcıları, laboratuvar koşullarında çok yüksek sıcaklık ve basınçta güçlü kuvvet yoluyla etkileşen hadronik maddenin özelliklerini çalışmayı sağlayan tek araçtır. Çarpıştırıcıların oluşturduğu şartlar altında hadronik maddenin *partonik durum* denilen başlangıç durumuna dönmesi beklenir. Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) [1, 2] ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda (BNL) Rölativistik Ağır İyon Çarpıştırıcısı (RHIC) [3] olmak üzere dünyada iki rölativistik hadron çarpıştırıcısı bulunmaktadır. Bu hızlandırıcılarda, çeşitli parçacıklar farklı yüksek enerjilere çıkarılarak çarpıştırılmaktadır. Çarpışmalar sonucu oluşan KGP ortamının özelliklerini inceleyebilmek için büyük dedektör sistemlerine ihtiyaç vardır. Özellikle bu aşamaları araştırmak için LHC'de ALICE (A Large Ion Collider Experiment – Büyük İyon Çarpıştırıcısı Deneyi) [4] ve RHIC'de STAR (Solenoidal Tracker – Solenoid İzleyici) [5] ve PHENIX (Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment – Öncü Yüksek Enerjili Nükleer Etkileşim Deneyi) [6] deneyleri tasarlanmıştır.

### A. Rölativistik Çarpışmalar

Rölativistik ağır iyon çarpışmalarında oluşan ortamın dinamiği Şekil 1'de gösterilmiştir [7]. Yüksek enerjilerde iki çekirdek çarpıştığında başlangıçta çarpışma bölgesinde bulunan nükleonlar etkileşime girerler. Bu etkileşim sonucu yüksek momentumlu parçacıklar üretilir. Bölgedeki etkileşime girmeyen parçacıklar enerjilerini kaybederek termalleşmeye başlar ve partonların serbest olduğu KGP fazını oluşturur. Bu yoğun ortam genişler ve ortam parton ve hadron karışımı haline gelir [8, 9, 10]. Artık hadronlardan oluşan bu ortam, parçacıklar arasındaki esnek saçılmaların durduğu *kinetik donma sıcaklığına* ( $T_k$ ) kadar genişlemeye ve soğumaya devam eder [8, 9, 10]. Kinetik donma adı verilen bu aşamada parçacık ürün miktarları sabitlenir.  $T_k$ 'dan sonra parçacıklar dedektörler tarafından tespit edilirler.



Şekil 1. Yüksek enerjili çekirdek-çekirdek çarpışmalarının uzay(z)-zaman(t) gelişimi [7].

### B. Baryonik Rezonanslar

Baryonik rezonanslar üç kuark yapısına sahip temel durum parçacıklarının uyarılmış halleridir. Bu parçacıklar kararlı emsallerinden farklı spin, yük ve parite gibi kuantum sayılarını taşıyabilirler. Ayrıca karşılık gelen temel durumlarına kıyasla daha yüksek kütle ve genişliğe sahiptirler. Baryonik rezonanslar güçlü kuvvet ile bozunurlar. Bu nedenle yüksek enerjili çarpışmalarda oluşan KGP [11, 12, 13, 14, 15] fazının yaşam süresi ile aynı ortalama ömre ( $\tau \sim 10^{-23}$ s) sahiptirler [8]. Rezonansları diğer parçacıklardan farklı yapan, bulunduğu ortamın parçacığın özellikleri üzerine etkisidir. Baryonik rezonansların kütle, genişlik ve bolluk gibi özellikleri, içinde

buldukları ortam tarafından değiştirilebilir. Bu nedenle, bu parçacıkların oluşumlarının incelenmesi, rölativistik çarpışmalarda oluşan ortamın özellikle kimyasal donma noktası ( $T_c$ ) ile kinetik donma noktası ( $T_k$ ) arasındaki dinamiğini anlamak için önemli bir role sahiptir [9].

Kısa yaşam süreleri nedeniyle baryonik rezonanslar doğrudan ölçülemezler. Fakat dedektörler tarafından saptanan bozunma ürünlerinin enerjileri ( $E_1, E_2$ ) ve momentumlarının ( $\vec{p}_1, \vec{p}_2$ ) Denklem 1'de verilen

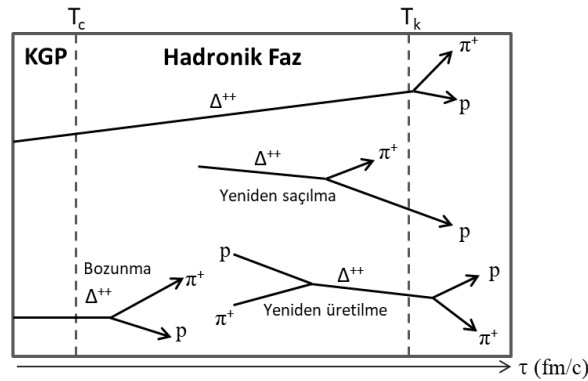
$$m_{inv} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 + (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2} \quad (1)$$

değişmez kütle ifadesinde kullanılmasıyla rezonansların değişmez kütle ( $m_{inv}$ ) dağılımları elde edilebilir. Böylece  $m_{inv}$  spektrumları ile rezonanslar incelenebilir. Bazı hadronik rezonanslar ve temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [16].

**Tablo 1.** Bazı hadronik rezonanslar ve temel özellikleri [16].

Rezonans	Ortalama Bozunma Uzunluğu $\tau$ (fm)	Bozunma Kanalı	Dallanma Oranı [%]
$\rho(770)^0$	1.3	$\pi^+\pi^-$	100
$\Delta(1232)^{++}$	1.6	$p+\pi^+$	100
$K^*(892)^0$	4.2	$K^+\pi^-$	66.6
$\Sigma^*(1385)^+$	5.5	$\Lambda\pi^+ \rightarrow (p\pi^+)\pi^+$	87
$\Lambda^*(1520)$	12.6	$p+K^-$	22.5
$\Xi^*(1530)^0$	21.7	$\Xi\pi^+ \rightarrow (\Lambda\pi^+)\pi^+$	66.7
$\phi(1020)^0$	44	$K^+K^-$	48.9

Baryonik rezonanslar  $T_c$  ve  $T_k$  donma noktaları arasında (i) bozunabilir, (ii) yeniden saçılabilir ve (iii) yeniden üretilebilirler. Yeniden saçılma sürecinde rezonansların bozunma ürünleri ve ortamda bulunan hadronlar elastik çarpışma yapabilir. Çarpışmalar parçacıkların momentumlarını değiştirebileceği için bozunma ürünlerinin izleri kaybolabilir. Bu durum rezonans bolluğunda azalmaya sebep olabilir [17, 18]. Yeniden üretilme sürecinde bozunum ürünleri ile ortamda bulunan hadronlar arasında elastik olmayan etkileşimler meydana gelebilir ve rezonanslar yeniden üretilebilirler. Bu durum rezonans bolluğunda artışa sebep olabilir [17, 18]. Şekil 2'de  $\Delta(1232)^{++}$  baryonik rezonanslarının kimyasal ve kinetik donma sıcaklıkları arasındaki etkileşimleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.**  $\Delta(1232)^{++}$  baryonik rezonanslarının kimyasal ve kinetik donma noktaları arasındaki etkileşimleri. Baryonik rezonanslar  $T_c$  ve  $T_k$  donma noktaları arasında (i) bozunabilir, (ii) yeniden saçılabilir ve (iii) yeniden üretilebilirler.

## II. $\Delta(1232)^{++}$ ÖLÇÜMLERİ

$\Delta(1232)^{++}$  baryonik rezonansı üç yukarı kuarktan (uuu) oluşan protonun uyarılmış bir durumudur. Bu parçacığın durgun kütlesi  $1.232 \text{ GeV}/c^2$  olup yarı ömrü  $5.63 \pm 0.14 \times 10^{-24}$  saniyedir [19]. Kısa yarı ömrü nedeniyle  $\Delta(1232)^{++}$ , diğer hadronik rezonanslar gibi çarpışmalarda oluşan ortamın kimyasal donma noktası ile termal donma noktası arasında çeşitli etkileşimler yapar ve rezonansın kütle ve genişlik gibi özellikleri yüksek yoğunluk ve sıcaklıktan etkilenir. Bu sebeple  $\Delta(1232)^{++}$  oluşumlarının incelenmesi ile rezonansın bulunduğu ortam hakkında bilgi edinilebilir.

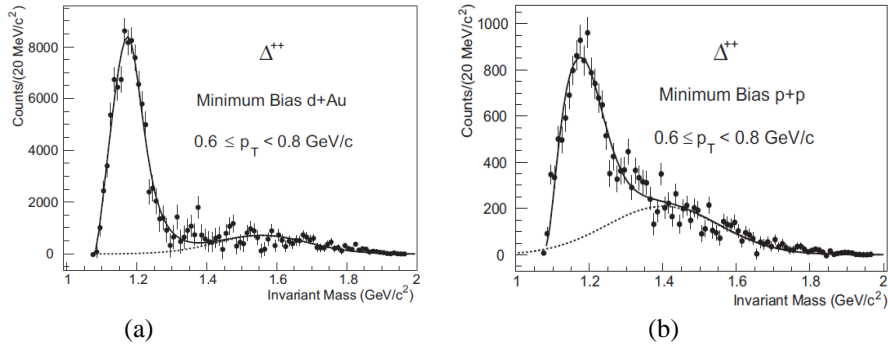
### A. $\Delta(1232)^{++}$ Rezonans Oluşumlarının Deneysel İncelenmesi

$\Delta(1232)^{++}$  ve anti parçacığı  $\bar{\Delta}(1232)^{-}$  aşağıda listelenmiş olan hadronik bozunma kanalları aracılığıyla incelenebilirler [16].

$$\Delta(1232)^{++} \rightarrow p + \pi^{+}$$

$$\bar{\Delta}(1232)^{-} \rightarrow \bar{p} + \pi^{-}$$

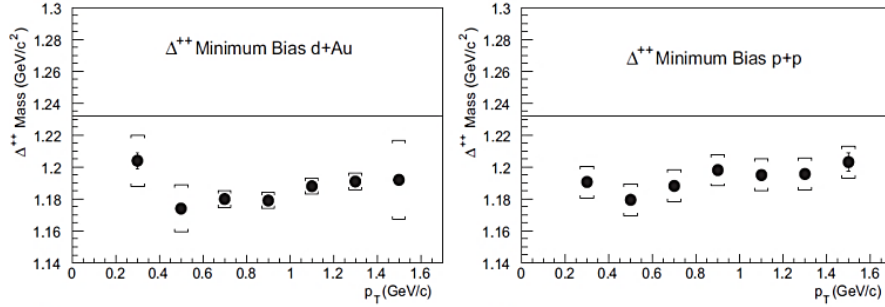
Dedektörler tarafından saptanan proton, anti-proton ( $\bar{p}$ ) ve yüklü pilyonların enerji ve momentum bilgilerinin Denklem 1' de verilen değişmez kütle ifadesinde kullanılmasıyla bu parçacıkların belirli bir enine momentum aralığına ( $p_T$ ) ait  $m_{inv}$  dağılımları elde edilebilir. Elde edilen dağılımlarda rezonansların bozunumları sonucu oluşmayan protonlar ve pilyonlar da bulunabilir. Fon (*ardalan - background*) dağılımı olarak adlandırılan bu parçacıkların dağılımlarını tespit etmek için rezonans analizlerinde uzun zamandır başarıyla kullanılan *olay-karıştırma yöntemi* (event mixing method - EM) kullanılır [20, 21]. Bu yöntemde  $\Delta(1232)^{++}$  ( $\bar{\Delta}(1232)^{-}$ ) rezonansının fon spektrumu farklı olaylardan seçilen proton ve pilyon çiftlerinin oluşturduğu  $m_{inv}$  dağılımları kullanılarak belirlenmektedir. EM yönteminde eşleştirilen parçacıkların benzer olaylardan seçilmesi ve aynı parçacıktan gelmemesi bu yöntemin fon dağılımında kullanılmasına olanak sağlar. Fon spektrumundaki belirsizliği düşürebilmek için proton ve pilyonlar birden fazla farklı olaydan seçilir ve rezonansın değişmez kütle hesaplaması yapılır. Fon dağılımındaki veri sayısı, oluşturulan  $\Delta(1232)^{++}$  ( $\bar{\Delta}(1232)^{-}$ )  $m_{inv}$  dağılımındaki veri sayısından daha fazladır. Bu nedenle EM sonucu elde edilen spektrumlar parçacığın değişmez kütle beklenmediği bir aralığa göre normalize edilir [18]. Normalizasyon faktörü, rezonansın değişmez kütle sinyalinin beklenmediği bir aralık için aynı olay proton-pilyon çiftlerinin oluşturduğu dağılımdaki veri sayısının farklı olaylardan elde edilmiş proton-pilyon çiftlerinin oluşturduğu fon dağılımına oran alınarak hesaplanır [18]. Delta rezonansının kütlelerinin  $1.232 \text{ GeV}/c^2$  olması sebebiyle, normalizasyon için kullanılacak kütle aralığı genellikle  $1.4 - 1.8 \text{ GeV}/c^2$  alınır. Bir çarpışma olayındaki proton-pilyon çiftlerinin değişmez kütle dağılımlarından, normalize edilmiş fon dağılımları çıkartılarak rezonansın  $m_{inv}$  spektrumu elde edilir. Şekil 3'de STAR deneyinde ölçülmüş  $200 \text{ GeV}$  kütle merkezi enerjili ( $\sqrt{s_{NN}}$ ) orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde döteron-altın (d+Au) ve proton-proton (pp) çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonanslarının değişmez kütle dağılımları  $0.6 - 0.8 \text{ GeV}/c$  enine momentum aralığı için gösterilmiştir [18].



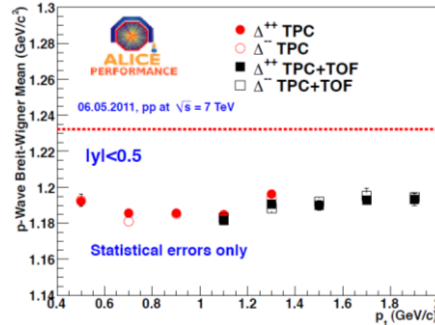
**Şekil 3.** STAR deneyinde ölçülmüş  $200 \text{ GeV}$  kütle merkezi enerjili ( $\sqrt{s_{NN}}$ ) orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde döteron-altın (d+Au) (a) ve proton-proton (pp) (b) çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonansının  $0.6 < p_T < 0.8 \text{ GeV}/c$  enine momentum aralığı için değişmez kütle dağılımları [18]. Grafiklerdeki hata çubukları istatistik belirsizlikleri göstermektedir. Rezonans dağılımları faz uzay faktörü uygulanmış p-dalga Breit - Wigner fonksiyonu ile modellenmiştir ve grafiklerde siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Rezonansa ait olmayan proton-pilyon çiftleri lineer fonksiyon kullanılarak modellenmiştir ve grafiklerde kesik çizgiler ile gösterilmiştir.

$\Delta(1232)^{++}$  rezonansı izospin değeri  $I = 3/2$ , toplam açılal momentumu  $J = 3/2$  ve yörünge açılal momentumu  $l = 1$  olan bir pilyon-nükleon durumudur. Bu durumun  $P_{33}(1232)$  kuantum hali ile ifade edilmesi sebebiyle rezonans dağılımları *faz uzay faktörü* (*phase space factor - PSF*) uygulanmış p-dalga Breit - Wigner fonksiyonu ile tanımlanır [22, 23, 24, 25]. Şekil 3'de siyah çizgiler  $\Delta(1232)^{++}$  rezonans dağılımlarının faz uzay faktörü uygulanmış p-dalga Breit - Wigner fonksiyonu ile modellenmesini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi fon dağılımlarının çıkartılmasına rağmen dağılımlarında rezonansa ait olmayan proton-pilyon çiftleri gözlenmektedir. Bu aralan çiftlerin dağılımı Gauss fonksiyonu ya da lineer fonksiyon kombinasyonları kullanılarak tanımlanabilir. Şekil 3'de kesik çizgiler bu çiftlerin lineer fonksiyon kullanılarak modellenmesini

göstermektedir [18]. Faz uzay faktörü uygulanarak elde edilen p-dalga Breit - Wigner fonksiyonu ile parçacığın farklı enine momentum aralıkları için kütle ve rezonans genişlikleri elde edilir. Şekil 4'de STAR deneyi  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV enerjili orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde d+Au ve pp çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonanslarının  $0.2$  ile  $1.6$  GeV/c  $p_T$  aralığı için değişmez kütle değerleri gösterilmiştir [18]. Şekilde düz çizgiler rezonansın Parçacık Data Grubunda (PDG) [16] tarafından belirtilmiş referans kütle değerini ( $1.232$  GeV/c<sup>2</sup>) temsil etmektedir. STAR deneyinde yapılan bu iki çalışma rezonansın kütlelerinde enine momentuma bağlı bir kayma olduğunu tespit etmiştir.



**Şekil 4.** STAR deneyinde ölçülmüş olan  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV enerjili orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde döteron-altın (d+Au) (sol) ve proton-proton (pp) (sağ) çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonansının  $0.2 - 1.6$  GeV/c  $p_T$  aralığı için kütle değerleri [18]. Grafiklerdeki hata çubukları istatistiksel belirsizlikleri parantezler ise sistematik belirsizlikleri göstermektedir. Düz çizgiler rezonansın PDG tarafından yayınlanmış kütle değerini göstermektedir.



**Şekil 5.** ALICE deneyinde ölçülmüş olan  $\sqrt{s} = 7$  TeV orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) pp çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  ve  $\bar{\Delta}(1232)^{-}$  rezonanslarının  $0.4 < p_T < 2.0$  GeV/c aralığı için kütle değerleri [26]. Grafikteki hata çubukları istatistiksel belirsizlikleri temsil etmektedir. Kesikli çizgi rezonansın PDG tarafından kabul edilmiş kütle değerini göstermektedir.

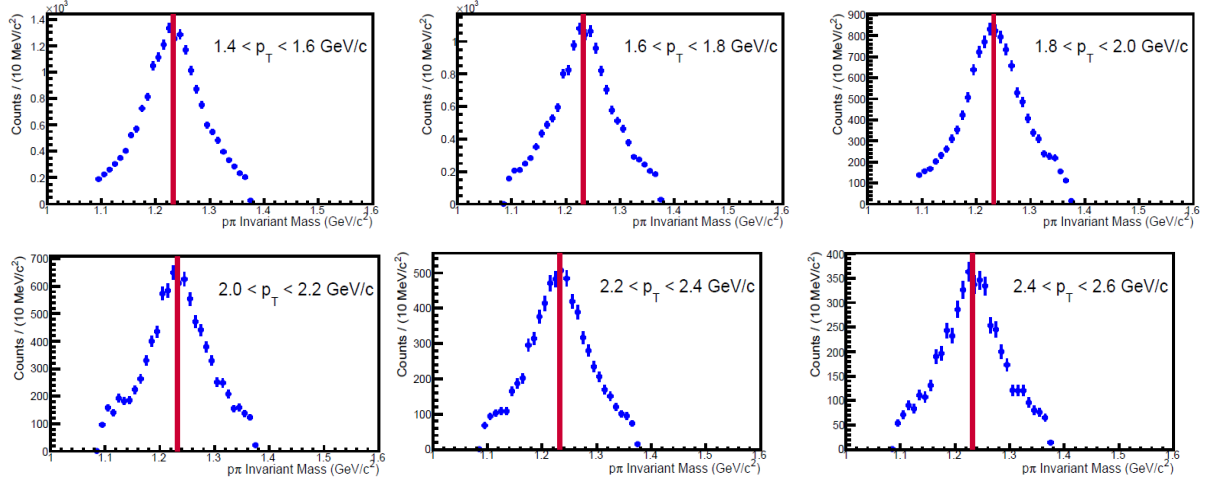
$\Delta(1232)^{++}$  kütle ölçümleri daha yüksek enerjiler için ALICE deneyinde çalışılmıştır. Şekil 5'de ALICE deneyi  $\sqrt{s} = 7$  TeV enerjili orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde pp çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  ve  $\bar{\Delta}(1232)^{-}$  rezonanslarının  $0.4 < p_T < 2.0$  GeV/c aralığı için kütle değerleri gösterilmiştir [26]. Şekilde kesikli çizgiler rezonansın PDG[16] tarafından yayınlanmış kütle değerini ifade etmektedir. ALICE deney sonuçları rezonansın kütlelerinde enine momentuma bağlı bir kayma olduğunu göstermiştir.

### B. Monte Carlo (MC) Simülasyonu ile $\Delta(1232)^{++}$ Kütle Değerlerinin Elde Edilmesi

Bu araştırmada,  $\Delta(1232)^{++}$  rezonanslarının yüksek enerjili çarpışma sistemlerinde oluşumları Monte Carlo olay üreticilerinden biri olan DPMJET-III ile çalışılmıştır [27]. Bu model Dtunuc-2 [28, 29], Dpmjet-II [30, 31] ve Phojet1.12[32, 33] olay üreticilerinin birleştirilmiş versiyonudur [27]. DPMJET-III, birkaç GeV' den yüksek enerjilere ( $\sim 10^{11}$  GeV/nükleon) kadar hadron-hadron, hadron-çekirdek, çekirdek-çekirdek, foton-hadron, foton-foton ve foton-çekirdek etkileşimlerinin simülasyonunu sağlar. DPMJET-III modeli Gribov-Glauber formalizmi [34, 35, 36] ile bağlantılı olarak Çiftli Parton Modeline [37] dayanmaktadır. Bu olay üreticisinde parton model kullanılarak oluşturulan hadronların yüksek enerjilerde çarpışmaları analiz edilir ve Gribov-Glauber formalizmi ile çekirdek-çekirdek çarpışmaları nükleon etkileşimleri düzeyinde açıklanır [34, 35, 36]. Parçacıkların sicim parçalanma süreçleri ile oluştuğu DPMJET- III modeli, yumuşak ve sert saçılma olaylarını birleşik bir şekilde ele alır. Yumuşak olaylar Reggeon teorisine göre parametrelendirilirken, pertürbatif Kuantum Renk Dinamiği

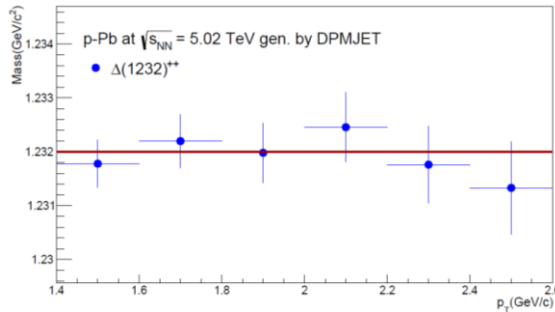


(KRD)sert olayları tanımlamak için kullanılır [27]. Modelde çoklu parton etkileşimleri için PHOJET olay oluşturucusu ve parton konfigürasyonlarının parçalanması için PYTHIA Lund modeli kullanılır [27].



Şekil 6. DPMJET olay üretici ile elde edilmiş  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV enerjili p-Pb çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  parçacığının 1.4 – 2.6  $p_T$  aralığı için değişmez kütle dağılımı. Şekilde kırmızı çizgiler parçacığın PDG tarafından kabul edilmiş kütle değerini temsil etmektedir.

DPMJET-III olay üreticisinde  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV enerjili proton kurşun (p – Pb) çarpışmaları sonucu oluşan  $105.9 \times 10^6$  olay analiz edilmiştir. Bu olaylarda parçacık tanımlaması kullanılarak 1.4 ile 2.6 GeV/c  $p_T$  aralığında  $66.3 \times 10^3 \Delta(1232)^{++}$  elde edilmiştir. Elde edilen rezonanslar 6 farklı enine momentum aralığında (1.4 – 1.6, 1.6 – 1.8, 1.8 – 2.0, 2.0 – 2.2, 2.2 – 2.4 ve 2.4 – 2.6 GeV/c) incelenmiştir ve Şekil 6’da bu aralıklarındaki dağılımları gösterilmiştir. Şekilde kırmızı çizgiler parçacığın PDG tarafından kabul edilmiş kütle değerini göstermektedir.



Şekil 7. DPMJET olay üretici ile elde edilmiş  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV enerjili p – Pb çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonanslarının 1.4 – 2.6  $p_T$  aralığı için elde edilmiş kütle değerleri. Grafikte kırmızı çizgi parçacığın PDG tarafından kabul edilmiş kütle değerini ve hata çubukları istatistiksel belirsizlikleri göstermektedir.

$\Delta(1232)^{++}$  rezonansının kütlesi Şekil 6’da gösterilen dağılımlar kullanılarak 1.4 ile 2.6 GeV/c enine momentum aralığı için elde edilmiştir. Şekil 7’de parçacığın elde edilen kütlesinin enine momentuma bağlı değişimi yer almaktadır. Rölativistik çarpışma deneylerinde gözlemlenen rezonansın kütlesindeki enine momentuma bağlı kayma, spektral fonksiyonların hesaba katıldığı modeller kullanıldığında hesaplanabilmektedir [38]. Fakat PYTHIA ve PHOJET gibi sicim teorisine dayalı Monte Carlo olay üreticilerinde rölativistik spektral dalga fonksiyonları yerine sabit genlik değerine sahip Breit - Wigner fonksiyonları kullanılması nedeniyle kütesel kaymaların benzetimi bu olay üreticileri ile yapılamamaktadır [39, 40]. Bu sebeple şekilde gösterildiği gibi DPMJET-III ile elde edilen  $\Delta(1232)^{++}$  kütle değerlerinde enine momentuma bağlı bir kayma gözlenmemiştir.

### III. SONUÇLAR

$\Delta(1232)^{++}$  baryonik rezonansı rölativistik çarpışmalarda oluşan KGP fazı ile yaklaşık aynı yaşam süresine sahip protonun uyarılmış bir durumudur. Bulduğu ortamın kütle ve rezonans genişliği gibi karakteristik özelliklerini etkilenmesi,  $\Delta(1232)^{++}$  oluşumları incelenerek çarpışmalarda oluşan sistem dinamiğinin anlaşılmasına olanak sağlar. STAR deneyinde  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV enerjili orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde d+Au ve pp çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  rezonanslarının 0.2 ile 1.6 GeV/c enine momentum aralığında kütle değerleri incelenmiştir. Ayrıca ALICE deneyinde  $\sqrt{s} = 7$  TeV enerjili orta hızlılık ( $|y| < 0.5$ ) değerlerinde pp çarpışmaları sonucu oluşan  $\Delta(1232)^{++}$  ve  $\bar{\Delta}(1232)^{-}$  rezonanslarının 0.4 ile 2.0 GeV/c enine momentum aralığı için kütle değerleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar  $\Delta(1232)^{++}$  rezonansının çarpışma sisteminden bağımsız olarak kütle değerlerinde enine momentuma bağlı bir kayma olduğunu göstermiştir. Bu durum, rezonansların sahip oldukları kısa yarı ömür nedeniyle ve buldukları ortamın yoğunluğu ve sıcaklığının etkisiyle kütle gibi karakteristik özelliklerinin değiştiği görüşü ile açıklanabilir.  $\Delta(1232)^{++}$  rezonans oluşumları Monte Carlo olay üreticilerinden biri olan ve parçacık oluşumlarının sicim teorisine dayandığı DPMJET – III ile üretilmiş  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV enerjili p-Pb çarpışmalarında incelenmiştir. Bu çalışmada parçacık tanımlaması yapılarak baryonik rezonansların değişmez kütle dağılımı 1.4 ile 2.6 GeV/c enine momentum aralığı için elde edilmiştir. Simülasyonda  $105.9 \times 10^6$  olay analiz edilmesine rağmen bu olaylardan seçili enine momentum aralığında yaklaşık %0.06'si kadarında  $\Delta(1232)^{++}$  olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç simülasyonun bu rezonansları ölçülenden daha az ürettiğini göstermektedir. Dağılımlardan elde edilen değerler enine momentuma bağlı incelendiğinde rezonansın kütesinde herhangi bir kayma gözlenmemiştir. Bu durum modelde sabit genlik değerine sahip Breit - Wigner fonksiyonları kullanılması sebebiyle kütleli kaymaların benzetiminin yapılamaması ile açıklanır. Ayrıca bu durum modellemede etkileşim kanallarının çok kısa yarı ömre sahip rezonans oluşumları için yetersiz olduğu görüşünü destekler.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma 119F302 numaralı TÜBİTAK-1001 projesi ve 2019TAEK(CERN)A5.H1.F5-23 numaralı TAEK projesi ile desteklenmiştir.

### KAYNAKLAR

- [1] LHC Study Group (1995). The Large Hadron Collider Conceptual Design Report, CERN/AC 95-05.
- [2] Bryant, P. & Evans L. (2008). LHC Machine. *Journal of Instrumentation*, 3, S08001. doi: 10.1088/1748-0221/3/08/S08001.
- [3] Harrison, M., Ludlam, T. & Ozaki, S. (2003). RHIC Project over view. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 499, 235–244.
- [4] Alice Collab. (2014). Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC. *International Journal of Modern Physics A*, 29, 1430044. doi:10.1142/S0217751X14300440
- [5] Star Collab. (2003). STAR detector overview. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 499, 624–632. doi: 10.1016/S0168-9002(02)01960-5.
- [6] Phenix Collab. (2003). PHENIX detector overview. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 499, 469–479.
- [7] Tawfik, A. & Shalaby, A. G. (2015). Balance Function in High-Energy Collisions. *Advances in High Energy Physics*, 186812.
- [8] Markert, C. (2005). What do we learn from Resonance Production in Heavy Ion Collisions? *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 31 (4), 169–178.
- [9] Torrieri, G. & Rafelski, J. (2001). Strange Hadron Resonances as a Signature of Freeze-Out Dynamics. *Physics Letters B*, 509, 239–245.
- [10] Bleicher, M. & Aichelin, J. (2002). Strange resonance production: Probing chemical and thermal freeze-out in relativistic heavy ion collisions. *Physics Letters B*, 530(1-4), 81-87.
- [11] Gyulassy, M. (2003). *The QGP discovered at RHIC*. Paper presented at the Proceedings of the NATO Advanced Study Institute: Structure and Dynamics of Elementary Matter, Kemer, Turkey.
- [12] Phenix Collab. (2005). Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: experimental evaluation by the PHENIX Collaboration. *Nuclear Physics A*, 757 (1–2), 184–283.
- [13] Phobos Collab. (2005). The PHOBOS perspective on discoveries at RHIC. *Nuclear Physics A*, 757(1–2), 28–101.

- [14] Star Collab. (2005). Experimental and theoretical challenges in the search for the quark–gluon plasma: the STAR Collaboration’s critical assessment of the evidence from RHIC collisions. *Nuclear Physics A*, 757, 102–183.
- [15] Brahms Collab. (2005). Quark-gluon plasma and color glass condensate at RHIC? The perspective from the Brahms experiment. *Nuclear Physics A*, 757 (1–2), 1–27.
- [16] Particle Data Group Collab. (2018). Review of particle physics. *Physics Review D*, 98, 030001.
- [17] Bleicher, M. & Aichelin, J. (2002). Strange resonance production: Probing chemical and thermal freeze-out in relativistic heavy ion collisions. *Physics Letters B*, 530(1-4), 81-87.
- [18] Star Collab. (2008). Hadronic resonance production in d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV at RHIC. *Physics Review C*, 78, 044906. doi:10.1103/PhysRevC.78.044906
- [19] Particle Data Group Collab. (2014). *Chinese Physics C*, 38, 090001.
- [20] Hote, D. (1994). About Resonance Signal Extraction From Multi particle Data: Combinatorics and Event Mixing Methods. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 337, 544–556.
- [21] Star Collab. (2005).  $K^*(892)$  Resonance Production in Au+Au and p+p Collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV at STAR. *Physics Review C*, 71, 064902.
- [22] Rapp, R. (2003).  $\pi^+$   $\pi^-$  Emission in High-Energy Nuclear Collisions. *Nuclear Physics A*, 725, 254–268.
- [23] Shuryak, E. V. & Brown, G. (2003). Matter-induced modification of resonances at RHIC freezeout. *Nuclear Physics A*, 717, 322–335.
- [24] Star Collab. (2002). Coherent  $\rho^0$  Production in Ultra peripheral Heavy-Ion Collisions. *Physics Review Letter*, 89, 272302.
- [25] Kolb, P. F., & Prakash, M. (2003). Spectroscopy of resonance decays in high-energy heavy-ion experiments. *Physics Review C*, 67, 044902.
- [26] Alice Collab. (2012). *Study of short-lived resonances with the ALICE experiment at the LHC*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd International Conference on Particle Physics: In Memoriam Engin Arik and Her Colleagues, Istanbul, Turkey.
- [27] Roesler, S., Engel, R. & Ranft, J. (2000). *The Monte Carlo event generator DPMJET-III*. SLAC-PUB-8740, 1033–1038.
- [28] Ranft, J. (1995). Dual parton model at cosmic ray energies. *Physics Review D*, 51 (1), 64–84.
- [29] Ranft, J. (1999). DPMJET version II.5: Sampling of hadron-hadron, hadron-nucleus and nucleus-nucleus interactions at accelerator and cosmic ray energies according to the two-component dual parton model: Code manual, Preprint University of Siegen SI-99-6.
- [30] Engel, R., Ranft, J. & Roesler, S. (1997). Photo production off nuclei and point like photon interactions. I. Cross sections and nuclear shadowing. *Physics Review D*, 55, 6957.
- [31] Roesler, S., Engel, R. & Ranft, J. (1998). Photo production off nuclei: Particle and jet production. *Physics Review D*, 57, 2889.
- [32] Engel, R. (1995). Photo production within the two component dual parton model. 1. Amplitudes and cross-sections. *Zeitschrift für Physik C Particles and Fields*, 66, 203–214.
- [33] Engel, R. & Ranft, J. (1996). Hadronic photon-photon interactions at high energies. *Physics Review D*, 54, 4244.
- [34] Glauber, R. J. (1959). *Lectures in Theoretical Physics*. Interscience, New York, Volume 1, 315.
- [35] Gribov, V. N. (1969). Glauber corrections and the interaction between high-energy hadrons and nuclei. *Soviet Physics - The Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 29, 483.
- [36] Gribov, V. N. (1970). Interaction of gamma quanta and electrons with nuclei at high-energies. *Soviet Physics - The Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 30, 709.
- [37] Capella, A., Sukhatme, U., Tan, C.I. & Tran Thanh Van, J. (1994). Dual parton model. *Physics Reports*, 236 (4–5), 225–329.
- [38] Hees, H. & Rapp, R. (2018). Delta (1232) and Nucleon Spectral Functions in Hot Hadronic Matter. *Physics Letter B*, 606, 59–66.
- [39] Weil, J. (2008). *Dilepton Production in Elementary Nuclear Reactions within a BUU Transport Model*. Diploma Tezi, Justus Liebig University, Teorik Fizik Enstitüsü, Giessen.
- [40] Sjostrand, T., Mrenna S. & Skands P. (2006). PYTHIA 6.4 Physics and Manual. *Journal of High Energy Physics*, 026. doi:10.1088/1126-6708/2006/05/026

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Effect of Reactive and Non-Reactive Diluent on Mechanical Properties of Epoxy Resin

### Reaktif ve Reaktif Olmayan Seyreltici İlavesinin Epoksinin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Ömür Aras<sup>1</sup>, Yunus Kaya<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 07/01/2021*

*Revize / Revised: 24/01/2021*

*Kabul / Accepted: 01/02/2021*

#### ABSTRACT

Epoxy resins, which are frequently preferred among thermoset plastics in the industry, are materials with high viscosity, and good mechanical performance. The biggest disadvantage of epoxy resins is that they encounter difficulties in application alone due to their high viscosity. For this reason, various diluents are added to reduce their viscosity and applications are conducted. In this study, the mechanical properties of the epoxy resin, which is used in many fields, were observed with the addition of certain sizes of reactive and non-reactive diluents. Diglycidyl ether was used as the reactive diluents, and benzyl alcohol was used as the non-reactive diluent. In addition, ethylene diamine and diethylene triamine were used as curing agents. It was tried to determine the optimum modification of the hardened epoxy resin by measuring the mechanical strengths in the electromechanical test device. The results indicated the optimum composition that does not dramatically affect the mechanical performance of the epoxy resin is the composition containing 7.5% DE and 10% EDA, its tensile strength measured as 53.27 N/mm<sup>2</sup>.

*Keywords- Epoxy Resin, Viscosity, Mechanical Properties, Reactive and Non-Reactive Diluent*

#### ÖZ

Endüstride termoset plastikler arasında sıklıkla tercih edilen epoksi reçineler yüksek viskoziteye sahip, mekanik performansları oldukça iyi olan malzemelerdendir. Epoksi reçinelerinin en büyük dezavantajı, yüksek viskoziteleri sebebiyle tek başlarına uygulamada zorluklar ile karşılaşılmasıdır. Bu nedenle, viskozitelerini düşürmek amacıyla çeşitli diluentler eklenerek uygulamaları yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında birçok alanda kullanılan epoksi reçinenin, belirli ölçülerde reaktif ve reaktif olmayan seyreltici ilavesiyle mekanik özelliğindeki değişimler gözlemlendi. Çalışmada reaktif diluent olarak diglisidil eter, non-reaktif diluent olarak ise benzil alkol kullanıldı. Kürlenme ajanı olarak ise etilen diamin ve dietilen triamin kullanıldı. Sertleştirilmiş epoksi reçinenin elektromekanik test cihazında mekanik dayanımını ölçülerek optimum modifikasyonu belirlenmeye çalışıldı. Elde edilen sonuçlar, epoksi reçinesinin mekanik performansını önemli ölçüde etkilemeyen optimum bileşimin % 7.5 DE ve % 10 EDA içeren bileşim olduğunu, bu numunenin gerilme mukavemetinin 53.27 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçüldüğünü gösterdi.

*Anahtar Kelimeler- Epoksi Reçinesi, Viskozite, Mekanik Özellik, Reaktif ve Reaktif Olmayan Seyreltici*

<sup>1</sup>İletişim: [omur.aras@btu.edu.tr](mailto:omur.aras@btu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-4577-028X>)

*Kimya Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa, Türkiye*

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [yunus.kaya@btu.edu.tr](mailto:yunus.kaya@btu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-7228-2340>)

*Kimya Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa, Türkiye*

## I. INTRODUCTION

Diglycidyl ether of bisphenol (DGEBA) A is the most used epoxy and its viscosity varies depending on the number of repeating units (n) and molecular weight (Figure 1).

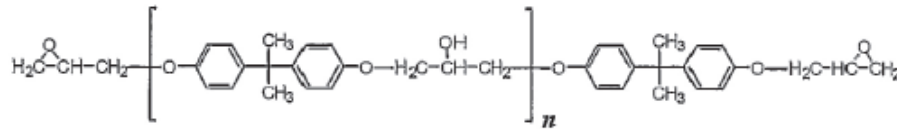


Figure 1. Molecular structure of epoxy resin (DGEBA)

While the use of epoxy resins as binders for many materials is the biggest advantage, their high viscosity is their biggest disadvantage. As such, it represents a promising field of material research. It is known that the addition of reactive or non-reactive diluents in certain proportions by weight reduces the strength of binders relatively, and thus, a certain reduction in the strength of the cured product is observed by further increasing the diluent content [1-5]. Great emphasis is placed on the use of reactive diluents and modifiers that cause effective changes in the polymerization step as well as reduce viscosity effectively [1, 6]. Study of these diluents is necessary because of both practical problems and very limited knowledge of the effect of diluent addition on the chemical and physical properties of epoxy polymers [7]. On the other hand, these diluents cost much more than non-reactive diluents. Therefore, it is useful to perform an optimum study in which reactive and non-reactive diluents coexist.

In this study, the epoxy resin synthesized in the laboratory ( $E_w = 195$  g/mol), glycidyl ether as the reactive diluent, benzyl alcohol as the non-reactive diluent and ethylene diamine and diethylene triamine as curing agents were used (Figure 2).

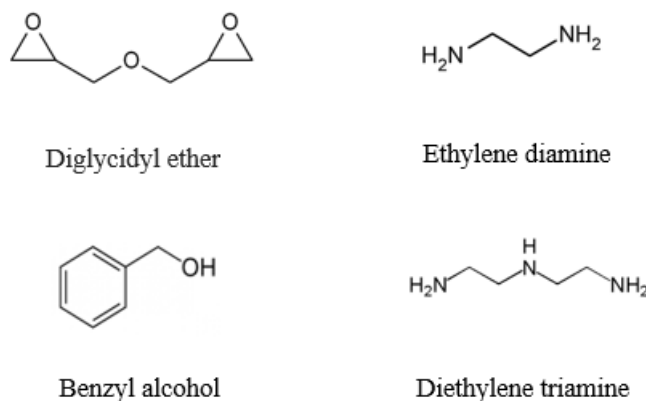


Figure 2. Molecular structure of glycidyl ether, benzyl alcohol, ethylene diamine and diethylene triamine

## II. EXPERIMENTAL METHOD

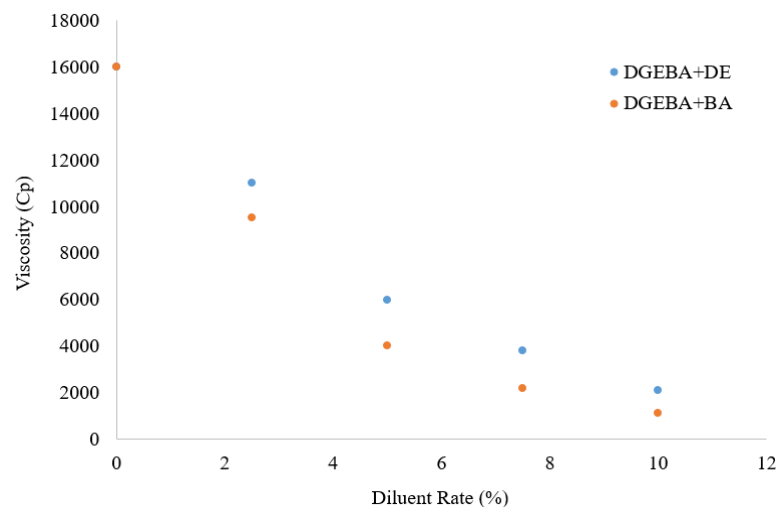
The epoxy resin used in this study is diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) was synthesized as literature procedure [8]. The glycidyl ether, benzyl alcohol, ethylene diamine, and diethylene triamine are the most widely used diluents, and hardener were purchased from sigma and used without purification. The amounts of hardeners are determined from the stoichiometry calculations of DGEBA and amines. The amounts of hardener and diluents using in this study are listed in Table 1. All samples created by mixing at the rates listed in Table 1 were poured onto silicone molds. Samples were kept at room temperature during gelling. The samples that started to gel, the samples placed in the oven set at 70 °C were kept here for 24 hours. Mechanical properties of epoxy samples were examined by using tensile tester (Shimadzu AGS-X Series), elastic modulus and percent (%) elongation values were determined. Tensile tests 2 mm / min. It was carried out at room temperature at drawing speed. In addition, the viscosities of the resin and diluent mixtures were measured using a Brookfield viscometer.

**Table 1.** The amounts of hardener and diluents for each sample

Samples	Diluents (%)		Hardener (%)	
	Diglycidyl ether (DE)	Benzyl alcohol (BA)	Ethylene diamine (EDA)	Diethylene triamine (DETA)
1	-	-	10.0	-
2	10.0	-	10.0	-
3	-	10.0	10.0	-
4	10.0	10.0	10.0	-
5	-	-	-	10.0
6	10.0	-	-	10.0
7	-	10.0	-	10.0
8	10.0	10.0	-	10.0
9	5.0	-	10.0	-
10	-	5.0	10.0	-
11	5.0	5.0	10.0	-
12	5.0	-	-	10.0
13	-	5.0	-	10.0
14	5.0	5.0	-	10.0
15	2.5	-	10.0	-
16	-	2.5	10.0	-
17	2.5	2.5	10.0	-
18	2.5	-	-	10.0
19	-	2.5	-	10.0
20	2.5	2.5	-	10.0
21	7.5	-	10.0	-
22	-	7.5	10.0	-
23	7.5	7.5	10.0	-
24	7.5	-	-	10.0
25	-	7.5	-	10.0
26	7.5	7.5	-	10.0

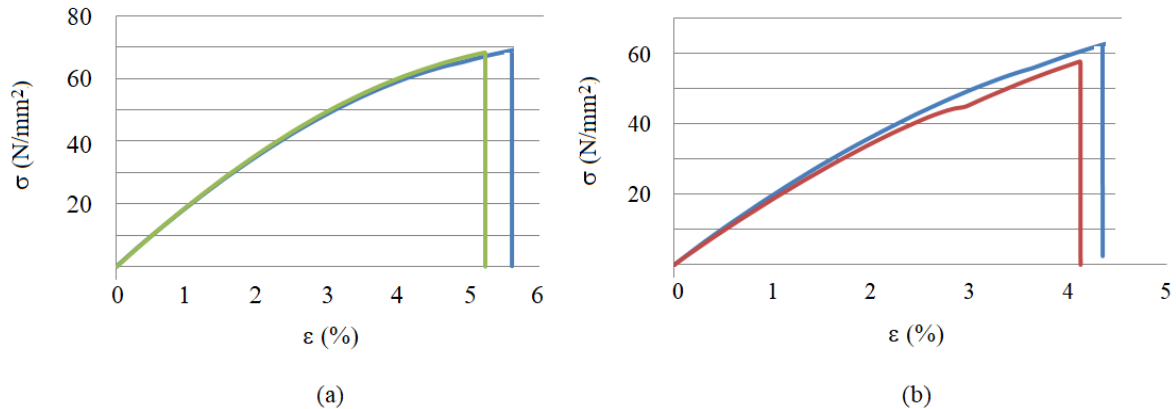
### III. RESULTS AND DISCUSSION

Epoxy resin was synthesized as written in the literature [8], and characterized by FTIR and NMR measurements. The viscosity of the synthesized DGEBA resin was measured 16200 cp. In addition, the equivalent epoxide weight (EEW) value of the synthesized epoxy was calculated as 206 g / eqv from the NMR spectrum. Dilution was applied to make this resin applicable in industry. Twelve different epoxy mixtures were obtained by adding diluents in different proportions. The viscosity variations of DGEBA resin containing different amounts of the diluents, diglycidyl ether and benzyl alcohol are shown in Figure 3. With the addition of diluent, viscosities drop as expected. The highest viscosity is observed in pure epoxy resin. In addition, the viscosity value obtained by adding the same proportion of benzyl alcohol was measured lower than the addition of diglycidyl ether [9].



**Figure 3.** Variation of viscosity of resin with diluents rate

The mechanical properties of DGEBA resins (i.e. tensile strength  $\sigma$ , elastic module E and strain at break  $\varepsilon$ ) were determined from tensile tests. The tensile stress-strain curves of pure DGEBA resin cured with amines, EDA (1) and DETA (5) were given in Figure 4. In addition, the mechanical properties of the 26 samples obtained by adding diluents in different ratios are listed in Table 2. The tensile stress-strains of pure DGEBA, 1 and 5 were measured at 68.20 and 60.75 N/mm<sup>2</sup>, respectively. In general, the addition of diluents reduced both tensile strength  $\sigma$  and elastic module E.



**Figure 4.** Stress-strain curves of the pure epoxy resin with curing (a) EDA (b) DETA

**Table 2.** Mechanical properties of DGEBA resins with different diluents and hardeners.

Samples	Tensile strength, $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	Strain at break, $\varepsilon$ (%)	Elastic module, E (N/mm <sup>2</sup> )
1	68.20	5.68	1974.14
2	52.71	4.57	1912.27
3	47.97	5.75	1743.89
4	14.46	20.28	880.68
5	60.75	4.34	2046.97
6	46.47	5.42	1617.36
7	37.87	5.93	1781.31
8	25.46	11.79	1080.16
9	53.27	7.19	1787.13
10	49.22	5.72	1916.44
11	41.48	4.67	1850.53
12	51.29	3.52	1937.26
13	50.26	4.12	2088.49
14	49.56	5.50	1787.62
15	60.67	5.35	1852.99
16	48.59	4.42	1910.55
17	50.83	4.26	1946.28
18	59.31	6.13	1846.11
19	48.45	4.37	1817.69
20	55.30	6.46	1899.37
21	53.36	4.44	1938.07
22	38.25	4.42	1817.02
23	20.74	7.64	1348.69
24	48.00	3.91	1818.94
25	26.72	2.01	1764.20
26	32.26	5.09	1583.01

The tensile stresses of different samples are compared in Figure 5 (a) and (b). Figure 5 (a) shows the variation of tensile stress with the addition of 10% DE, BA, and both. With the addition of 10% DE and BA, 52.71 and 47.97 N / mm<sup>2</sup> were measured, respectively. It was observed that the addition of BA decreased the stress more than the addition of DE. With the addition of both diluents the value dropped to 14.46 N / mm<sup>2</sup>. When Figure 5 (b) is examined, it is seen that the tensile stress of the samples with more diluent added by mass decreases. When the graph is examined, the highest tensile stress was observed with 60,67 N / mm<sup>2</sup> in the sample 5. The difference between samples 1 and 5 is due to the curing agent. The samples 15, 9, 21 and 2 are samples diluted with 2.5, 5, 7.5 and 10% DE, respectively, and the tensile stresses of these samples were measured as 60.67, 53.27, 53.36 and 52.71 N / mm<sup>2</sup>, respectively. According to these results, with the use of both reactive and non-reactive diluents, the tensile stress decreases with increasing the number of diluents [10].

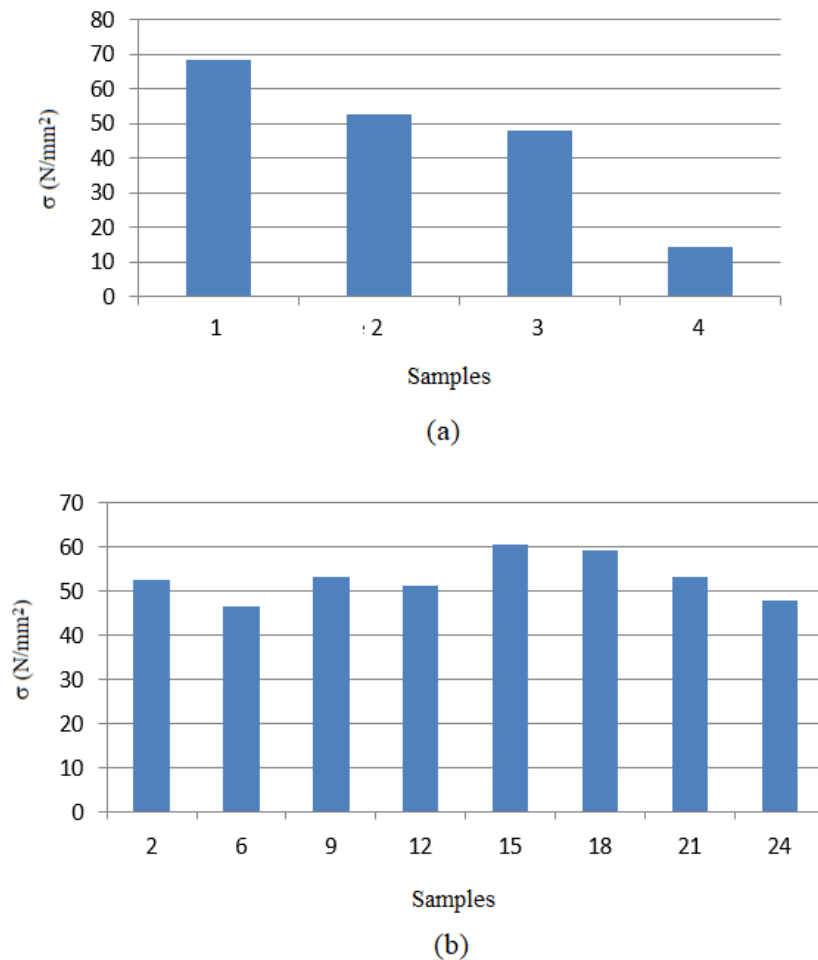


Figure 5. Stress-strain of (a) sample 1, 2, 3 and 4, (b) sample 2, 6, 9, 12, 15, 18, 21 and 24

#### IV. CONCLUSIONS

Epoxy resins are in the family of high viscosity thermoset plastics. Various diluents are added to reduce their viscosity in industry, as their application alone creates difficulties due to their high viscosity. In this study, by adding reactive and non-reactive diluents to epoxy resin, conditions providing optimum mechanical performance that would not critically affect the strength performance were determined. For this purpose, experiments were carried out in different proportions by mass based on the amount of epoxy resin using DE as a reagent and BA as a non-reactive. Considering the test results obtained as a result of the studies under the name of modification of epoxy resin, it was seen that using EDA as a hardener increased the mechanical performance. The



use of BA as a diluent also reduces the mechanical performance compared to the use of DE. Since there are epoxy groups in DE, the amount of hardener added is added according to the amount of epoxy resin and DE in the mixture. Therefore, the number of epoxy groups in the mixture increases, and the amine groups in the hardener are cross-linked with more epoxy groups. This affects the mechanical performance positively. The results show that the optimum composition that does not dramatically affect the mechanical performance of the epoxy resin is the composition containing 7.5% DE and 10% EDA. In some applications in the industry, there is a need for thermoset plastics that provide satisfactory results in terms of both flexible and mechanical performance. According to the mechanical test results, using DE and BA together reduces the mechanical performance of the epoxy sample but increases the elongation performance. When the trials where both diluents were used together are compared, it is seen that the addition of 10% DGE and 10% BA increases the elongation performance critically. When this mixture is cured with EDA, the elongation performance increases, but its mechanical performance drops critically. When the same mixture is cured with DETA, optimum mechanical performance and elongation performance is achieved. The composition containing 10% DE, 10% BA and 10% DETA meets the desired flexibility and mechanical performance when high flexibility performance and moderate mechanical performance are required from epoxy resin.

#### REFERENCES

- [1] Lee, Ch. & Neville, K. (1973). *Spravochnoye rukovodstvo po epoksidnym smolam (Handbook of Epoxy Resins)*. Izd. Energiya.
- [2] Andreyevskaya, G.D. (1966). *Vysokoprochnye orientirovannye stekloplastiki (High Strength Oriented Glass-Fibre Reinforced Plastics)*. Izd. Lauka.
- [3] Qian, J. W., Miao, Y. M., Zhang, L. & Chen, H. L. (2002). Influence of viscosity slope coefficient of CA and its blends in dilute solutions on permeation flux of their films for MeOH/MTBE mixture, *J. Membr. Sci.* 203 (1–2), 167–173.
- [4] Shaw, S.J. (1993). Additives and modifiers for epoxy resins, in *Chemistry and Technology of Epoxy Resins*, in: B. Ellis (Ed.), *Springer Science + Business Media*, Dordrecht, 117–143.
- [5] Ozeren Ozgul, E. & Ozkul M.H. (2018). Effects of epoxy, hardener, and diluent types on the workability of epoxy mixtures, *Construction and Building Materials*, 158, 369–377.
- [6] Blakhman, Ye. M., Skrylova, L.V., Pozamantir, A.G. & Rosentuler, Sh.M. (1965). *Epoksidnye smoly na osnove mnogoatomnykh spirtov iikh primeneniye (Epoxy Resins Prepared from Polyhydric Alcohols and their Application)*. LDNTP. Kessenikh, R. M., Korshunova, L.A. & Petrov, A.V. (1972). *Vysokomol. soyed. A14*, 416 (Translated in *Polymer Sci. U.S.S.R.* 14, 2, 466).
- [8] Matejka, L., Dusek, K. & Dobas I. (1985). Curing of Epoxy Resins with Amines. *Polymer Bulletin*, 14, 309–315.
- [9] Maiorana, A., Yue, L. & Manas-Zloczower, I., Gross, R. (2016). Structure–property relationships of a bio-based reactive diluent in a bio-based epoxy resin, *J. Appl. Polym. Sci.* 43635, 1-8.
- [10] Urbaczewski-Espuche, E., Galy, J., Gerard, J., Pascault, J. & Sautereau, H. (1991). Influence of chain flexibility and crosslink density on mechanical properties of epoxy/amine networks. *Polym Eng Sci*, 31(22), 1572–1580.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Isı Enerjisi Depolayan Faz Değişim Malzemelerinin Üretimi

### Production of Phase Change Materials Storing Heat Energy

Çağlayan Açıkgöz<sup>1\*</sup>, Şenay Balbay<sup>2</sup>, İsmail Dal<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 15/01/2021*

*Revize / Revised: 31/01/2021*

*Kabul / Accepted: 31/01/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada, Parafin, Polietilen glikol 600, üç farklı yüzey aktif madde (Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit, Setil Trimetil Amonyum Klorür ve Kokoamidopropil Betain) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması sonucu elde edilen Geri Kazanılmış Karbon kullanılarak Organik Faz Değişim Malzemesi üretilmiştir. Organik Faz Değişim Malzemeleri basit bir karıştırma ve vakum emdirme yöntemiyle üretilmiştir. Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelere; faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak en yüksek faz değişim sıcaklık farkına sahip numuneler belirlenmiştir. Belirlenen bu numunelerin (FM13; FM20 ve FM26 Kodlu) kimyasal ve termal özellikleri, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrotometresi ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri cihazı kullanılarak belirlenmiştir. En yüksek enerji depolama kapasitesine (85,64 j/g) sahip numunenin; Setil Trimetil Amonyum Klorür yüzey aktif maddesi içeren FM-26 kodlu numune olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Faz Değişim Malzemesi, Isı Enerjisi Depolama, Yüzey Aktif Madde, PEG600, Karbon*

#### ABSTRACT

In this study, Organic Phase Change Material was produced using Paraffin, Polyethylene glycol 600, three different surfactants (Linear Alkyl Benzene Sulfonic Acid, Cetyl Trimethyl Ammonium Chloride and Cocoamidopropyl Betaine), and Recycled Carbon obtained as a result of chemical decomposition of waste tire. Organic Phase Change Materials are produced by a simple mixing and vacuum impregnation method. Samples were obtained in different compositions using different types of surfactants. Samples with the highest phase change temperature difference were determined by performing phase change temperature difference tests. The chemical and thermal properties of these samples (FM13; FM20 and FM26 Coded) were determined using Fourier Transform Infrared Spectrophotometer and Differential Scanning Calorimetry device. It was determined that the sample with the highest energy storage capacity (85.64 j/g) was FM-26 coded sample containing Cetyl Trimethyl Ammonium Chloride as surfactant.

**Keywords-** *Phase Change Material, Heat Energy Storage, Surfactant, PEG600, Carbon*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [caglayan.acikgoz@bilecik.edu.tr](mailto:caglayan.acikgoz@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-2195-6231>)

*Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [senay.balbay@bilecik.edu.tr](mailto:senay.balbay@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-0016-7973>)

*Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Atık Yönetimi Programı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, MYO, Bilecik, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [ismaildal7010@gmail.com](mailto:ismaildal7010@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-4346-912X>)

*Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Enerji, her çağda uygarlıkların ilerleyebilmesi ve insanların daha ferah bir yaşam sürdürebilmesi için önemli parametrelerden bir tanesini oluşturmaktadır. Enerjinin üretilebilmesi kadar depolanması da çok önemlidir. Enerji depolanarak taleplerin fazla olduğu dönemlerde taleplerin karşılanabilmesi veya enerjiye ihtiyaç duyulan zamanlarda depolanmış enerjinin kullanılabilir olması önemlidir. Bu nedenlerden dolayı enerji depolama sistemleri araştırılmaya ve kullanılan enerji depolama yöntemleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Enerji depolama sadece arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu azaltmakla kalmaz, aynı zaman da enerji sistemlerinin performansını ve güvenilirliğini arttırmada önemli bir rol oynar. Bir enerji depolama sistemindeki temel talepler, yüksek verimlilik, düşük kendi kendine deşarj, yüksek kapasite, yüksek şarj ve deşarj döngüleri, yüksek performans ve yüksek kamu kabulü ve düşük maliyetlerdir. Mevcut depolama teknolojileri ise tüm bu gereksinimleri karşılamamaktadır [1,2].

Üretilen enerjinin birden fazla depolanma yöntemi bulunmaktadır. Bu depolama yöntemlerinden termal enerji depolama yöntemi enerjinin yüksek veya düşük sıcaklıklar içerisinde geçici olarak depolanması olarak tanımlanabilmektedir. Termal (Isıl) Enerji Depolama yöntemleri ısı yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşurken, kimyasal yöntem tepkime ısısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşur. Termal enerji depolama, bir malzemenin iç enerjisinde bulunan duyulan ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı veya bunların kombinasyonu olarak depolanabilir. Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolama materyalin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıdır. Gizli ısı maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür [3,4]. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Isı depolama materyalinin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi, bu materyalin faz değiştirmesine neden olur. Uygun sıcaklık sınırlarında, depolama materyalinin faz değiştirmesi ile ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve gizli ısı değerleri yüksek olan materyallerden yararlanılır. FDM'ler depoladıkları enerjiyi katı faza geçişleri sırasında buldukları ortama serbest bırakır ve sıvı faza geçişleri sırasında ise ortamdan serbest bıraktığı miktar kadar enerjiyi geri alır. FDM'ler kullanılan malzemelerin özelliklerine göre büyük miktardaki enerjiyi depolayabilmektedir. FDM'lerin bazı kullanım alanları inşaat, tekstil, otomotiv ve elektronik sektörleridir [5-7]. Katı-Sıvı FDM'ler organik veya inorganik malzemeler olarak ayrılmaktadır. Organik malzemeler parafin mumları, yağ asitleri ve polietilen glikoller (PEG)'dir. İnorganik malzemeler tuz hidratlar, tuzlar ve metalik bileşiklerdir. Kristalleşebilen ve korozif olmayan malzeme olarak bilinen Organik Faz Değişim Malzemeleri (OFDM)'ler parafin ve parafin olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. OFDM'ler faz ayırımı olmadan sıvı faza ve tekrar faz ayırımı olmadan katı faza geçebilmektedir. Bu durumun sürekliliği, OFDM'leri diğer FDM'lerden daha önemli hale getirmektedir [8-10]. Parafinler kimyasal olarak inert yapıya sahiptir ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedirler. Aynı zamanda 500 °C'nin altında kararlı yapıda bulunmaktadır. Parafinlerin sıvı faz geçişleri sırasında az miktarda hacim değişimleri meydana gelmekte ve sıvı faza geçişleri sırasında düşük buhar basıncı oluşmaktadır. Parafinler kullanıldıkları sistemler içerisinde bir den fazla faz değişim işlemine tabi tutulabilmektedir. Gizli ısı depolama sistemlerinde FDM olarak teknik sınıf parafinlerin kullanılması maliyet açısından daha uygundur

Parafin olmayan OFDM'ler, farklı sistemlerde kullanılabilmesi için farklı türlerde bulunmaktadır. Bu malzemeler hem parafinlerin benzer özelliklerini hem de kendi özelliklerini taşımaktadır. Parafin olmayan malzemeler yağ asitleri, esterler, alkoller ve polietilen glikol (PEG) olarak incelenmektedir. Parafin olmayan bu maddelerin yanıcı ve aşındırıcı özellikleri bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara, alevlere ve oksitleyicilere maruz bırakılmamalıdır. Polietilen oksit (PEO) veya polioksietilen (POE) olarak bilinen polietilen glikolün (PEG) sonun da hidroksil grubu olan dimetil eter zincirlerini içermektedir ( $\text{HO}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2-\text{OH}$ ). Hem su içerisinde hem de organik bileşikler içerisinde çözünmektedir. PEG400 ve PEG600 gibi molekül ağırlıklarına göre değişen çeşitli PEG bileşikleri bulunmaktadır. Termal ve kimyasal olarak kararlı, yanıcı, toksik ve aşındırıcı olmamaları, düşük ısı iletkenliği ve uygun maliyetlere sahip olmaları gibi özelliklere sahiptir [11]. Sistemlerde kullanılan FDM'lerin düşük termal iletkenliği sebebiyle FDM'nin tüm potansiyelinin kullanımını engellemekte ve şarj-deşarj işlemleriyle ısı transferini yavaşlatmaktadır. FDM'lerin termal özelliklerini, gizli ısı kapasitelerini ve termal iletkenliklerini iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi karbon nano yapıların FDM'lere eklenmesidir. Karbon kaynağının FDM'lere etkilerini incelemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri; sıvı FDM'ye karbon nanotüp, karbon nanoför, grafen nano trombosit ve genişletilmiş grafit ilave edilerek karıştırma ve çalkalama işlemlerinin uygulanmasıyla farklı yükleri içeren karbon nano yapıların dağıtılması sonucunda nano kompozit karışımlar hazırlanmaktadır. Bu işlem ile karbonun FDM üzerindeki termal iletkenliği artmaktadır [12-16].

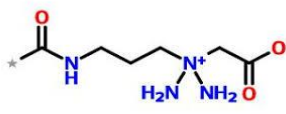
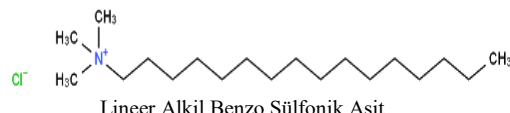
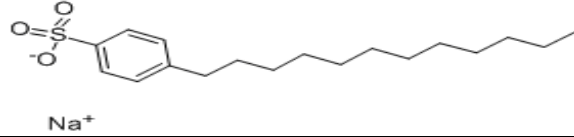
Yapılan bu çalışmada uygun maliyetli yüksek performanslı kararlı faz değişim malzemesinin basit bir yöntemle üretilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda; Parafin (PAR), Polietilen glikol 600 (PEG600), yüzey aktif maddeler (Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit (LABSA), Setil Trimetil Amonyum Klorür (Dehyquart ACA) ve Kokoamidopropil Betain (Dehyton PK 45) ve atık lastiğin kimyasal bozundurulması yöntemiyle elde edilmiş olan Geri Kazanılmış Karbon (GKK) kullanılarak farklı reçetelere bağlı kompozit OFDM numuneleri üretilmiştir. Çalışmada elde edilen numunelere sızıntı testi, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrotometresi (FTIR) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, GKK diğer birçok karbon malzemesinde olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı; PAR, PEG ve yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu ve ısının depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabilceği ve (Dehyquart ACA) yüzey aktif maddesinin enerji depolama kapasitesinde daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

### A. Materyal

1) *Kullanılan Malzemeler:* Deneylerde kullanılan (PAR); Mercan Kimya A.Ş., PEG 600; MERCK' den temin edilmiştir. Kullanılan yüzey aktif maddelerden Dehyquart ACA ve Dehyton PK 45; Veser Kimyevi Maddeler A.Ş. ve LABSA; AS Kimya A.Ş.'den numune olarak tedarik edilmiştir (Tablo 1). (GKK) Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde tamamlanan doktora tez çalışması kapsamında atık lastiğin kimyasal olarak bozundurulması yöntemiyle elde edilen karbonlu malzemedir [17].

Tablo1. Yüzey Aktif Maddelerin özellikleri

Sürfaktan Adı	Kimyasal Yapısı	Sürfaktan Türü
	Kokoamidopropil Betain (KB)	
Dehyton PK 45		Amfoterik
	Setil Trimetil Amonyum Klorür (CTAC)	
Dehyquart ACA		Katyonik
	Lineer Alkil Benzo Sülfonik Asit	
LABSA		Anyonik

2) *Kullanılan Alet ve Düzenekler:* Deneysel çalışmalarda Sartorius CPA 10003S marka hassas terazi ( $\pm 0,001$  g), MEMMERT marka etüv, FALC AT-MD marka mekanik karıştırıcı, C-MAG HS-7 marka ısıtıcı manyetik karıştırıcı, KNF Neuberger N026.1.2AN.18 marka vakum pompası, Cary 630Agilent Technologies marka FT-IR cihazı ve TA Instruments SDT 650 Simultane marka DSC analiz cihazı kullanılmıştır.

### **B. Metot**

OFDM 'lerinin hazırlanması için basit karıştırma ve vakum emdirme yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklığı 80 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda ilk olarak PAR eritilmiş ve daha sonra PEG600 eklenmiştir. Homojen karışım elde edildikten sonra sırasıyla yüzey aktif madde ve GKK eklenmiştir. Homojen karışım elde edilene kadar yaklaşık 4 saat boyunca malzemeler karıştırılmıştır. Vakum sistemi yardımıyla GKK'nın yüzey aktif madde, PEG600 ve PAR'ı absorplaması sağlanmıştır.

OFDM üretiminde farklı kompozisyona sahip 21 adet reçete kullanılmıştır. Numunelere ait reçetelerin kompozisyonları Tablo2'de verilmiştir. Üretilen OFDM numunelerine farklı kodlar verilmiş ve kilitli numune poşetlerinde saklanmıştır.

1) *Karakterizasyon*: OFDM numuneleri arasında en fazla ısı depolayan numuneleri belirlemek amacıyla faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılmıştır. En iyi sonuçların görüldüğü OFDM numunelerine sızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapılmıştır.

2) *Faz değişimi sıcaklık farkı*: İlk olarak oda sıcaklığında OFDM numunelerinin sıcaklığı ( $T_1$ ) termometre yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra kapalı bir sistemde bulunan sıcak ( $90\text{ }^\circ\text{C}$ ) suyun içerisinde OFDM' nin erime sıcaklığı ( $T_2$ ) ölçülmüştür. Denklem 1. kullanılarak OFDM' nin depoladığı ısı belirlenmiştir.[18]

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (1)$$

3) *Sızdırmazlık testi*: 1 gram OFDM numuneleri tartılarak süzgeç kağıdı üzerine çizilen 25 mm daire içine yerleştirilerek; etüv içinde  $65\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve 2 saat bekletilmiştir. OFDM numunelerinin sızdırmazlık yüzdesi ( $\eta$ ) Denklem 2. kullanılarak belirlenmiştir.[18]

$$\eta = (A_L / A_R) \times \%100 \quad (2)$$

$\eta$ : sızıntı yüzdesi,

$A_L$ : sızıntı alanı,

$A_R$ : referans alanı.

4) *FT-IR Analizi*: OFDM numuneleri ve kompoziti oluşturan bileşenlerinin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi yardımıyla belirlenmiştir. Analizler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum 100 model Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) ile yapılmıştır ve  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu tarama aralığında gerçekleştirilmiştir.

5) *Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi*: Diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), OFDM'lerin termal özelliklerini analiz etmek için kullanılmıştır. DSC analizleri  $5\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  ısıtma-soğutma hızıyla ve azot atmosferi altında yapılmıştır.

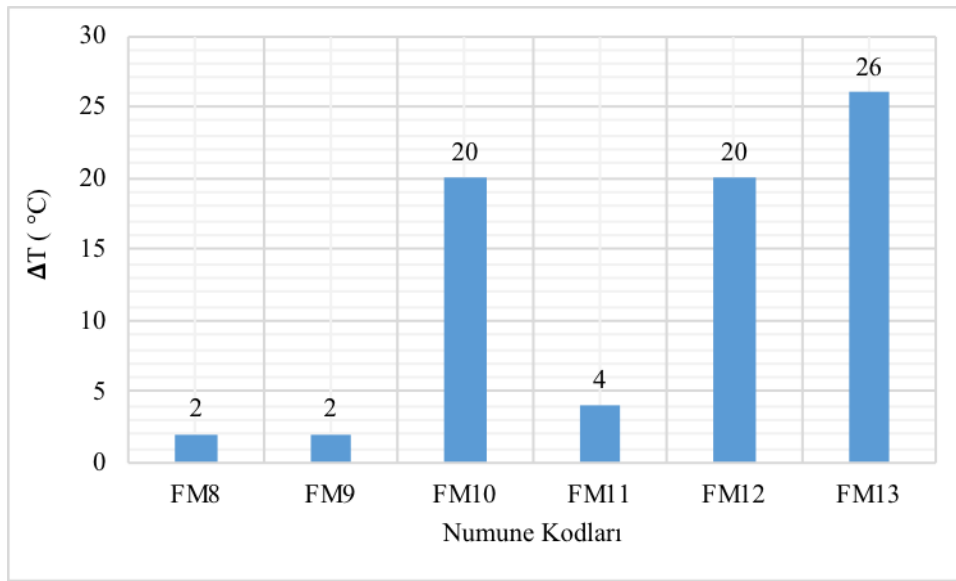
**Tablo 2.** Elde edilen numunelere ait reçetelerin kompozisyonları.

DENEY NO (Numune kodu)	KOMPOZİSYON %w/w			
	PEG 600	PAR	LABSA	GKK
1(FM-8)	30	30	35	5
	25	25	35	15
2(FM-9)	20	20	35	25
	30	10	35	25
3(FM-10)	20	20	35	25
	30	10	35	25
4(FM-11)	20	20	35	25
	10	30	35	25
5(FM-12)	20	20	35	25
	10	30	35	25
6(FM-13)	30	30	35	5
	25	25	35	15
7(FM-14)	20	20	35	25
	40	10	35	15
8(FM-15)	20	30	35	15
	20	30	35	15
9(FM-16)	20	20	35	25
	40	10	35	15
10(FM-17)	20	30	35	15
	20	30	35	15
11(FM-18)	20	30	35	15
	10	40	35	15
12(FM-19)	10	40	35	15
	10	40	35	15
13(FM-20)	30	30	35	5
	25	25	35	15
14(FM-20)	25	25	35	15
	20	20	35	25
15(FM-21)	40	10	35	15
	30	20	35	15
16(FM-22)	20	30	35	15
	40	10	35	15
17(FM-23)	30	20	35	15
	20	30	35	15
18(FM-24)	20	30	35	15
	10	40	35	15
19(FM-25)	20	30	35	15
	10	40	35	15

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Isı enerjisi depolamak amacıyla Parafin, PEG 600, yüzey aktif maddeler (LABSA, Dehyton PK 45 ve Dehyquart ACA) ve GKK kullanılarak OFDM numuneleri üretilmiştir. Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı testleri yapılarak en yüksek sıcaklık farkına sahip numuneler belirlenmiştir. Her bir reçete içinde yer alan en yüksek sıcaklık farkına sahip numunelere sızdırmazlık, FT-IR, DSC analizleri yapılmıştır.

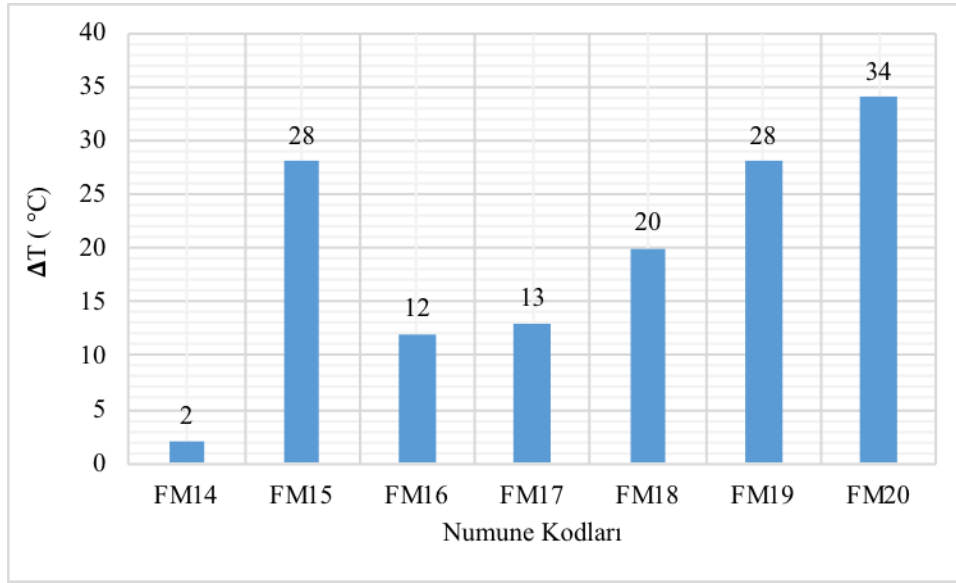
DeneySEL çalışmada elde edilen OFDM numunelerin kompozisyon içeriğinde bulunan yüzey aktif madde türüne bağlı olarak faz değişim sıcaklıklarının grafiksel gösterimi Şekil 1-3'te verilmiştir. Şekil 1' de numune kompozisyonunda yüzey aktif madde olarak LABSA anyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farklarını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 1. Labsa kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları

Labsa kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-13 kodlu numune de 26°C olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

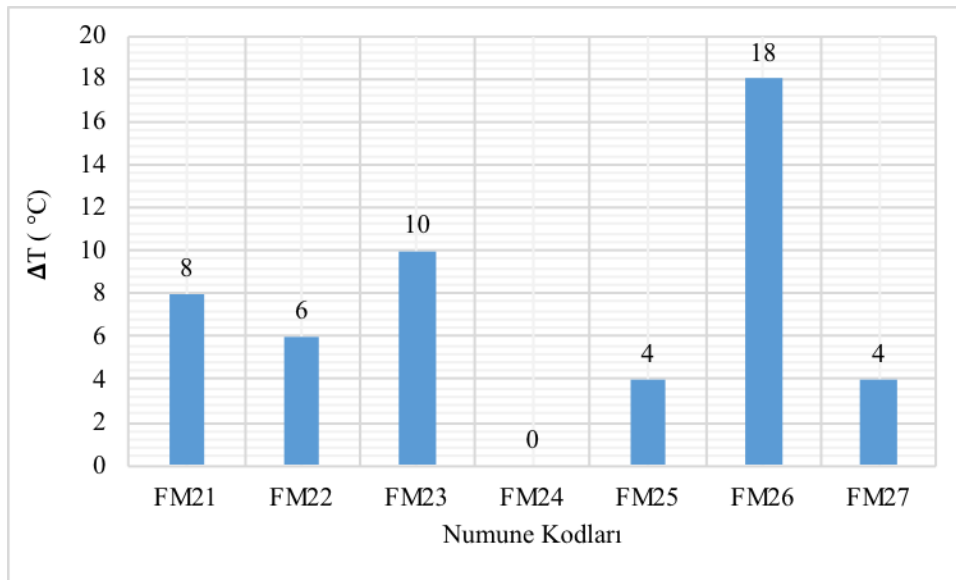
Şekil 2'de kompozisyonunda yüzey aktif madde olarak Dehyquart ACA (KB) katyonik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen OFDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları

Dehyquart ACA (KB) kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-20 kodlu numune de 34 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Şekil 3'te kompozisyonda yüzey aktif madde olarak Dehyton PK 45 amfoterik kimyasalının kullanıldığı deney numunelerinin faz değişim sıcaklık farkları grafiği verilmiştir.



Şekil 3. Dehyton PK 45 kullanılarak üretilen FDM numunelerinin faz değişim sıcaklık farkı



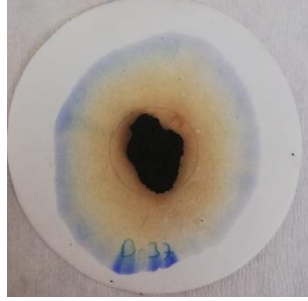
Dehyton PK-45 kullanılarak üretilen kompozit malzemeler içerisinde en yüksek faz değişim sıcaklık farkı, FM-26 kodlu numune de 18 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Farklı türdeki yüzey aktif maddelerin kullanıldığı farklı kompozisyonlarda elde edilen numunelerin faz değişim sıcaklık farkı sonuçlarına göre en yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numuneler sırasıyla; FM-13, FM-



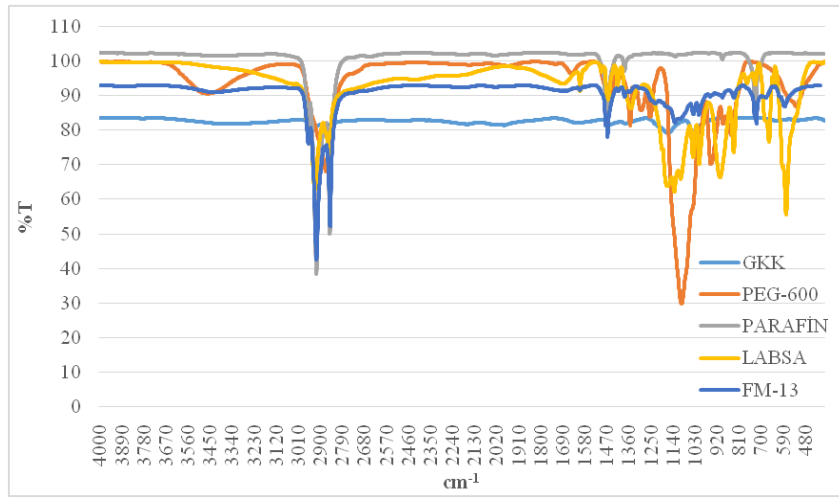
20 ve FM-26 kodlu numuneler olarak belirlenmiştir. Numunelere ait sızdırmazlık görünüşleri Tablo3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** En yüksek sıcaklık farkı değerine sahip numunelerin sızdırmazlık test sonuçları

Numune Kodu	Sızdırmazlık Testi Görşeli	Sızdırmazlık Verileri
FM-13		A <sub>L</sub> : 45mm A <sub>R</sub> : 25 mm η: 180
FM-26		A <sub>L</sub> : 45mm A <sub>R</sub> : 25 mm η: 180
FM-20		A <sub>L</sub> : 75mm A <sub>R</sub> : 25 mm η: 300

FM-13, FM-20, FM-26' kodlu numunelere uygulanan sızdırmazlık test sonuçları incelendiğinde hepsinin sızdırdığı gözlenmiştir. FM-13, FM-20, FM-26 kodlu numunelerin Denklem 2'ye göre hesaplanan sızıntı yüzdeleri sırasıyla 360, 180, 300 ve 180 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

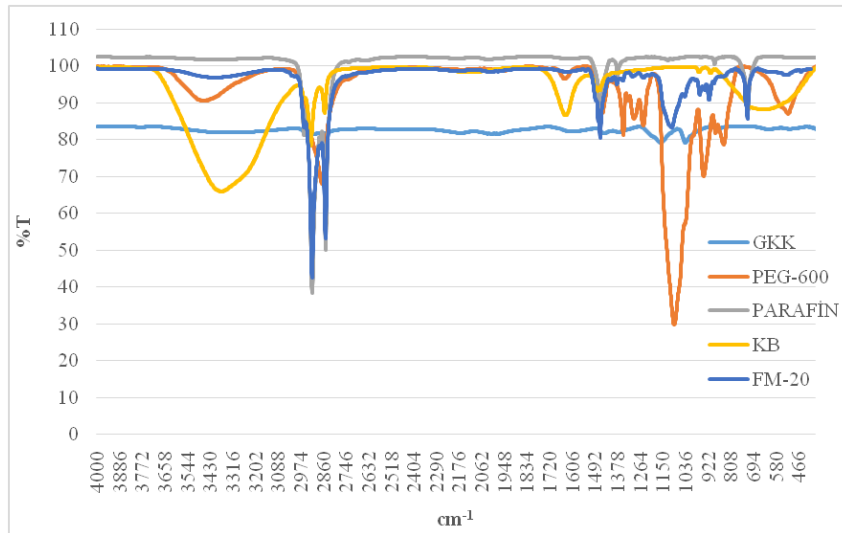
FM-13 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 4'te gösterilmiştir. Dalga boyu 1000 ile 1250 cm<sup>-1</sup> arasında görülen pikler GKK malzemesinin karakteristik C-C fonksiyonel grubu piklerine aittir. 3500 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda O-H fonksiyonel grubuna ait gerilme titreşimleri görülmektedir. 2867 cm<sup>-1</sup> ve 941 cm<sup>-1</sup>'de PEG 600'ün CH<sub>2</sub> gruplarına ait gerilme titreşimleri vardır. 1090 cm<sup>-1</sup> dalga boyunda ise O-H fonksiyonel gruplarına ait titreşimler görülmektedir. Parafine ait spektrum incelendiğinde; karakteristik pikler 2947 cm<sup>-1</sup> ile 2830 cm<sup>-1</sup> dalga boyu arası da C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler ve 1463 cm<sup>-1</sup> ile 818 cm<sup>-1</sup> dalga boylarında -CH<sub>2</sub> fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmüştür.



Şekil 4. GKK, PEG600, Labsa, Parafin, FM-13 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

LABSA'ya ait karakteristik pikler; 3000  $\text{cm}^{-1}$  ile 2700  $\text{cm}^{-1}$  arasında C=C fonksiyonel grubuna ait titreşimler, 572  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler ve 975  $\text{cm}^{-1}$  ile 850  $\text{cm}^{-1}$  arasında ise C-H fonksiyonel gruba ait titreşimler şeklinde görülmüştür.

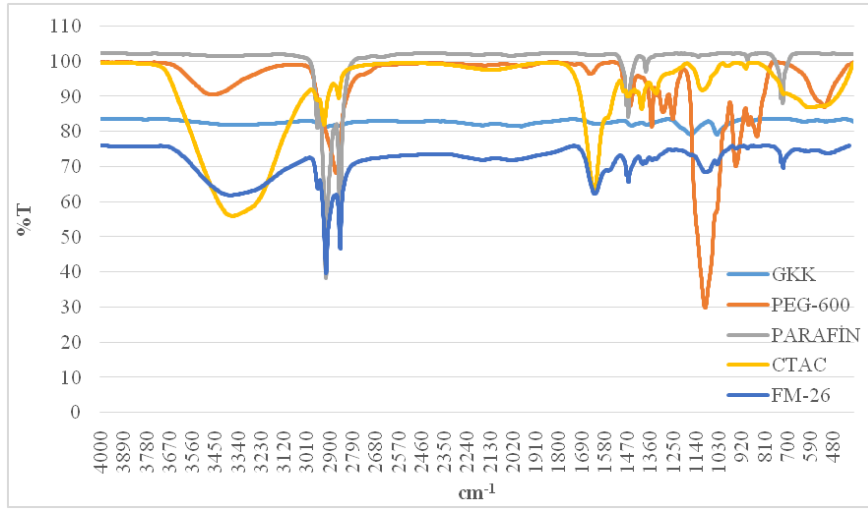
FM-20 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. GKK, PEG600, KB, Parafin, FM-20 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

Dehyquart ACA ait karakteristik pikler incelendiğinde; 3600 – 3100 dalga boyları arasında H-O fonksiyonel grubuna, 1623 dalga boyunda C-C fonksiyonel grubuna ve 590 dalga boyunda C-H fonksiyonel grubuna ait titreşimlere rastlanmıştır.

FM-26 kodlu numunenin ve numuneyi oluşturan bileşenlerin FT-IR analiz spektrumu Şekil 6'da gösterilmektedir.

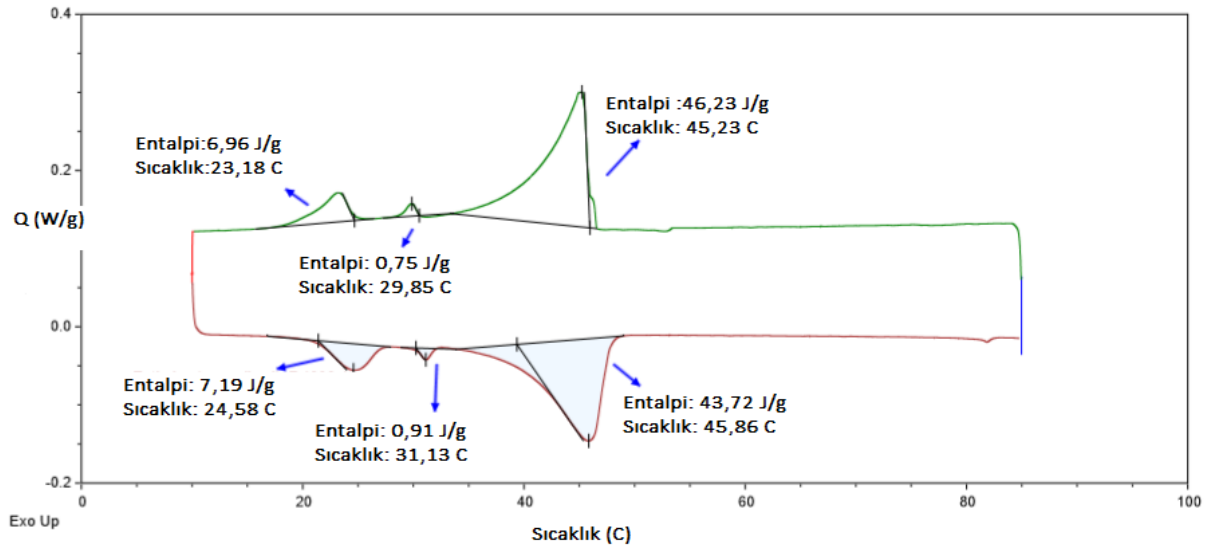


Şekil 6. GKK, PEG600, CTAC, Parafin, FM-26 kodlu numune FT-IR spektrum grafiği

Dehyton PK45(CTAC) ait karakteristik piklerine bakıldığında; 3600 – 3100 dalga boyları arasında O-H fonksiyonel grubuna ait titreşimler ve 3000  $\text{cm}^{-1}$  ile 2700  $\text{cm}^{-1}$  arasında C=C fonksiyonel grubuna ait titreşimler görülmüştür.

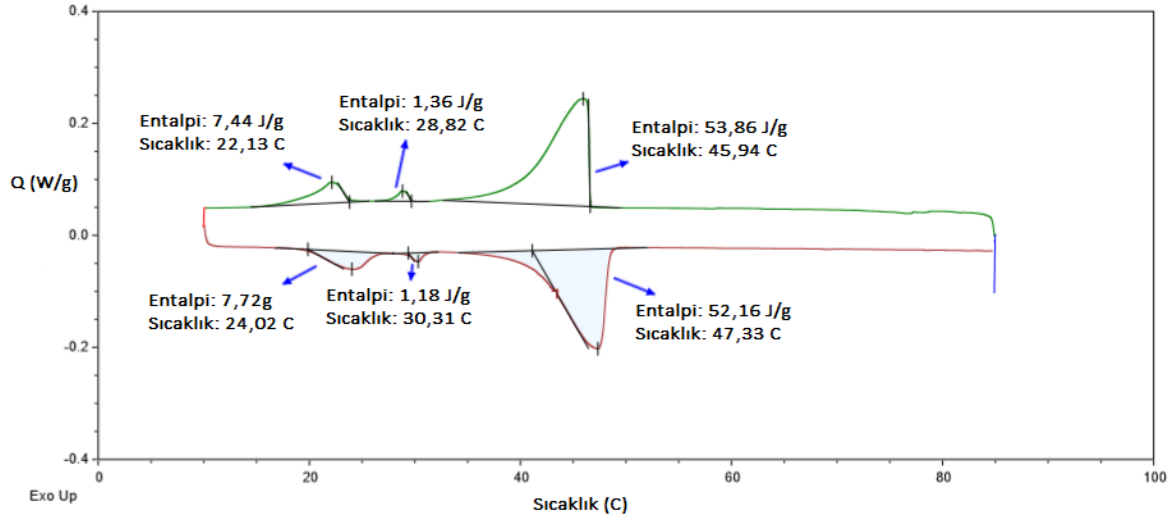
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizinin temel uygulama alanları ekzotermik ve endotermik ayrışma gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır ve faz ve hal değişimi ısı, faz değişimi sıcaklığı, öz ısı ve tepkime ısı gibi termal değişikliklerin ölçümünde kullanılır. Bu teknik, incelenen numuneye ait bir fiziksel özelliğin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü veya bir tepkimede soğurulan ya da açığa çıkan ısının izlendiği yöntemleri içeren bir analiz tekniğidir [19, 20].

FM-13, FM-20 ve FM-26 kodlu numunelerin DSC analiz spektrumları sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



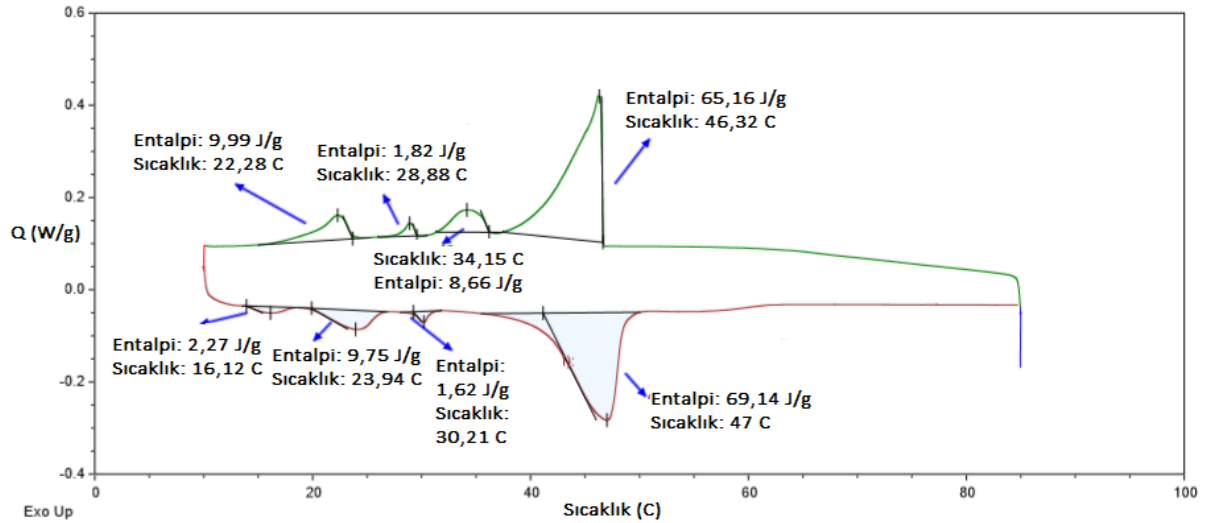
Şekil 7. FM-13 kodlu numunenin DSC analiz sonucu

Şekil 7 incelendiğinde FM-13 kodlu numune ortamdaki 53,95  $\text{j/g}$ 'lık enerji depolayabilmekte ve ortama 51,83  $\text{j/g}$ 'lık bir enerji vermektedir.



Şekil 8. FM-20 kodlu numunenin DSC analiz sonucu

Şekil 8 incelendiğinde FM-20 kodlu numune ortamdan 62,68 j/g' lik enerji depolayabilmekte ve ortama 61,07 j/g' lik bir enerji vermektedir.



Şekil 9. FM-26 kodlu numunenin DSC analizi sonucu

Şekil 9 incelendiğinde FM-26 kodlu numune ortamdan 85,64 j/g' lik enerji depolayabilmekte ve ortama 82,91 j/g' lik bir enerji vermektedir.

Literatürde yapmış olan bir çalışmada; silikafume/ polietilen glikol (PEG) kompozit faz malzemesi elde edilmiştir. Kompozit FDM'lerin ısı iletkenliği farklı oranlarda karbon nano tüp (CNTs) ilave edilerek artırılmıştır. Ayrıca CNTs ilavesinin kompozit FDM'nin ısı enerji depolama ve salıverme süreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. FDM yapılan DSC analiz sonuçlarına göre kompozit FDM'nin erime entalpisinin 87,09 J/g olduğu ve yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [21].

Bu sonuçlar dikkate alındığında; hazırlanan kompozit FDM'lerin yeterli düzeyde ısı enerji depolama/salıverme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen OFDM'lerin ısı enerji depolama özellikleri ve yüksek ısı/kimyasal performansından dolayı farklı tip bina yapı malzemeleri için katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

#### IV. SONUÇLAR

Çalışmada ısı enerjisi depolamak amacıyla anyonik, katyonik ve amfoterik özelliklere sahip farklı yüzey aktif maddeler kullanılarak OFDM numuneleri üretilmiş ve elde edilen numunelerin ısı depolama kapasiteleri incelenmiştir.

En yüksek enerji depolama kapasitesine sahip numunenin FM-26 kodlu numune olduğu görülmüştür. FM-26 kodlu numune erimesi esnasında 85,64 j/g enerji absorblarken ve katılması esnasında 82,91 j/g' lik enerjiyi dışarıya vermektedir.

GKK diğer birçok karbon malzemesinde (aktif karbon, karbon siyahı vb.) olduğu gibi gözenekli yapısından dolayı PAR, PEG ve yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu ve ısı depolanması için güvenilir bir adsorban materyali olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Elde edilen OFDM numunelerinin bina yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Numunelere sızdırmazlık özelliğinin gelecekte yapılacak olan mikro kapsülleme çalışmaları ile iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından Lisansüstü Tez projesi kapsamında desteklenmiştir. (Proje No: 2019-02.BŞEÜ.01-07)

#### KAYNAKLAR

- [1] Sharma, A., Tyagi V., Chen, C. & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318–345.
- [2] Wagner, L. (2007). Overview of energy storage methods. Mora Associates. <https://www.moraassociates.com/>.
- [3] Bauer, T., Steinmann W., Laing D. & Tamme, R. (2012). Thermal energy storage materials and systems. *Pfaffen waldring*, 38-40, 70569.
- [4] Cunha, J.P. & Eames, P. (2016). Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – a review. *Applied Energy*, 177, 227-238.
- [5] Geete, P. & Somani, S. (2017). Thermal energy storage: A review. *International Journal of Engineering Science Invention*, 6(8), 1-10.
- [6] Rathod, A., Bandela, C. & Rehman, A. (2017). Experimental study on phase change material based thermal energy storage system. *International research journal of engineering and technology*, 4(11), 1833-1838.
- [7] Kanimozhi, B., Harish, K., Tarun, B.S., Reddy, P. & Sujeth, P.S. (2017). Charging and discharging processes of thermal energy storage system using phase change materials. *IOP Publishing*, 197, 012040.
- [8] Hale, D., Hoover M. & O'Neill, M. (1971). *Phase change materials handbook*. Marshal space fight center, Alabama, 232.
- [9] Oro, E., Gracia, A., Castell, A., Farid, M.M. & Cabeza, L.F. (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. *Applied Energy*, 99, 513-533.
- [10] Peng, G., Dou, G., Hu, Y., Sun, Y. & Chen, Z. (2020). Review article phase change material microcapsules for thermal energy storage. *HindawiAdvances in Polymer Technology*, 9490873, 20.
- [11] Prasad, D., Senthilkumar, R., Lakshmanarao, G., Krishnan, S. & Prasad, N. (2019). A critical review on thermal energy storage materials and systems for solar applications. *Aims energy*, 7(4), 507-526.
- [12] Amaral, C., Vicente, R., Marques, P. A. A. P. & Barros-Timmons, A., (2017). Phase change materials and carbon nanostructures for thermal energystorage: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1212-1228.
- [13] Anusha, A. S. (2016). Phase change materials. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(2), 332-338.
- [14] Arshad, A., Jabbal, M., Yan, Y. & Darkwa, J. (2019). Themicro/nano FDM for thermal energy storage systems: a state of art review. *International Journal of Energy Research*, 43(11), 5572-5620.
- [15] Shchukina, E., Graham, M., Zheng, Z., & Shchukin, D. (2018). Nanoencapsulation of phase change materials for advanced thermal energy storage systems. *Royalsociety of Chemistry*, 47, 4156.

- [16] Socaciu, L.G. (2012). Thermal energy storage with phase change material. *Leonardo electronic journal of practices and technologies*, 20, 75-98.
- [17] Balbay, S. (2017). *Atık lastiklerin kimyasal yöntemle bozundurulması ve elde edilen ürünlerin değerlendirilmesi*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bilecik.
- [18] Kee, S.Y., Munusamy, Y., Ong, K.S., Metselaar, H.S.C., Chee, S.Y., & Lai, K.C. (2017). Thermal Performance Study of Composite Phase Change Material with Polyacrylic and Conformal Coating, *Materials*, 10, 873.
- [19] İbiş, H. (2014). *Ti-Ni ötektik alaşımlarının termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Bozok Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
- [20] Aker, A. (2015). *Al-Si ötektik alaşımına yapılan katkı elementlerinin (Cu, Co, Ni, Sb ve Bi) mikroyapı ve fiziksel özelliklerine etkisinin araştırılması*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Kayseri.
- [21] Biçer, A. & Sarı, A. (2017). Isıl enerji depolama amaçlı yapıcı kararlı yeni bir faz değişim malzemesi olarak Silikafume /Polietilen Glikol (PEG) kompoziti. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 683-690.

Araştırma Makalesi - Research Article

## Mikrodalga Radyasyonun Un biti, *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae)'a Etkisi

### Effect of Microwave Radiation to Red Flour Beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)

Emre Karadağ<sup>1</sup>, Ali Kayahan<sup>2\*</sup>

Geliş / Received: 28/01/2021

Revize / Revised: 02/06/2021

Kabul / Accepted: 03/06/2021

#### ÖZ

Depolanmış ürünlerin korunması oldukça önemlidir. Bu ürünler üzerinde kayıplara sebep olan zararlılara karşı mücadelede üreticiler pestisitleri tercih etmektedir. Ancak araştırmalar bu kimyasalların çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır. Bunun önüne geçebilmek için son yıllarda araştırmacılar alternatif yöntemlere yönelmektedir. Bu yöntemlerden biri olan ışınlanma teknikleri, zararlılar üzerinde kısırlaştırıcı, gelişimi engelleyici ve öldürücü etkiye sahiptir. Bununla birlikte zararlılarda direnç ve ürünler üzerinde kalıntı oluşturmama gibi avantajları vardır.

Bu çalışmada mikrodalga ışınlanmasının *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla ergin bireyler değişik güç ve sürelerde radyasyona maruz bırakılmıştır. Denemelerde mikrodalga radyasyonu için 5 değer (120, 350, 460, 600, 700 watt), süre olarak da 7 süre (5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 sn) belirlenmiş ve uygulanmıştır. Denemeler kurulduktan bir saat sonra canlı ve ölü bireyler sayılıp kaydedilmiştir. Elde edilen verilere bakıldığında radyasyon miktarı ve uygulama süresi arttıkça meydana gelen ölümlerin de arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde fiziksel bir mücadele yöntemi olan mikrodalga radyasyonunun, *T. castaneum* ergin bireyleri üzerinde öldürücü etki gösterdiği saptanmış ve yoğun şekilde uygulanan kimyasal mücadeleye alternatif bir yöntem olarak kullanılabilceği kanısına varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** Depo Zararlıları, Fiziksel Mücadele, Mikrodalga Radyasyonu, *Tribolium Castaneum*

#### ABSTRACT

Preservation of stored products is very important. Manufacturers prefer pesticides against pests that cause losses on these products. However, recent researches have revealed the negative effects of these chemicals in terms of environment and human health. Researchers have been turned to alternative methods in recent years to prevent this. Radiation techniques, one of these methods, have a sterilizing, growth-inhibiting, and lethal effect on the pests. Besides, these techniques have advantages, such as not causing resistance to pests and no residue on products.

In this study, adult individuals were exposed to radiation at different power and time with the intent to reveal the effect of microwave irradiation on *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). In the trials,

<sup>1</sup>İletişim: [emrekaradag75@hotmail.com](mailto:emrekaradag75@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-9786-1143>)

Bitki Koruma Bölümü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yozgat, Türkiye

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [aalikayahan@gmail.com](mailto:aalikayahan@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3671-254X>)

Bitki Koruma Bölümü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yozgat, Türkiye

5 values (120, 350, 460, 600, 700 watts) and 7 times (5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 seconds) for microwave radiation were determined and applied. One hour after the trials were set up, live and dead individuals were counted and recorded. Considering the data obtained, it was determined that the amount of radiation and the duration of the application increased, and the deaths that occurred increased.

When the data obtained as a result of this study are examined, it is determined that microwave radiation, which is a physical control method, has a lethal effect on adult individuals of *T. castaneum*, and can be used as an alternative method to the intensively used chemical control.

**Keywords- Storage Pests, Physical Control, Microwave Radiation, Tribolium castaneum**

## I. GİRİŞ

Tarımsal üretim içerisinde tahıl üretimi hem dünya genelinde hem de ülkemizde ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizde üretimi ilk sıralarda yer alan tahılların başında arpa ve buğday gelmektedir. Yaklaşık 70 milyon dekar alanda tarımı yapılan buğdayın yıllık üretimi 20 milyon 500 bin tondur. İkinci ürün olan arpanın ise yaklaşık 31 milyon dekar alanda tarımı yapılmakta olup, yıllık 8 milyon 300 bin ton üretilmektedir [1].

Dünya genelinde insan nüfusu gün geçtikçe artış göstermekte ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulan besin miktarı da artmaktadır. Bu sebeple tarımsal üretim yapılan alanlardan yüksek oranda verim elde edebilmek için tarımsal ürünlerin zararlılardan korunması önemlidir [2]. Zararlılarla mücadelede kimyasalların yoğun bir şekilde kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından olumsuz koşullar meydana getirmektedir [3-6].

Artan üretimle birlikte tahılların hasat sonrası depolanması sırasında ürünlerdeki kalite ve verim kayıplarının oluşmasında böcekler ve akarlar önemli etmenler arasındadır. Bahsedilen bu zararlıların ürünlerde yıllık ortalama %10 kayba neden oldukları kabul edilmektedir [7]. Tahılların hasattan tüketilinceye kadar geçen sürede en az kayıp verdirilerek depolanması ve korunması oldukça önemlidir [8]. Depolanmış ürünler üzerinde beslenen zararlılar doğrudan veya dolaylı şekilde zarar meydana getirmektedir. Üründe tohumluk özelliğinin düşmesine, ağırlık kayıplarına, kalite ve besin değerlerinde olumsuz yönde değişimlere yol açarak ticari değerin düşmesine sebep olmaktadır [9]. Bu zararlılarla mücadelede üreticiler çoğunlukla kimyasal uygulamalardan olan fumigasyon yöntemi kullanılarak mücadele etmeyi tercih etmektedir [11]. Yoğun şekilde insektisit kullanımı çevre ve insan sağlığının olumsuz etkilenen yanında hem ürünler üzerinde kalıntı problemlerine hem de zararlıların direnç kazanmalarına neden olmaktadır [10, 12-15].

Tarımsal zararlı organizmalara karşı uygulanan radyasyon tekniği kimyasal mücadeleye alternatif savaşım yöntemleri arasındadır ve literatürde zararlılar üzerinde yapılmış çalışmalar göze çarpmaktadır [16-22]. Bu teknik zararlıya karşı uygulandığında böcekler üzerinde farklı etkiler (kısırlaştırma, gelişimi engelleme ve öldürme) göstermektedir [23, 24]. Kullanılan bu yöntemde uygulanan ışın zararlıya iyi bir şekilde nüfuz etmekte ve hem ürünün içindeki hem de dışındaki böcekleri öldürebilmektedir [25]. Bu çalışmanın da ana materyali olan *Tribolium castaneum* (Herbst) ve farklı depo zararlıları üzerinde mikrodalga radyasyonun etkileri ile ilgili bazı çalışmalar yürütülmüş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [26-36].

Un biti *T. castaneum*, depolanmış ürünlerde özellikle de buğdaydan elde edilen ürünler (un, makarna) üzerinde zarara neden olmaktadır. Bu tür aynı zamanda kurutulmuş meyve, bisküvi ve fındık gibi ürünlerde de zarar yapmaktadır [12, 37, 38]. Ayrıca bu türün erginleri koku bezlerinden kötü kokulu bir sıvı salgılayarak üründe kokuşmaya ve küflenmeye neden olmaktadır [34].

Bu çalışma, mikrodalga radyasyonunun, önemli bir zararlı olan *T. castaneum* üzerindeki öldürücü etkisinin araştırılması ve zararlının kimyasal mücadeleye alternatif bir yöntemle kontrol edilmesine katkı sağlamak amacıyla planlanmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada denemenin ana materyalini Un biti *T. castaneum* ve Arçelik® Marka mikrodalga fırın oluşturmaktadır.



### A. *Tribolium Castaneum* Üretimi

*Tribolium castaneum* ergin bireyleri Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü'nde üretilmekte olan stok kültürden sağlanmıştır. Kitle üretimden alınan bireyler (Erkek-Dişi), içerisinde 1:1:1 oranında bisküvi:kepek:un karışımı bulunan 10x15x10 cm ölçülerindeki plastik kaplara alınmış ve yumurta bırakmaları beklenmiştir. Bırakılan yumurtadan çıkan larvaların aynı ortamda ergin olmaları sağlanarak kültür oluşturulmuştur. Denemelerde kullanılan ergin bireyler bu kültürden temin edilmiştir. Üretimlerin tamamı 25±1 °C, %60±5 orantılı nem 16:8 (aydınlık:karanlık) aydınlatma koşullarına sahip odada gerçekleştirilmiştir.

### B. Denemelerin Kurulması

*Tribolium castaneum*'un kitle üretiminden elde edilen ergin bireyler denemede kullanılmak üzere ayrı ayrı petri kaplarına alınmıştır. Petri kaplarının üst kısımlarına uygulanacak olan mikrodalga radyasyonunun gücü ve tekerrür sayısı asetat kalemle yazılmıştır. Daha sonra fırın uygulanacak güce ayarlanmış ve içerisinde böcek olan petri kapları belirlenen süre içerisinde mikrodalga fırın içerisinde tutulmuştur. Denemelerde 5 farklı güç (120, 350, 460, 600, 700 watt) ve 7 farklı süre (5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 sn) belirlenmiş ve uygulanmıştır (Radyasyon değerleri belirlenirken cihaz üzerindeki değerler esas alınmıştır). Kontrol uygulamasında besin ile birlikte ayrı petri kaplarına alınan bireylerin durumları gözlenmiştir. Denemeler her bir uygulama için 10 tekerrür olacak şekilde düzenlenmiştir. Radyasyon uygulandıktan bir saat sonra petri kapları içerisindeki canlı ve ölü bireyler sayılıp kaydedilmiştir.

### C. İstatistiksel Analizler

Denemelerde her bir uygulama ve kontrol için ayrı ayrı tablo hazırlanarak süre ve radyasyon güçlerine göre canlı ve ölü bireyler kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler ile uygulanan radyasyon güçlerinin farklı sürelerdeki etkileri kontrol ile birlikte karşılaştırılmış ve her bir radyasyon gücünde süreler arasındaki etkinlik farkları belirlenmiştir. Buna ek olarak farklı radyasyon güçlerinin aynı süre içerisindeki etkileri de analiz edilerek aynı sürede farklı güçlerin etkileri saptanmıştır. Elde edilen verilerin karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi ANOVA uygulanmış ve farkın önemli bulunması durumunda Tukey çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırma yapılmıştır. Elde edilen verilere bakılarak uygulaması yapılan mikrodalga radyasyon değerleri ve sürelerinin *T. castaneum* üzerindeki etkileri belirlenmiştir. İstatistiksel analizlerin yapılmasında Minitab (Ver. 17) programından yararlanılmıştır [39].

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada uygulama yapıldıktan sonra canlı ve ölü bireyler sayılmış ve kaydedilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre uygulaması yapılan bütün mikrodalga seviyelerinin uygulama süreleri arasında istatistiksel bir fark olduğu saptanmıştır ( $p<0.05$ ). Elde edilen verilere göre mikrodalga düzeylerinin uygulama süreleri arttıkça ortaya çıkan ölüm oranının da arttığı gözlenmiştir. Sonuçlara göre 120 watt değerinde 40-100 sn aralığında ölüm oranları benzerken; bu değerlerin 5-10 sn aralığındaki ölüm oranlarından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 350 ve 460 watt değerlerindeki ölüm oranları son iki sürede (80, 100 sn) benzerken; elde edilen bu değerlerin diğer uygulama sürelerinden farklı olduğu belirlenmiştir. 600 ve 700 watt değerlerinde *T. castaneum* bireylerinin tamamının 40 sn'den sonraki sürelerde öldüğü gözlenirken; ilk üç uygulama süresinde (5, 10, 20 sn) ölüm oranının diğer sürelerden düşük ve farklı olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Analizlerin ikinci kısmında aynı uygulama süresi içinde farklı radyasyon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre sürelerle ilgili olarak radyasyon gücü arttıkça ölümlerin de arttığı gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Buna göre radyasyon 5 sn uygulandığında 120 watt değerindeki ölü birey sayısı diğer radyasyon değerlerine göre farklı ve en düşük sayıda olmuştur. Bu uygulama süresi içinde radyasyon değeri arttıkça ölüm miktarı da artış göstermiştir. Uygulama süresi 10 sn olduğunda 700 watt değerindeki ölü birey sayısı diğerlerine göre farklı ve en yüksek sayıda olmuştur. 40-100 sn aralığındaki uygulama sürelerinde özellikle yüksek radyasyon değerlerinde ölümlerin çok yüksek olduğu hatta bazı değerlerden uygulama yapılan bireylerin tamamının öldüğü görülmektedir (Tablo 2).

**Tablo 1.** Uygulamalar sonrasında yapılan sayımlara göre ortalama ölü birey sayıları (Sürelere göre). (Ort±SH)

	Süreler							
	5 sn	10 sn	20 sn	40 sn	60 sn	80 sn	100 sn	Kontrol
<b>120 Watt</b>	3.2±0.51 c	5.2±0.47 bc	7.1±0.23 ab	7.3±0.37 a	7.6±0.16 a	8.0±0.92 a	9.0±0.47 a	0.00±0.00 d
<b>350 Watt</b>	3.6±0.34 e	6.4±0.22 d	7.6±0.27 c	8.3±0.21 bc	9.1±0.28 ab	9.9±0.10 a	10.0±0.00 a	0.00±0.00 f
<b>460 Watt</b>	4.7±0.34 e	6.7±0.21 d	8.1±0.18 c	9.1±0.28 b	9.6±0.22 ab	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	0.00±0.00 f
<b>600 Watt</b>	6.6±0.27 d	7.4±0.27 c	8.4±0.31 b	9.8±0.13 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	0.0±0.00 e
<b>700 Watt</b>	7.1±0.23 c	8.5±0.17 b	9.1±0.27 b	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	0.00±0.00 d

Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak bir farkın olduğunu göstermektedir. ( $F_{120\text{watt}}:40.79$ ;  $P_{120\text{watt}}:0.001$ ;  $F_{350\text{watt}}:263.01$ ;  $P_{350\text{watt}}:0.001$ ;  $F_{460\text{watt}}:304.79$ ;  $P_{460\text{watt}}:0.001$ ;  $F_{600\text{watt}}:366.83$ ;  $P_{600\text{watt}}:0.001$ ;  $F_{700\text{watt}}:591.31$ ;  $P_{700\text{watt}}:0.001$ ) (Ort: Ortalama, SH: Standart hata, sn: saniye)

**Tablo 2.** Uygulamalar sonrasında yapılan sayımlara göre ortalama ölü birey sayıları (Radyasyon değerlerine göre). (Ort±SH)

	5 sn	10 sn	20 sn	40 sn	60 sn	80 sn	100 sn
<b>120 Watt</b>	3.2±0.51 c	5.2±0.47 c	7.1±0.23 c	7.3±0.37 c	7.6±0.16 c	8.0±0.92 b	9.0±0.47 b
<b>350 Watt</b>	3.6±0.34 bc	6.4±0.22 b	7.6±0.27 bc	8.3±0.21 b	9.1±0.28 b	9.9±0.10 a	10.0±0.00 a
<b>460 Watt</b>	4.7±0.34 b	6.7±0.21 b	8.1±0.18 abc	9.1±0.28 ab	9.6±0.22 ab	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a
<b>600 Watt</b>	6.6±0.27 a	7.4±0.27 ab	8.4±0.31 ab	9.8±0.13 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a
<b>700 Watt</b>	7.1±0.23 a	8.5±0.17 a	9.1±0.27 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a	10.0±0.00 a

Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak bir farkın olduğunu göstermektedir. ( $F_{5\text{sn}}:24.88$ ;  $P_{5\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{10\text{sn}}:18.16$ ;  $P_{10\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{20\text{sn}}:8.89$ ;  $P_{20\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{40\text{sn}}:22.68$ ;  $P_{40\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{60\text{sn}}:32.78$ ;  $P_{60\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{80\text{sn}}:4.58$ ;  $P_{80\text{sn}}:0.001$ ;  $F_{100\text{sn}}:4.50$ ;  $P_{100\text{sn}}:0.001$ ) (Ort: Ortalama, SH: Standart hata, sn: saniye)

Bu çalışmada *T. castaneum* ergin bireyleri üzerinde farklı güç ve süreler içerisinde mikrodalga radyasyonun etkileri belirlenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde radyasyon gücü ve süre arttıkça ölümlerin de arttığı saptanmıştır. Farklı depo zararlıları (*T. castaneum*, *Cryptolestes ferrugineus*, *Sitophilus granarius*) üzerinde mikrodalga radyasyonun etkisinin incelendiği bir çalışmada zararlılar farklı sürelerde farklı radyasyon derecelerine maruz bırakılmıştır. Uygulaması yapılan radyasyon değerlerinin (250, 300, 400, 500 w) *T. castaneum* üzerindeki etkileri incelendiğinde 400 ve 500 w değerlerinin uzun sürede daha öldürücü olduğu gözlenirken; 250 ve 300 w değerlerinde uzun uygulama süresinde ölüm oranı %77-90 arasında değişiklik göstermiştir [31]. Mikrodalga radyasyonunun *T. castaneum* üzerinde etkisinin incelendiği bir başka çalışmada, bu zararlının erginleri değişen güç ve sürelerde radyasyona maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalga radyasyonun gücü ve uygulama süresinin artması erginlerdeki ölüm oranını da artırmıştır. Çalışma sonunda çıkan verilere göre 400 w'lık uygulamada 56 sn sonunda erginlerin %90'ının öldüğü gözlenmiştir [32]. Farklı mikrodalga radyasyon değerlerinin *T. castaneum* üzerindeki etkilerinin belirlenmeye çalışıldığı bir çalışmada, 150 w'lık radyasyona 180 sn maruz bırakılan erginlerin %33'ü ölümler; aynı sürede 360 w'lık radyasyona maruz kalan erginlerin tamamı ölmüştür. 900 w'lık mikrodalga radyasyonuna 10 sn maruz bırakılan erginlerde ölüm oranı %13.40 iken; bu oran 30 sn sonunda %100 olmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre un biti ile bulaşık ürünlerin mikrodalga radyasyonu ile kısa sürede bu zararlıdan temizlenebileceği anlaşılmaktadır [26]. Farklı depo zararlılarından olan *T. castaneum* ve *Rhizopertha dominica* türleri üzerinde yapılan bir çalışmada, farklı sürelerde (2, 4, 6 ve 8 dk) 200 w radyasyon uygulanmış ve bireylerin ölüm oranları elde edilmiştir. Sürelere bağlı olarak *T. castaneum* için bu oranların sürelerle bağlı olarak sırasıyla %28.33, %55, %83.33 ve %98.33 olduğu belirlenmiştir [35]. İki farklı depo zararlısı (*T. castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis*) üzerinde yapılan bir çalışmada farklı radyasyon değerlerinin (180, 300, 600, 800 w) zararlılar üzerindeki letal etkileri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre üzerinde uygulama yapılan *T. castaneum* ergin bireylerinde ölüm oranının düşük olduğu gözlenirken; yüksek radyasyon seviyelerinde (600, 800 w) özellikle 40 s süreyle maruz bırakıldığında ölüm miktarının %97 ve %100 olduğu belirlenmiştir [40]. *Tribolium castaneum*, *Sitophilus granarius* ve *Callosobruchus maculatus* ile yapılan bir çalışmada farklı süre (10, 20, 30, 40, 50 ve 60 s) ve farklı radyasyon değerlerinin (0, 20, 40, 60, 80 ve 100 w)

bu zararlılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre 30 sn uygulama süreleri ile 40 w ve üzeri radyasyon değerlerinde *T. castaneum* için ölüm oranlarının %90'ın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ölüm oranlarının özellikle yüksek uygulama süresi ve yüksek radyasyon dozlarında %100 olduğu görülmektedir [41]. Mikrodalga radyasyonun etkilerinin incelendiği bir çalışmada farklı sürelerde uygulanan (10, 30 ve 50 sn) farklı radyasyon değerlerinin (280, 560 ve 840 w) *T. castaneum* ve *Trogoderma granarium* üzerindeki letal etkileri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre her iki zararlı için en etkili radyasyon değerinin 840 w olduğu tespit edilmiştir. 50 sn boyunca bu seviyeye maruz bırakılan *T. castaneum* için ölüm oranının %90 olduğu saptanmıştır [42]. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada farklı sürelerde (30-90 sn) uygulanan farklı radyasyon seviyelerinin (120-600 w) *T. castaneum* üzerindeki letal etkileri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre 60 ve 90 sn süreyle uygulanan 480 ve 600 w radyasyon değerlerinin uygulamadaki bütün bireyleri öldürdüğü belirlenmiştir [36]. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin tamamı incelendiğinde literatürde olduğu gibi fiziksel bir mücadele yöntemi olan mikrodalga radyasyonunun *T. castaneum* ergin bireyleri üzerinde öldürücü etki gösterdiği saptanmıştır. Bu çalışmada da literatürde olduğu gibi zararlının ergin bireyleri yüksek radyasyon değerlerinde uzun süre bırakıldığında yüksek ölüm oranları ortaya çıkmaktadır. Elde edilen verilerin un bitinin mücadelesinde kullanılan ve kimyasal savaşıma alternatif bir yöntem olan, radyasyonla mücadele yöntemine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak özellikle ihracatta önemli bir kalem olan tahıllar üzerinde kalıntı sorununun çözümü için yardımcı veriler oluşturulması açısından faydalı olacağı kanaatine varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Alan ve Üretim Miktarları. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- [2] Schöller, M., Prozell, S., Al-Kirshi, A. G. & Reichmuth, C. (1997). Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. *Journal of Stored Products Research*, 33(1), 81-97.
- [3] Moore, D. & Prior C. (1993). The potential of mycoinsecticides. *Biocontrol News and Information*, 14, 31-40.
- [4] Arthur, F. H. (1996). Grain protectants: current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research*, 32, 293-302.
- [5] Zettler, J. L. & Arthur, F. H. (2000). Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. *Crop Protection*, 19, 577-582.
- [6] Ayvaz, A., Albayrak, S. & Karabörklü, S. (2008). Gamma radiation sensitivity of the eggs, larvae and pupae of Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest Management Science*, 64, 505-512.
- [7] Donahaye, E. J. & Messer, E. (1992). Reduction in grain storage losses of small-scale farmers in tropical countries. Research Report RR-91-7, The Allan Shawn Feinstein World hunger Program, Brown University.
- [8] Bağcı, F., Yılmaz, A. & Ertürk, S. (2014). Ankara ili hububat depolarında bulunan zararlı böcek türleri. *Bitki Koruma Bülteni*, 54(1), 69-78.
- [9] Boxall, R. A. (2001). Post-harvest losses to insect-a world overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 48, 137-152.
- [10] Emekçi, M. & Ferizli, A. G. (2000). Current status of stored products protection in Turkey. *IOBC wprs Bulletin*, 23(10), 39-46.
- [11] Banks, H. J. (1994). Fumigation-an endangered technology. Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection, 17-23 April 1994, Canberra, Australia.
- [12] Sinha, R. N. & Watters, F. L. (1985). Insect Pests of Flour Mills, Grain Elevators, and Feed Mills and Their Control. Agriculture Canada, Winnipeg, M.B., Canada.
- [13] Hansen, L. S. & Jensen, K. M. V. (2002). Effect of Temperature on Parasitism and Host-Feeding of *Trichogramma turkestanica* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economical Entomology*, 95(1), 50-56.
- [14] Fields, P. G. & White, N. D. G. (2002). Alternatives to Methyl Bromide Treatments for Stored-Product and Quarantine Insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 331-359.
- [15] Regnault-Roger, C. (1997). The Potential of Botanical Essential Oils for Insect Pest Control. *Integrated Pest Management Reviews*, 2, 15-34.
- [16] Brower J. H. (1975). Gamma Radiation of Adult *Plodia interpunctella*: Effects on Mating Sterility and Number of Progeny. *Annals of the Entomological Society of America*, 68, 1086-1090.

- [17] Brower, J. H. & Tilton, E. W. (1985). The potential of irradiation as a quarantine treatment for insects infesting stored-food commodities. In *Radiation disinfestation of food and agricultural products*, 75-86.
- [18] Tunçbilek, A. S. (1995). Effect of 60Co Gamma Radiation on the Rice Weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). Anz. Schadlingskd. *Pflanzenschutz Umweltschutz*, 68, 37-38.
- [19] Sharma, M. K. & Dwivedi S. C. (1997). Investigation on the Effects of Ultraviolet and Infrared Light on the Life Cycle of *Callosobruchus chinensis* Linn. *Journal of Advanced Zoology*, 18, 27-31.
- [20] Faruki, S. I., Das, D. R. & Khatun, S. (2005). Effects of UVRadiation on the Larvae of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) and Their Progeny. *Pakistan Journal of Biological Science*, 5(4), 444-448.
- [21] Ayvaz, A. & Tunçbilek, A. S. (2006). Effects of Gamma Radiation on Life Stages of the Mediterranean Flour Moth *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Pesticide Science*, 79, 215-222.
- [22] Ayvaz, A., Albayrak, S. & Tunçbilek, A. S. (2007). Inherited Sterility in Mediterranean Flour Moth *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae): Effect of Gamma Radiation Doses on Insect Fecundity Fertility and Developmental Period. *Journal of Stored Products Research*, 43, 234-239.
- [23] Lapidot, M., Saveanu, S., Padova, R. & Ross, I. (1991). Insect disinfestation by irradiation, in *Insect Disinfestation of Food and Agricultural Products by Irradiation*. Proceeding IAEA, Vienna, 103.
- [24] Ahmed, M. (2001). Disinfestations of Stored Grains Pulses Dried Fruits and Nuts and Other Dried Foods, in *Food Irradiation Principles and Applications*, ed. by Molins R. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 77-112.
- [25] Halverson S. L., Phillips T. W., Bigelow T. S., Mbata G. N. & Payton M. E. (1999). The control of various species of stored-product insects with EHF energy. Proceeding of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 541-544.
- [26] Azizoğlu, U., Karabörklü, S., Yilmaz, S., Ayvaz, A. & Temizgül R. (2010). Mikrodalga radyasyonunun *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) erginleri üzerindeki öldürücü etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(4), 323-327.
- [27] Tilton, E. W. & Brower, J. H. (1983). Radiation Effects on Arthropods. In: *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. 2, 269-326
- [28] Hasan, M. & Khan, A. R. (1998). Control of stored-product pests by irradiation. *Integrated Pest Management Reviews*, 3(1), 15-29.
- [29] Warchalewski, J. R., Pradzynska, A., Gralik, J. & Nawrot, J. (2000). The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. *Nahrung*, 44, 411-414.
- [30] Çetinkaya, N., Ozyardimci, B., Denli, E. & Ic, E. (2006). Radiation processing as a post-harvest quarantine control for raisins, dried figs and dried apricots. *Radiation Physics and Chemistry*, 75, 424-431.
- [31] Vadivambal, R., Jayas, D. S. & White, N. D. G. (2007). Wheat disinfestation using microwave energy. *Journal of Stored Products Research*, 43, 508-514.
- [32] Vadivambal, R., Jayas, D. S. & White, N. D. G. (2008). Determination of Mortality of Different Life Stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Stored Barley Using Microwaves. *Journal of Economical Entomology*, 101(3), 1011-1021.
- [33] Valizadegan, O., Pourmirza, A. A. & Safaralizadeh, M. H. (2009). Combination of microwave radiation and cold storage for control of *Oryzalephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). *Journal of Biological Sciences*, 9, 231-236.
- [34] Lu, H., Zhou, J., Xiong, S. & Zhao, S. (2010). Effects of low-intensity microwave radiation on *Tribolium castaneum* physiological and biochemical characteristics and survival. *Journal of Insect Physiology*, 56, 1356-1361.
- [35] Bayramzadeh, N. & Poumirza A. A. (2012). Combined Impacts of Two Type's Cold Storage and Microwave Radiation on Stored Products Insects and Wheat Seed Viability. *Egyptian Academic Journal of Biological Science*, 5(2), 121-129.
- [36] Patil, H., Shejale, K. P., Jabaraj, R., Shah, N. & Kumar, G. (2020). Disinfestation of red flour beetle (*Tribolium castaneum*) present in almonds (*Prunus dulcis*) using microwave heating and evaluation of quality and shelf life of almonds. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101616.
- [37] Mills, R. & Pedersen, J. (1990). A flour mill sanitation manual. Eagan Press, St. Paul, MN.
- [38] Karunakaran, C., Jayas, D. S. & White, N. D. G. (2004). Identification of wheat kernels damaged by the red flour beetle using X-ray image. *Biosystems Engineering*, 87(3), 267-274.

- [39] Minitab. (2010). Minitab Inc. MINITAB: Minitab for Windows Version Release 17. State College, PA, USA: Minitab Inc.
- [40] Manickavasagan, A., Alahakoon, P. M. K., Al-Busaidi, T. K., Al-Adawi, S., Al-Wahaibi, A. K., Al-Raeesi, A. A., Al-Yahyai, R. & Jayas, D. S. (2013). Disinfestation of stored dates using microwave energy. *Journal of Stored Products Research*, 55, 1-5.
- [41] Abd El-Raheem, A. M. & Said, S. M. (2016). Does microwave radiation have an effect on stored product insects and their host food quality?. *Academic Journal of Entomology*, 9(4), 51-61.
- [42] Agha, W. N. A., Amin, A. H., Khidr, S. K. & Ismail, A. Y. (2017). Entomocidal activity of microwave energy & some aqueous plant extracts against *Tribolium castaneum* Herbst & *Trogoderma granarium* everts. 6<sup>th</sup> International Conference and Workshops on Basic and Applied Sciences, AIP Conf. Proc. 1888, 1-13.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## **Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Gül (*Rosa damascena* Miller) Yağının Jelatin ve Aljinat ile Mikroenkapsülasyonu**

### **Microencapsulation of Rose (*Rosa damascene* Miller) Oil with Gelatin and Alginate by Complex Coacervation**

Deniz Akın Şahbaz<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 11/02/2021*

*Revize / Revised: 25/04/2021*

*Kabul / Accepted: 26/04/2021*

#### **ÖZ**

Mikroenkapsülasyon, günümüzde gıda, ilaç, tarım, tekstil, kozmetik, biyomedikal gibi endüstrilerde aktif bileşen stabilitesinin ve biyoaktif özelliklerinin korunması için sıklıkla başvurulan, aktif maddelerin etrafını bir ya da birden çok kaplama maddesi ile sarılmasını sağlayan bir teknolojidir. Ülkemiz için ticari öneme sahip olan ve anti-kanser, antioksidan, antiseptik, hipolipidemik, antidiyabetik, antimikrobiyal ve antibakteriyel özellikleri nedeniyle geniş uygulama alanı bulabilecek gül yağı, oda sıcaklığında hidrokarbon grubu bileşen oranının artmasıyla katılaşmaya başlamakta ve karakteristik özelliklerini kaybetmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışma ile, duvar materyali olarak jelatin ve aljinat kullanılarak, kompleks koaservasyon metodu ile gül yağının mikroenkapsüle edilmesi amaçlanmıştır. Sentez sırasında farklı oranlarda jelatin/aljinat içeren mikrokapsüller (6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY, 12J/A/5GY) elde edilmiş olup, jelatin/aljinat oranının mikrokapsülleme verimi, % yüzey yağı, % toplam yağ miktarı ve enkapsülasyon etkinliği üzerine etkileri araştırılmıştır. 12J/A/5GY mikrokapsüllerinin %85,5 mikrokapsülleme verimi, 50,1 % toplam yağ, % 88,0 enkapsülasyon etkinliği ile en yüksek özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Mikrokapsüllerin morfolojileri ve oluşumları taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiş olup, kaplama materyal oranının mikrokapsüllerin oluşumlarında önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrokapsüllerin termal kararlılıkları diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik (DTA-TG) analiz ile incelenmiş olup, mikrokapsüllerin yüksek sıcaklıklarda bile termal kararlılıklarını koruduğunu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlara göre gül yağı içeren mikrokapsüllerin; parfümeri, kozmetik, sağlık ve tekstil sektöründe önemli kullanım alanları bulabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler-** Mikrokapsül, Jelatin, Aljinat, Gül Yağı, Kompleks Koaservasyon

#### **ABSTRACT**

Microencapsulation is a technology that is frequently used in industries, such as food, medicine, agriculture, textile, cosmetics, biomedical to protect the stability and bioactive properties of active ingredients, and it allows the active ingredients to be surrounded by one or more coating materials. Rose oil, which is commercially important for our country and can find wide application area due to its anti-cancer, antioxidant, antiseptic, hypolipidemic, antidiabetic, antimicrobial, and antibacterial properties, begins to solidify at room temperature and loses its characteristic properties. Therefore, this study aims to microencapsulate rose oil using gelatin and alginate as wall materials by complex coacervation method. Microcapsules containing different ratios of gelatin/alginate

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [dsahbaz@pau.edu.tr](mailto:dsahbaz@pau.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-8667-2451>)  
Kimya Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Denizli, Türkiye

(6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY, 12J/A/5GY) were obtained during the synthesis, and the effect of gelatin/alginate ratio on the microencapsulation efficiency, % surface oil, % total oil amount and encapsulation efficiency were investigated. It was observed that 12J/A/5GY microcapsules had the highest properties with 85.5 % of microencapsulation efficiency, 50.1 % of total oil, and 88.0 % of encapsulation efficiency. The morphology and formation of microcapsules were examined by scanning electron microscopy (SEM), and it was determined that the coating material ratio had a significant effect on the formation of microcapsules. Besides, the thermal stability of microcapsules was examined by differential thermal analysis and thermogravimetric (DTA-TG) analysis, and it was observed that microcapsules preserved their thermal stability even at high temperatures. According to the results obtained with this study, it is thought that the microcapsules containing rose oil can find important usage areas in perfumery, cosmetics, health, and textile sectors.

**Keywords-** *Microcapsule, Gelatin, Alginate, Rose Oil, Complex Coacervation*

## I. GİRİŞ

Mikroenkapsülasyon, aktif maddelerin etrafını bir ya da birden çok kaplama maddesi ile sarılmasını sağlayan teknolojidir. Bu teknoloji, çevre koşullarından etkilenen katı ve sıvı yağların [1-3], esansiyel yağların [4], vitaminlerin [5-7], gıda boyalarının [8] ve minerallerin [9] mikroenkapsüle edilmesinde kullanılmaktadır. Mikroenkapsülasyon tekniği ile çekirdek materyalin kaplanarak hem çevre koşullarından korunması ile raf ömrünün artması, tehlikeli ve toksik materyallerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi, tat ve kokuların korunabilmesi sağlanmakta hem de kontrollü salım yapılabilmektedir. Bu üstün özellikleri nedeniyle, son yıllarda mikroenkapsülasyon hem literatür çalışmalarında hem de endüstriyel üretimde dikkat çeken bir teknoloji durumuna gelmiştir. Günümüzde de mikroenkapsülasyon teknolojisinin gıda, ilaç, tarım, tekstil, kozmetik, biyomedikal, elektronik gibi endüstrilerde kullanımı yaygınlaşmaktadır [10].

Esansiyel yağlar; bitkilerin kök, gövde, yaprak, meyve, kabuk, çiçek gibi kısımlarından damıtma, sıkma ya da çözücü ekstraksiyonu ile elde edilen, oda sıcaklığında sıvı halde olan, bazen donabilen, kolaylıkla kristalleşebilen hidrofobik aromatik uçucu sıvılardır [11]. Türkiye farklı iklim ve ekolojik koşulları nedeniyle tıbbi ve aromatik bitkiler açısından büyük bir ekonomik potansiyele sahip olup, bu bitkilerin ihracatı bakımından dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. Ülkemizde uçucu yağ üretiminin büyük bir kısmını gül yağı oluşturmakta olup, yaklaşık 25 kadar gül türünün doğal olarak yetiştiği bilinmektedir [12]. Ayrıca, Türkiye dünyadaki en büyük gül yağı üreticisi olup, dünya gül yağı talebinin %50'sini karşılamaktadır [13].

Parfümeri ve kozmetik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan şeffaf bir renge sahip gül esansiyel yağı, anti-kanser, antioksidan, antiseptik, hipolipidemik, antidiyabetik, antimikrobiyal ve antibakteriyel özelliğine sahiptir [14, 15]. Ancak gül yağının diğer uçucu yağlardan farklı olarak olumsuz özelliği, 20 °C nin altında katılaşmaya başlaması ve 16°C'nin altında ise tamamen katılaşarak kristalleşmesidir. Gül yağı yapısında bulunan hidrokarbon grubu bileşen oranının artmasıyla oda sıcaklığında bile katılaşabilmekte ve karakteristik kokusunu kaybetmektedir [16]. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, gül yağının mikroenkapsülasyon yöntemi ile korunması ve dayanıklı hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, esansiyel yağların mikroenkapsülasyonunda kitosan-sinamik asit [17], karragenan [18], maltodekstrin [19], aljinat [18, 20], jelatin [21, 22], Arap zıncığı [19, 23] vb. doğal polimerlerin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışmada mikroenkapsülasyon yönteminde kaplama materyali olarak kozmetikte sıklıkla kullanılan, biyouyumluluğu yüksek, toksik olmayan, alerjik reaksiyonlar göstermeyen, karbonhidrat esaslı bir polimer olan jelatin kullanılmıştır [24]. Dış kaplama malzemesi; mikroenkapsüllerin morfolojik ve yapısal özelliklerini ve buna bağlı işlevsel performanslarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle gül yağının mikroenkapsülasyonunda jelatin ile yapılan kaplamanın yeterli olamayacağından, ikinci bir kaplama malzemesi olarak kahverengi alglerin hücre duvarlarından ekstrakte edilerek kolaylıkla elde edilebilmesi ve ayrıca biyobozunur, biyouyumlu, antibakteriyel doğal bir polimer olması nedeniyle sodyum aljinat tercih edilmiştir [20].

Mikroenkapsülasyon işleminde genellikle püskürterek kurutma [6, 25], dondurarak kurutma [26], ekstraksiyon [27], kompleks koaservasyon [23], liyofilizasyon [28], emülsifikasyon [29], elektrosprey [20] vb. yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında kompleks koaservasyon yöntemi, basit ve maliyeti düşük bir yöntem olması ve ayrıca yüksek sıcaklık ve organik çözültü gerektirmemesi açısından avantaj sağlamaktadır. Bu

nedenle, yapılan çalışmada da çekirdek materyal gül yağının jelatin ve aljinat polimerleri ile mikroenkapsülasyonunda kompleks koaservasyon yönteminin kullanımı tercih edilmiştir.

Kompleks koaservasyon yönteminde kaplama materyali olarak kullanılan biyopolimerler arasındaki etkileşimler; koaservatların ve kapsüllenen materyalin yapısını ve kararlılığını kontrol etmede önemli rol oynar [30]. Koaservasyon oluşumunda ana itici güç, zıt yüklü iyonlar arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan reaksiyon sisteminin serbest elektrotatik enerjisindeki azalmadır. Koaservasyon sürecinin başlamasında, devamında ve sona ermesinde reaksiyon ortamının sıcaklığı, iyonik gücü, pH'ı ve karıştırma hızının yanı sıra, kaplama materyali olarak kullanılan polimerlerin karışım oranı, moleküler ağırlıkları, toplam konsantrasyonları ve yük yoğunlukları önemli rol oynamaktadır [31, 32]. Literatür çalışmalarında, Shinde ve Nagarsenker (2009) jelatin ve sodyum aljinat kompleks koaservasyonu üzerine yapmış oldukları çalışmada pH 3.5'te 4:1 jelatin: aljinat oranı ile optimum koaservasyon elde etmişler ve polimerlerin karışım oranının viskozimetrik, türbidimetrik ve koaservat verimi üzerinde etkili olduğunu göstermişlerdir [33]. Yapılan farklı bir çalışmada ise Devi ve arkadaşları (2012), jelatin A-sodyum aljinat biyopolimerleri ile zeytin yağını mikroenkapsüle etmişler ve optimum koaservasyon koşullarını pH 3.75'de 3.5:1 jelatin: sodyumaljinat oranında gözlemlemişlerdir [34].

Yapılan bu çalışmada ise farklı oranlarda jelatin/aljinat kaplama materyali kullanılarak kompleks koaservasyon yöntemi ile gül yağı içeren mikrokapsüller (6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY, 12J/A/5GY) sentezlenmiştir. Sentezlenen mikrokapsüllerin morfolojik özelliklerinin ve termal kararlılıklarının belirlenmesi için sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik (DTA-TG) analiz kullanılmıştır. Ayrıca, jelatin/aljinat kaplama materyal oranının mikrokapsülleme verimi (%), % toplam yağ, % yüzey yağı ve enkapsülasyon etkinlikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışma ile üretilen gül yağını içeren jelatin ve aljinat mikrokapsüllerinin; parfümeri, kozmetik ve sağlık sektöründe önemli kullanım alanları bulabileceği düşünülmektedir. Bu sektörlerin yanı sıra tekstil sektöründe de gül yağı içeren mikrokapsüller, belirli zaman aralıklarında esans salımı yaparak parfüm etkisi yaratma, koruma, vücut kokularını giderme gibi özelliklere sahip kozmetik tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca, ülkemiz için ticari bir önemi olan gül yağının yeni kullanım alanlarının oluşturulmasının ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Materyal

Mikrokapsüllerin sentezinde kaplama materyali olarak jelatin (Merck) ve sodyum aljinat (Sigma-Aldrich), çapraz bağlayıcı olarak ise glutaraldehit (%50, Fluka) kullanılmıştır. Çekirdek materyali olarak ise Isparta Güllü veya Yağ Güllü olarak bilinen gül (*Rosa damascena* Miller) yağı kullanılmıştır. Gül yağı yerel bir firmadan (BAŞKOOP Gül Yağı Fabrikası, Başmakçı, Afyonkarahisar) temin edilmiş olup, buhar distilasyonu yöntemi ile üretilmiştir. Çözelti pH'ı asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , % 100, Merck) çözeltileri ile ayarlanmıştır. Mikrokapsüllerde yüzey yağı ve toplam yağ miktarının belirlenmesinde kullanılan petrol eteri, hekzan ve hidroklorik asit (HCl, % 37) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

### B. Deneysel Yöntem

1) *Gül Yağı İçeren Jelatin/Aljinat Mikrokapsüllerin Sentezi*: Gül yağı içeren mikrokapsüllerin sentezinde kompleks koaservasyon yöntemi kullanılmıştır [35]. Sentez sırasında ilk olarak %3, %4, %5 ve %6 w/v derişimlerinde 200 mL jelatin çözeltileri hazırlanmış ve hazırlanan her bir jelatin çözeltisi içerisine 5 g gül yağı eklenmiştir. Karışımlar daha sonra homojenizatör (HG-15D, WiseTis) ile oda sıcaklığında (25°C) 11,000 rpm'de 15 dakika dispers edilmiş ve yağ damlacıklarının sulu faz içerisinde dağılımı sağlanmıştır. Bu işlemde sonra, elde edilen karışım içerisine 50 mL sodyum aljinat çözeltisi (% 2 w/v) ilave edilmesi ile farklı kuru madde oranlarında jelatin/sodyum aljinat/gül yağı koaservasyonları oluşturulmuştur (Tablo 1). pH değeri asetik asit (% 10 v/v) kullanılarak 4,5-5'e ayarlanmıştır. Ortam sıcaklığı çapraz bağlayıcının etkinliğinde önemli rol oynamaktadır [36]. Bu nedenle koaservasyon süresince buz banyosu kullanılarak sıcaklık 10°C'de sabit tutulmuştur. Oluşan mikrokapsüllerin çapraz bağlanması için jel kaplama sert görünümüne kadar 10 mL glutaraldehit çözeltisi (%50 w/v) damlatılarak eklenmiş ve çözelti manyetik karıştırıcı (MrHei-Standard, Heidolph) altında 1000 rpm'de karıştırılarak parçacıkların çapraz bağlanması sağlanmıştır. Son olarak elde edilen mikrokapsüllerin 25°C ve 1500 rpm'de 5 dakika santrifüjleme ile ayrılması sağlanmış ve elde edilen mikrokapsüller 30°C vakumlu etüvde (OF-11E, JeioTech) kurutulmuştur.



**Tablo 1.** Mikrokapsül sentezinde emülsiyonlara ait deneysel veriler.

Mikrokapsül Numunesi	Jelatin:Aljinat Oranı	Çekirdek:Kaplama Materyali Oranı	Toplam Kuru Madde (%)
6J/A/5GY	6:1	5:7	4,6
8J/A/5GY	8:1	5:9	5,3
10J/A/5GY	10:1	5:11	6,0
12J/A/5GY	12:1	5:13	6,7

2) *Gül Yağı İçeren Jelatin/Aljinat Mikrokapsüllerin Karakterizasyonu:* Farklı oranlarda jelatin/aljinat kaplama malzemesi içeren mikrokapsüllerin morfolojileri ve yüzey karakteristikleri 20.00 kV hızlandırma voltajında taramalı elektron mikroskobu (SEM, 1430 VP, LEO) kullanılarak incelenmiştir. Mikrokapsüllere SEM analizi öncesi 100 mA'de 30 saniye boyunca kaplama uygulanmış ve mikrokapsüller yaklaşık 10 nm kalınlığında platin ile kaplanmıştır. Diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik (DTA-TGA, NETZSCH) analizi ile numuneler 40-60 mL/dakika azot gazı akışında 10°C/dakika hızla 1000°C'e kadar ısıtılmıştır. Mikrokapsül kütleindeki değişim miktarı, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilip, çizilen termogramlar ile istenen sıcaklık aralığındaki % ağırlık kaybından mikrokapsülasyon içeriği hesaplanmıştır. Ayrıca, mikrokapsüllerin ısı karşısında gösterdiği endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar tespit edilmiştir.

3) *Mikrokapsüllerde Yüzey Yağı ile Toplam Yağ Miktarının Belirlenmesi ve Enkapsülasyon Etkinliğinin Hesaplanması:* Enkapsülasyon etkinliğinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak numunelerin yüzeyde kalan yağ miktarları ve toplam yağ miktarları hesaplanmıştır.

Yüzey yağ miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak 20 mL petrol eteri ile 1,5 g mikrokapsül numunesi falcon tüp içerisinde 5 dakika boyunca oda sıcaklığında çalkalanmıştır. Karışım filtre kağıdından süzülükten sonra süzüntü 10 mL petrol eteri ile yıkanmış ve sonrasında 70°C'deki sıcak su banyosunda petrol eteri tamamen buharlaşıp süzüntü sabit tartıma gelene kadar ısıtılmıştır. Son tartımdan boş beher ağırlığı çıkarılarak yüzey yağ miktarı belirlenmiştir.

Toplam yağ miktarının belirlenmesi aşamasında ise ilk olarak 3 g mikrokapsül numunesi 90 mL HCl çözeltisi (4 N) içerisinde 1 dakika boyunca çalkalanmıştır. Bu işlemin ardından karışım içerisine 45 mL heksan eklenmiş ve karışım içerisindeki yağın çözücü faz içerisine ekstraksiyonunu kolaylaştırmak için karışım 12 saat oda sıcaklığında orbital çalkalayıcı ile çalkalanmıştır. Bu işlemin ardından karışım 10.000 rpm'de 30 dakika santrifüjlenmiştir. Çözünmüş yağı içeren organik faz ayrılmış ve damıtılmıştır. Geri kazanılan yağ içerisinde çözücü kalmaması için 80°C'de etüvde kurutulmuştur. Yağ içeriği gravimetrik olarak ölçülmüş ve toplam yağ miktarı hesaplanmıştır [37].

Yüzey yağı ve toplam yağ miktarları kullanılarak aşağıdaki Denklem 1 kullanılarak enkapsülasyon etkinliği hesaplanmıştır [38]:

$$\text{Emkapsülasyon Etkinliği} = \frac{\text{Toplam Yağ} - \text{Yüzeydeki Yağ}}{\text{Toplam Yağ}} \times 100 \quad (1)$$

Yüzey yağı ve toplam yağ miktarlarının belirlenmesinde her numune için işlemler üç kez tekrarlanmış olup, ortalama sonuçlar kullanılmıştır.

4) *Mikrokapsülleme Veriminin Belirlenmesi:* Mikrokapsülleme veriminin belirlenmesi amacıyla her deney sonunda mikrokapsüller kurutulduktan sonra ağırlıkları ( $W_1$ ) ölçülmüştür. Sentez aşamasında kullanılan maddelerin (duvar ve çekirdek materyalleri) ağırlığı ( $W_2$ ), sentez sonunda elde edilen mikrokapsüllerin ağırlığına oranlanarak mikrokapsülleme verimi (%) Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır [39]:

$$\text{Mikrokapsülleme Verimi \%} = (W_1/W_2) \times 100 \quad (2)$$

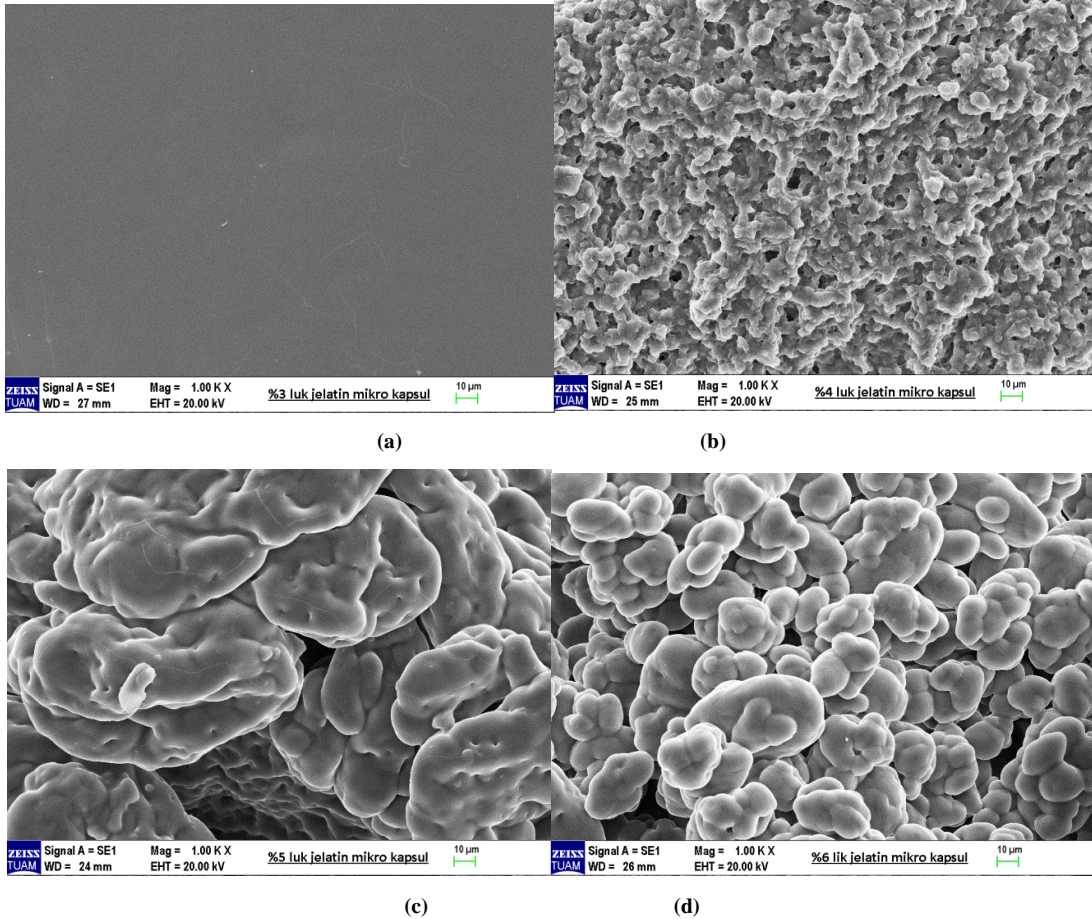
### C. İstatistiksel Analizler

Denemeler sonucu 3 tekerrürlü olarak elde edilen veriler Kruskal-Wallis H Testi ile analiz edilmiştir. Kruskal-Wallis H Testi gruplar arası varyans analizinin (One-way ANOVA) nonparametrik alternatifidir. Bu analiz sürekli değişkenlere sahip 3 veya daha fazla grup için karşılaştırma yapmayı sağlamaktadır. Değerler sıralı hale çevrilmekte ve her grup için sıralı ortalamalar karşılaştırılmaktadır [40].

### III.BULGULAR VE TARTIŞMA

#### A. Gül Yağı İçeren Jelatin/Aljinat Mikrokapsüllerin Oluşumları ve Yüzey Morfolojileri

Kompleks koaservasyon sonucu elde edilen mikrokapsüllerin oluşumları ve yüzey morfolojileri SEM analizi ile incelenmiş olup, her numune için alınan görüntüler Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde 6J/A/5GY numunesinde mikrokapsül gözlemlenmemiştir (Şekil 1 (a)). Bu numune için kaplama materyali olarak kullanılan jelatinin mikrokapsül oluşumu için yetersiz kaldığı düşünülmektedir. 8J/A/5GY numunesinde olduğu gibi koaservat içerisinde jelatin çözeltisinin derişimi arttıkça mikrokapsül oluşumu gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 1(b)). Ancak 8J/A/5GY numunesinde de jelatin kaplama materyal miktarı yetersiz kalmış olabileceğinden tam küresel mikrokapsül oluşumu gözlemlenmemiş olup aglomerasyon oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 1 (c) ve Şekil 1 (d)’de görülen 10J/A/5GY ve 12J/A/5GY numunelerinde mikrokapsül oluşumu gözlemlenmiştir. 12J/A/5GY numunesindeki mikrokapsüllerin 10J/A/5GY numunesindeki mikrokapsüllere nazaran daha küçük boyutlu olduğu görülmüştür. Koaservatlar içerisindeki jelatin miktarının artışı mikrokapsül boyutunu küçültürken aynı zamanda daha simetrik ve küresel mikrokapsül oluşumunu sağlamıştır. Her iki numunede de mikrokapsüllerin yüzey yapısı incelendiğinde düzensiz ve gözenekli bir şekle sahip oldukları görülmektedir. Literatür çalışmalarında da, mikrokapsül morfolojilerinin kaplama malzeme türü ile olduğu kadar kullanılan kaplama malzemelerinin oranı ile kontrol edilebildiği görülmüştür [35, 41].

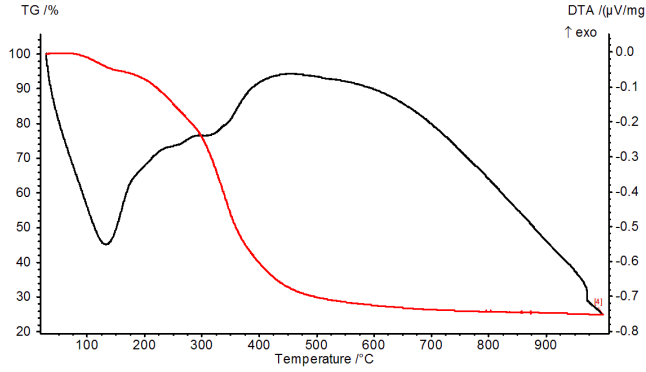


Şekil 1. Mikrokapsüllerin SEM görüntüleri a)6J/A/5GY, b) 8J/A/5GY, c)10J/A/5GY, d)12J/A/5GY

#### B. Gül Yağı İçeren Jelatin/Aljinat Mikrokapsüllerin DTA-TGA Analiz Sonuçları

Farklı oranlarda jelatin/aljinat kaplama malzemesi içeren 6J/A/5GY,8J/A/5GY,10J/A/5GY, 12J/A/5GY mikrokapsüllerin yapısındaki çekirdek materyal olan gül (*Rosa damascena* Miller) yağı ile kaplama materyalleri olan jelatin ve aljinat içeriğinin belirlenmesi amacıyla TGA analizi yapılmıştır. Ayrıca, faz değişimlerinin neden

olduğu entalpi değişimleri saptanabilmesi için DTA analizi uygulanmıştır. Şekil 2’de 12J/A/5GY mikrokapsüllere ait DTA-TGA diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2. 12J/A/5GY mikrokapsüller DTA-TGA diyagramı

Mikrokapsüllere ait TGA termogramları benzerlik göstermekte olup, sıcaklığın oda sıcaklığından yaklaşık 140°C’e yükseltilmesi ile gözlenen ağırlık kayıpları numunelerde bulunan fiziksel ve kimyasal bağlı suyun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklık aralığında 6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY ve 12J/A/5GY numunelerinde suyun uzaklaşmasından kaynaklı kütle kaybı sırasıyla % 2,9, % 2,5, % 2,1 ve % 4,2’dir. Numunelere ait DTA eğrilerinde de numunelerin su kaybetmesinden kaynaklı ekzotermik değişiklik yaklaşık 140°C civarında gözlenmektedir. Termogramlarda yaklaşık 150-230°C sıcaklık aralığında gözlenen kütle kaybı mikrokapsüllerin yüzeylerinde bulunan kapsüle edilmemiş gül yağından kaynaklanmakta olup [11], bu sıcaklık aralığında 6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY, 12J/A/5GY numunelerindeki kütle miktarlarındaki azalma sırasıyla %8,4, % 9,7, % 6,7 ve % 6,4 olduğu gözlenmiştir. Bu sonuca göre en düşük oranda yüzey yağı içeren numunelerin 12J/A/5GY olduğu söylenebilir. Bu sonuç aynı zamanda deneysel olarak hesaplanan % yüzey yağ miktarı hesaplamalarıyla da benzerlik göstermektedir. Mikrokapsüllerin duvar materyalleri olarak kullanılan jelatin ve aljinat polimerleri 270°C’de bozunmaya başlar ve parçalanarak mikrokapsüllerin içerisinden ayrılan gül yağı da polimerlerle birlikte mikrokapsüllerin kütle kaybına katılır. Ancak 270°C sonrasında hem duvar materyalleri hem de çekirdek materyalin kaybı kütle kaybına sebep olduğundan dolayı toplam yağ miktarı ile toplam duvar materyal miktarını ayrı olarak belirleyebilmek mümkün olmamıştır [35, 38, 42]. 6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY, 12J/A/5GY mikrokapsüllerin 1000°C sıcaklıkta geriye kalan % kül miktarları sırasıyla % 24,1, % 21,9, % 21,4 ve % 24,9 olduğu gözlenmiştir.

Mikrokapsüllere ait DTA eğrilerinde ufak farklılıklar gözlemlenmiş olup, bu farklılık mikrokapsüllerin kaplama malzemelerinin termal özelliklerinin yanı sıra spesifik termal özellik de sergilediğini göstermektedir. DTA eğrilerinde gözlenen termal kararlılık aynı zamanda gül yağının jelatin ve aljinat ile başarılı bir şekilde enkapsüle edildiğini desteklemektedir. Ayrıca, DTA analizleri mikrokapsüllerin yüksek sıcaklıklarda bile termal kararlılıklarını koruduğunu göstermektedir. Bu nedenle, mikrokapsüllerin gıda, tekstil, kozmetik vb. sektörlerde değerlendirilebilme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir [43].

### C. Mikrokapsüllerde Yüzey Yağı ile Toplam Yağ Miktarlarının Dağılımı, Enkapsülasyon Etkinliği ve Mikroenkapsülasyon Verimi

Mikroenkapsülasyon yönteminin temel amacı genellikle aktif bir bileşik olan çekirdek materyalini çevresel stres faktörlerinden izole etmek olduğundan dolayı, kaplama materyali içerisine hapsedilen çekirdek malzemenin miktarı yöntemin başarılı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini gösteren önemli bir özelliktir. İdeal bir mikroenkapsülasyon yönteminde çekirdek materyalin yüksek oranda kaplama malzemesi içerisine yüklenmesi ve mikrokapsül yüzeyinde çekirdek malzemenin olmaması ya da ihmal edilebilir seviyede olması istenir [37]. Yapılan çalışmada elde edilen mikrokapsüllerin hem toplam yağ miktarları (%) hem de yüzey yağ (%) miktarları deneysel olarak belirlenmiş olup, elde edilen bu değerler ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan enkapsülasyon etkinlikleri Tablo 2’de verilmiştir. Mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinlikleri karşılaştırıldığında 12J/A/5GY mikrokapsüllerin en yüksek değere (% 88,0) sahipken, 6J/A/5GY mikrokapsüllerin ise en düşük değere (% 60,3) sahip olduğu görülmektedir. 12J/A/5GY numunelere ait mikrokapsüllerde yüksek değerdeki enkapsülasyon etkinliği, aljinat ve jelatinpolimerik zincirlerin çapraz bağlanması ve sentez sonrası yüzeylerindeki

fazla yağın giderilmesi için yapılan yıkama işlemlerinde mikrokapsüllerden ihmal edilebilecek düzeyde gül (*Rosa damascena* Miller) yağı kaybı olduğunu gösterir [22]. Aynı zamanda 12J/A/5GY mikrokapsüllerin % 85,5 mikrokapsülleme verimi, % 50,1 toplam yağ içeriği ile en yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey yağı (%) oranları karşılaştırıldığında, 8J/A/5GY mikrokapsüllerin yüzey yağ oranının diğer mikrokapsüllere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey yağı akışkanlık ve çözünürlük özelliklerinin yanı sıra oksidasyon kararlılığını da olumsuz etkilemektedir [44].

**Tablo 2.** Mikrokapsüllerin mikrokapsülleme verimi, enkapsülasyon etkinliği, % yüzey yağı ve % toplam yağ miktarlarına ait ortalama değerler.

Mikrokapsüller	Mikrokapsülleme Verimi (%)	Enkapsülasyon Etkinliği (%)	Yüzey Yağı (%)	Toplam Yağ (%)
6J/A/5GY	38,2	60,3	8,14	20,5
8J/A/5GY	76,6	69,1	9,15	29,6
10J/A/5GY	84,6	86,7	6,56	49,2
12J/A/5GY	85,5	88,0	6,03	50,1

Tablo 3’de 6J/A/5GY, 8J/A/5GY, 10J/A/5GY ve 12J/A/5GY mikrokapsüllerin tanımlayıcı istatistik analizleri verilmiştir. Sıralamaların ortalaması incelendiğinde mikrokapsül yapısında jelatin/aljinat oranını arttıkça mikrokapsülleme verimi, enkapsülasyon etkinliği ve % toplam yağ artmakta, % yüzey yağı ise azalmaktadır.

**Tablo 3.** Mikrokapsüllerin mikrokapsülleme verimi, enkapsülasyon etkinliği, % yüzey yağı ve % toplam yağ miktarlarına ait tanımlayıcı istatistik analizleri.

Gruplar	N	Sıralamaların Ortalaması	
Mikrokapsülleme Verimi	6J/A/GY	3	2,000
	8J/A/GY	3	5,000
	10J/A/GY	3	8,667
	12J/A/GY	3	10,333
	Toplam	12	
Enkapsülasyon Etkinliği	6J/A/GY	3	2,000
	8J/A/GY	3	5,000
	10J/A/GY	3	8,833
	12J/A/GY	3	10,167
	Toplam	12	
% Yüzey Yağı	6J/A/GY	3	8,000
	8J/A/GY	3	11,000
	10J/A/GY	3	5,000
	12J/A/GY	3	2,000
	Toplam	12	
% Toplam Yağ	6J/A/GY	3	2,000
	8J/A/GY	3	5,000
	10J/A/GY	3	9,000
	12J/A/GY	3	10,000
	Toplam	12	

Tablo 4’de Kruskal-Wallis H testi sonuçları verilmiş olup, jelatin/aljinat oranına göre mikrokapsülleme verimi ( $p=0,022<0,05$ ), enkapsülasyon etkinliği ( $p=0,022<0,05$ ), % yüzey yağ oranı ( $p=0,016<0,05$ ) ve % toplam yağ oranı ( $p=0,024<0,05$ ) farklılaşmaktadır.

**Tablo 4.** Kruskal-Wallis H Testi

	Mikrokapsülleme Verimi	Enkapsülasyon Etkinliği	% Yüzey Yağı	% Toplam Yağ
Kruskal-Wallis H	9,667	9,619	10,385	9,462
Df(Serbestlik derecesi)	3	3	3	3
Asymp. Sig.(p değeri)	0,022	0,022	0,016	0,024

#### IV.SONUÇLAR

Yapılan çalışmada kozmetik ve sağlık sektörünün yanı sıra tekstil sektöründe de kullanılabilir özellikte gül yağı (*Rosa damascena* Miller) içeren mikrokapsüllerin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla gül yağı, jelatin ve sodyum aljinat polimerik kaplama malzemeleri kullanılarak kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsülendirilmiştir. Sentez sırasında kaplama malzemesi olarak farklı oranlarda jelatin/aljinat kullanılmış olup, kaplama malzeme oranının mikrokapsüllerin yüzey morfolojisi ve termal kararlılıkları üzerine etkisinin incelenmesi için sırasıyla SEM ve DTA-TG analizleri yapılmıştır. SEM görüntülerinden mikrokapsüllerin oluşum ve yüzey morfolojisinin, sentez sırasında kaplama polimer miktarlarına önemli derecede bağlı olduğu görülmüştür. TGA-DTA analizleri ise mikrokapsüllerin yüksek sıcaklıklarda bile termal kararlılıklarını koruduğunu göstermiştir. Ayrıca, deneysel olarak yapılan çalışmalarda mikrokapsüllerin mikrokapsülleme verimi, % yüzey yağı, % toplam yağ miktarları ile enkapsülasyon etkinlikleri belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda 3 tekerrürlü olarak elde edilen veriler Kruskal-Wallis H Testi ile analiz edilmiş olup, istatistiksel sonuçlar mikrokapsüllerdeki kaplama polimer oranı ile mikrokapsülleme verimi ( $p=0,022<0,05$ ), enkapsülasyon etkinliği ( $p=0,022<0,05$ ), % yüzey yağ oranı ( $p=0,016<0,05$ ) ve % toplam yağ oranı ( $p=0,024<0,05$ ) farklılaşmakta olduğunu göstermiştir. Mikrokapsüllerde jelatin/aljinat oranı arttıkça gül yağının daha iyi korunması sağlanmış, mikrokapsüller içerisinde hapsedilen toplam yağ miktarı ve enkapsülasyon etkinliği artış gösterirken, yüzey yağı miktarı azalmıştır.

Bu çalışma sonucu elde edilen veriler, geliştirilen mikrokapsüllerin gül (*Rosa damascena* Miller) yağını başarılı bir şekilde enkapsüle ettiğini göstermektedir. Bu nedenle geliştirilen mikroenkapsüllerin tarım, sağlık, kozmetik, tekstil, biyomedikal vb. alanlarda geniş uygulama alanı bulabileceği ve sadece gül yağı için değil ticari değeri olan diğer esansiyel yağların enkapsülasyonunda da kullanılabilir özellikte olduğu düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Umana, M., Turchiuli, C., Rossello, C. & Simal, S. (2021). Addition of a mushroom by-product in oil-in-water emulsions for the microencapsulation of sunflower oil by spray drying. *Food Chemistry*, 343, 128429.
- [2] Charles, A. L., Abdilllah, A. A., Saraswati, Y. R., Sridhar, K., Balderamos, C., Masithah, E. D. & Alamsjah, M. A. (2021). Characterization of freeze-dried microencapsulation tuna fish oil with arrowroot starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 112, 106281.
- [3] Heck, R. T., Lorenzo, J. M., Dos Santos, B. A., Cichoski, A. J., de Menezes, C. R. & Campagnol, P. C. B. (2021). Microencapsulation of healthier oils: an efficient strategy to improve the lipid profile of meat products. *Current Opinion in Food Science*, 40, 6-12.
- [4] Mehran, M., Masoum, S. & Memarzadeh, M. (2020). Microencapsulation of Mentha spicata essential oil by spray drying: Optimization, characterization, release kinetics of essential oil from microcapsules in food models. *Industrial Crops and Products*, 154, 112694.
- [5] Santos, M. B., de Carvalho, C. W. P. & Garcia-Rojas, E. E. (2021). Microencapsulation of vitamin D3 by complex coacervation using carboxymethyl tara gum (*Caesalpinia spinosa*) and gelatin A. *Food Chemistry*, 343, 128529.
- [6] Budincic, J. M., Petrovic, L., Dekic, L., Fraj, J., Bucko, S., Katona, J. & Spasojevic, L. (2021). Study of vitamin E microencapsulation and controlled release from chitosan/sodium lauryl ether sulfate microcapsules. *Carbohydrate Polymers*, 251, 116988.
- [7] Dhakal, S. P. & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: a review. *Food Research International*, 137, 109326.

- [8] Ribeiro, J. S. & Veloso, C. M. (2021). Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*, 112, 106374.
- [9] Polekkad, A., Franklin, M. E. E., Pushpadass, H. A., Battula, S. N., Rao, S. B. N. & Pal, D. T. (2021). Microencapsulation of zinc by spray-drying: Characterisation and fortification. *Powder Technology*, 381, 1-16.
- [10] Martins, I. M., Barreiro, M. F., Coelho, M. & Rodrigues, A. E. (2014). Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chemical Engineering Journal*, 245, 191-200.
- [11] Xiao, Z., Kang, Y., Hou, W., Niu, Y. & Kou, X. (2019). Microcapsules based on octenyl succinic anhydride (OSA)-modified starch and maltodextrins changing the composition and release property of rose essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 132-138.
- [12] Özçelik, H. & Orhan, H. (2014). Türkiye'nin Gülleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 9(1), 43-55.
- [13] Örmeci Kart, M. Ç., İkiz, M. & Demircan, V. (2012). Türkiye'de Yağ Güllü (*Rosa damascena*) Üretimi ve Ticaretinin Gelişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(1), 124-134.
- [14] Uysal, M., Yılmaz Doğru, H., Sapmaz, E., Taş, U., Çakmak, B., Özsoy, A. Z., Şahin, F., Ayan, S. & Esen, M. (2016). Investigating the effect of rose essential oil in patients with primary dysmenorrhea. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 24, 45-49.
- [15] Yi, F., Sun, J., Bao, X., Ma, B. & Sun, M. (2019). Influence of molecular distillation on antioxidant and antimicrobial activities of rose essential oils. *LWT*, 102, 310-316.
- [16] Baydar, H., Kazaz, S., Erbaş, S. & Örucü, Ö. K. (2008). Soğukta muhafaza ve kurutmanın yağ güllü çiçeklerinin uçucu yağ içeriği ve bileşimine etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 42-48.
- [17] Kujur, A., Kiran, S., Dubey, N. K. & Prakash, B. (2017). Microencapsulation of *Gaultheria procumbens* essential oil using chitosan-cinnamic acid microgel: Improvement of antimicrobial activity, stability and mode of action. *LWT*, 86, 132-138.
- [18] Kavoosi, G., Derakhshan, M., Salehi, M. & Rahmati, L. (2018). Microencapsulation of zataria essential oil in agar, alginate and carrageenan. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 418-425.
- [19] Karrar, E., Mahdi, A. A., Sheth, S., Ahmed, I. A. M., Manzoor, M. F., Wei, W. & Wang, X. (2021). Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gorum seed oil using a spray-drying method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 208-216.
- [20] Alkhatib, H., Mohamed, F., Akkawi, M. E., Alfatama, M., Chatterjee, B. & Doolaanea, A. A. (2020). Microencapsulation of black seed oil in alginate beads for stability and taste masking. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 60, 102030.
- [21] Rungwasantisuk, A. & Raibhu, S. (2020). Application of encapsulating lavender essential oil in gelatin/gum-arabic complex coacervate and varnish screen-printing in making fragrant gift-wrapping paper. *Progress in Organic Coatings*, 149, 105924.
- [22] Sutaphanit, P. & Chitprasert, P. (2014). Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology. *Food Chemistry*, 150, 313-320.
- [23] Peng, C., Zhao, S. Q., Zhang, J., Huang, G. Y., Chen, L. Y. & Zhao, F. Y. (2014). Chemical composition, antimicrobial property and microencapsulation of Mustard (*Sinapis alba*) seed essential oil by complex coacervation. *Food Chemistry*, 165, 560-568.
- [24] Muhoza, B., Xia, S. & Zhang, X. (2019). Gelatin and high methyl pectin coacervates crosslinked with tannic acid: The characterization, rheological properties, and application for peppermint oil microencapsulation. *Food Hydrocolloids*, 97, 105174.
- [25] Guo, J., Li, P., Kong, L. & Xu, B. (2020). Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying. *LWT*, 132, 109892.
- [26] Sturm, L., Crnivec, I. G. O., Istenic, K., Ota, A., Megusar, P., Slukan, A., Humar, M., Levic, S., Nedovic, V., Kopinc, R., Dezelak, M., Gonzales, A. P. & Ulrih, N. P. (2019). Encapsulation of non-dewaxed propolis by freeze-drying and spray-drying using gum Arabic, maltodextrin and inulin as coating materials. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 196-211.
- [27] Freitas, S., Merkle, H. P. & Gander, B. (2005). Microencapsulation by solvent extraction/evaporation: reviewing the state of the art of microsphere preparation process technology. *Journal of Controlled Release*, 102(2), 313-332.

- [28] da Costa Neto, J. J. G., Gomes, T. L. M., Justo, T. F., Pereira, K. S., Amaral, P. F. F., Leao, M. H. M. R., & Sant'Ana, G. C. F. (2019). Microencapsulation of tiger nut milk by lyophilization: Morphological characteristics, shelf life and microbiological stability. *Food Chemistry*, 284, 133-139.
- [29] Di Giorgio, L., Salgado, P. R. & Mauri, A. N. (2019). Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying. *Food Hydrocolloids*, 87, 891-901.
- [30] Timilsena, Y. P., Akanbi, T. O., Khalid, N., Adhikari, B. & Barrow, C. J. (2019). Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1276-1286.
- [31] Schmitt, C. & Turgeon, S. L. (2011). Protein/polysaccharide complexes and coacervates in food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 167(1-2), 63-70.
- [32] Lemetter, C. Y. G., Meeuse, F. M. & Zuidam, N. J. (2009). Control of the morphology and the size of complex coacervate microcapsules during scale-up. *AIChE Journal*, 55(6), 1487-1496.
- [33] Shinde, U. A. & Nagarsenker, M. S. (2009). Characterization of gelatin-sodium alginate complex coacervation system. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 71(3), 313.
- [34] Devi, N., Hazarika, D., Deka, C. & Kakati, D. K. (2012). Study of complex coacervation of gelatin A and sodium alginate for microencapsulation of olive oil. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 49(11), 936-945.
- [35] de Matos, E. F., Scopel, B. S. & Dettmer, A. (2018). Citronella essential oil microencapsulation by complex coacervation with leather waste gelatin and sodium alginate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 1989-1994.
- [36] Leclercq, S., Harlander, K. R. & Reineccius, G. A. (2009). Formation and characterization of microcapsules by complex coacervation with liquid or solid aroma cores. *Flavour and Fragrance Journal*, 24(1), 17-24.
- [37] Timilsena, Y. P., Vongsvivut, J., Tobin, M. J., Adhikari, R., Barrow, C. & Adhikari, B. (2019). Investigation of oil distribution in spray-dried chia seed oil microcapsules using synchrotron-FTIR microspectroscopy. *Food Chemistry*, 275, 457-466.
- [38] Vaziri, A. S., Alemzadeh, I., Vossoughi, M. & Khorasani, A. C. (2018). Co-microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* and DHA fatty acid in alginate-pectin-gelatin biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 199, 266-275.
- [39] de Araujo, J. S. F., de Souza, E. L., Oliveira, J. R., Gomes, A. C. A., Kotzebue, L. R. V., da Silva Agostini, D. L., de Oliveira, D. L. V., Mazzetto, S.E., de Silva, A. L. & Cavalcanti, M. T. (2020). Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by lyophilization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 991-999.
- [40] Kalaycı, Ş. (2010). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- [41] Dima, C., Patrascu, L., Cantaragiu, A., Alexe, P. & Dima, Ş. (2016). The kinetics of the swelling process and the release mechanisms of *Coriandrum sativum* L. essential oil from chitosan/alginate/inulin microcapsules. *Food Chemistry*, 195, 39-48.
- [42] Jannasari, N., Fathi, M., Moshtaghian, S. J. & Abbaspourrad, A. (2019). Microencapsulation of vitamin D using gelatin and cress seed mucilage: Production, characterization and in vivo study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 972-979.
- [43] Karaaslan, M., Şengün, F., Cansu, Ü., Başyigit, B., Sağlam, H. & Karaaslan, A. (2021). Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. *Food Chemistry*, 337, 127748.
- [44] Özyurt, G., Durmuş, M., Uçar, Y. & Özoğul, Y. (2020). The potential use of recovered fish protein as wall material for microencapsulated anchovy oil. *LWT*, 129, 109554.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Farklı Yanlılık Parametreleri İçin Ridge GM Tahmin Edicilerinin Performanslarının Karşılaştırılması\*

## Comparison of the Performances of Ridge GM Estimators for Different Biased Parameters

Melike Işıl<sup>1</sup>, Y. Murat Bulut<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 09/02/2021*

*Revize / Revised: 27/03/2021*

*Kabul / Accepted: 30/03/2021*

### ÖZ

Çoklu lineer regresyon modelinde yaygın olarak karşılaşılan problemler çoklu iç ilişki ve aykırı değer problemleridir. Bu iki problemin eş anlı çözümleri için literatürde sağlam yanlı tahmin ediciler üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Bu tahmin edicilerden en yaygın kullanılanları sağlam Ridge tahmin edicileridir. Yanlılık parametresine bağlı olan Ridge tahmin edicisine ilişkin günümüzde de pek çok çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yanlılık parametresinin performansı klasik Ridge tahmin edicisinde incelenmektedir. Bu çalışmada her iki değişkende de aykırı değer olması ve çoklu iç ilişki probleminin ortak çözümü için önerilmiş olan Ridge GM tahmin edicisinde literatürde daha önce önerilmiş olan yanlılık parametrelerinin performansları simülasyon çalışması ve gerçek veri örneği üzerinde incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Lineer Regresyon Modeli, Çoklu İç İlişki, Aykırı Değer, Ridge Regresyon, Yanlılık Parametresi*

### ABSTRACT

In the multiple linear regression model, commonly encountered problems are multicollinearity and outlier problems. There are many studies about robust biased estimators in the literature to solve these problems simultaneously. The most commonly used of these estimators are robust Ridge estimators. Many studies are still carried out on the Ridge estimator, which depends on the biasing parameter. The performances of the previously proposed biased parameters were compared in the classical Ridge estimator. In this study, we have compared the performances of the biasing parameters for the robust Ridge GM estimators based on the simulation and real data studies.

**Keywords-** *Linear Regression Model, Multicollinearity, Outlier, Ridge Regression, Biasing Parameter*

\*Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Y. Murat Bulut danışmanlığında Melike Işıl tarafından, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim dalı, İstatistik Teorisi Bilim dalında tamamlanan yüksek lisans tezinin bir bölümünden üretilmiştir.

<sup>1</sup>İletişim: [melikeisilar@gmail.com](mailto:melikeisilar@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-6821-1064>)

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 26040, Eskişehir, Türkiye*

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [ybulut@ogu.edu.tr](mailto:ybulut@ogu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-0545-7339>)

*İstatistik Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, 26040, Eskişehir, Türkiye*



## I. GİRİŞ

Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemek için istatistikte yaygın olarak kullanılan teknik regresyon analizidir. Lineer regresyon analizinde parametreleri tahmin etmek için en küçük kareler (EKK) tahmin edicisi kullanılmaktadır. Regresyon analizinin varsayımlarının sağlanması durumunda EKK tahmin edicisi lineer tahmin ediciler içinde en iyi yansız tahmin edicidir.

Uygulamada elde edilen verilerde genellikle regresyon analizinin varsayımları sağlanamamaktadır. Varsayımların bozulmasına neden olan problemler genellikle veri setinde aykırı değer bulunması ve bağımsız değişkenler arasında lineer bir ilişki olması durumlarıdır.

Veri setinde aykırı değer bulunması durumunda bu problemin çözümü için sıklıkla sağlam tahmin ediciler kullanılmaktadır. Regresyon analizinde aykırı değer probleminin çözümü için yaygın olarak Huber [1] tarafından önerilen M tipi tahmin ediciler kullanılmaktadır. Bağımlı değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkin sonuçlar veren M tahmin edicisi (ME), bağımsız değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkinliğini kaybetmektedir. Bu nedenle bağımsız değişkende de aykırı değer bulunması durumunda etkin sonuçlar elde etmek amacıyla Mallows [2] ve Handschin vd. [3] tarafından farklı iki çalışma ile Genelleştirilmiş M tahmin edicisi (GME) önerilmiştir.

Çoklu lineer regresyon modelinde bağımsız değişkenler arasında şiddetli bir lineer ilişki bulunması durumu çoklu iç ilişki problemi olarak adlandırılmaktadır. Çoklu iç ilişki probleminde EKK tahmin edicisinin varyansı artmaktadır. Bu problemin çözümü için literatürde genellikle yanlı tahmin ediciler kullanılmaktadır. Yaygın olarak bilinen yanlı tahmin edici Hoerl ve Kennard [4] tarafından önerilen Ridge tahmin edicisidir (RE). RE,  $k$  yanlılık parametresine bağlı bir tahmin edicidir.  $k$  parametresi RE' nin lineer bir fonksiyonu olarak yazılamamaktadır. Bu nedenle  $k$  parametresinin tahmini için literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları: Theobald [5], Hoerl vd. [6], Lawless [7], Hocking vd. [8], Kibria [9], Khalaf ve Shukur [10], Alkhamisi vd. [11], Alkhamisi ve Shukur [12], Muniz ve Kibria [13], Al-Hassan [14], Muniz vd. [15], Dorugade [16], Karaibrahimoğlu vd. [17], Asar ve Genç [18] tarafından yapılan çalışmalardır.

Uygulamada aykırı değer ve çoklu iç ilişki problemleri ile tek tek karşılaşılabileceği gibi sıklıkla bu problemler birlikte de görülmektedir. Bu nedenle problemlerin ortak çözümleri için sağlam Ridge tahmin edicileri önerilmiştir. Sağlam Ridge tahmin edicisi olarak Silvapulle [19] tarafından Ridge M tahmin edicisi (RME) önerilmiştir. RME, ME' ye bağlı olduğu için bağımlı değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkin sonuçlar verse de bağımsız değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkinliğini kaybetmektedir. Bu problemin çözümü için ise Arslan ve Billor [20] tarafından çoklu iç ilişki ve hem bağımlı hem de bağımsız değişkende aykırı değer bulunması problemlerinin ortak çözümleri için Ridge GM tahmin edicisi (RGME) önerilmiştir.

Sağlam Ridge tahmin edicilerinin performansı da  $k$ , yanlılık parametresine bağlıdır. Literatürde önerilen  $k$  parametresi tahmin edicilerinin performansları RE için karşılaştırılmıştır [21]. Sağlam Ridge tahmin edicileri ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle Hoerl ve Kennard [4] tarafından önerilen  $k$  parametresinin tahmin edicisi kullanılmıştır. Işlar [22] tezinde veri setinde hem bağımlı hem de bağımsız değişkende aykırı değer olması ve bağımsız değişkenler arasında yüksek lineer ilişki olması durumunda önerilen farklı  $k$  tahmin edicilerine bağlı olarak RGME' nin performanslarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmada da veri setinde aykırı değer bulunması durumunda önerilen  $k$  parametrelerinin performansları RE, RME ve RGME tahmin edicileri için karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ikinci bölümde regresyon analizinde kullanılan EKK, M, GM, RE, RME ve RGME anlatılmıştır. Üçüncü bölümde RE' de  $k$  parametresi için önerilen tahmin ediciler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise simülasyon çalışması ve gerçek veri örneğinin sonuçları verilmiştir. Beşinci bölümde ise simülasyon ve gerçek veriden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

## II. LİNEER REGRESYON ANALİZİ VE PARAMETRE TAHMİNİ

Çoklu lineer regresyon modeli,

$$y = \mathbf{X}\beta + \varepsilon \quad (1)$$

şekindedir. Burada  $y$ ;  $n \times 1$  boyutlu bağımlı değişken vektörü,  $\mathbf{X}$ ;  $n \times p$  boyutlu bağımsız değişken matrisi,  $\beta$ ;  $p \times 1$  boyutlu parametre vektörü,  $\varepsilon$ ;  $n \times 1$  boyutlu hata vektörüdür. Ayrıca hata terimleri  $E(\varepsilon) = 0$  ve  $Cov(\varepsilon) = \sigma^2 \mathbf{I}$  dir.

Regresyon analizinde parametreleri tahmin etmek için sıklıkla Eşitlik (2)' de verilen EKK tahmin edicisi kullanılmaktadır.

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (2)$$

EKK tahmin edicisine ait matris hata kareler ortalaması (MMSE) ve hata kareler ortalaması (MSE) denklemleri sırasıyla Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)' te verildiği gibidir.

$$MMSE(\hat{\beta}) = \sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \quad (3)$$

$$MSE(\hat{\beta}) = \sigma^2 \sum_{j=1}^p \frac{1}{\lambda_j} \quad (4)$$

Burada  $\lambda_j$ ,  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$  matrisinin öz değerleridir.

Aykırı değer probleminin çözümü için Huber [1] tarafından önerilen ME' nin amaç fonksiyonu,

$$\arg \min_{\beta} \rho\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \quad (5)$$

şeklinde. ME' de kullanılacak olan  $\rho$ , amaç fonksiyonunun sağlaması gereken özellikler aşağıdaki gibidir:

- $\rho(\varepsilon) \geq 0$
- $\rho(0) = 0$
- $\rho(\varepsilon) = \rho(-\varepsilon)$
- $0 < \varepsilon_i < \varepsilon_j$  için  $\rho(\varepsilon_i) < \rho(\varepsilon_j)$ .

Bağımsız değişkende de aykırı değer bulunması durumunda etkin sonuçlar elde etmek amacıyla önerilen GM tahmin edicisinin genel olarak amaç fonksiyonu,

$$\arg \min_{\beta} \sigma^2 \rho\left(\frac{\varepsilon}{\sigma u^\alpha}\right) u^{\alpha+1} \quad (6)$$

şeklinde [23]. Burada  $u$ , bağımsız değişkenlere bağlı olarak hesaplanan gözlemlere verilen ağırlık vektörüdür. Mallows [3] GM tahmin edicisinin genel amaç fonksiyonunda  $\alpha = 0$  olması durumunda Mallows tipi GM tahmin edicisini, Handschin vd. [4] ise  $\alpha = 1$  olması durumunda Schweppe tipi GM tahmin edicisini önermişlerdir.

Çoklu iç ilişki problemi Farrar ve Glauber [24] tarafından  $\mathbf{X}$  matrisinin ortogonal olmaması olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdan yola çıkarak Silvey [25]  $\mathbf{X}$  matrisini ortogonalliğe yaklaştırmak amacıyla genel regresyon modelini Eşitlik (7)' de verilen kanonik formda tanımlamıştır.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\beta + \varepsilon = \mathbf{XZZ}'\beta + \varepsilon = \mathbf{T}\alpha + \varepsilon \quad (7)$$

Yapılan çalışmalarda genellikle  $\mathbf{Z}$  matrisi  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$  matrisinin özvektörlerinden oluşan matris olarak seçilse de herhangi bir ortogonal matris olarak önerilmiştir.

Çoklu iç ilişki probleminin çözümü için Hoerl ve Kennard [4] tarafından önerilen RE' nin EKK tahmin edicisine göre lineer dönüşümü ile çözümü Eşitlik (8)' de verilmiştir:

$$\hat{\alpha}(k) = \mathbf{Q}_k^{-1}\mathbf{Q}\hat{\alpha} \quad (8)$$

Burada  $k > 0$ , yanlılık parametresi olmak üzere  $\mathbf{Q} = \mathbf{T}'\mathbf{T}$  ve  $\mathbf{Q}_k = \mathbf{T}'\mathbf{T} + k\mathbf{I}'$  dir. RE' nin MMSE ve MSE denklemleri sırasıyla Eşitlik (9) ve (10)' da verildiği gibidir:

$$MMSE(\hat{\alpha}(k)) = \sigma^2 \mathbf{Q}_k^{-1}\mathbf{Q}\mathbf{Q}_k^{-1} + k^2 \mathbf{Q}_k^{-1}\alpha'\alpha\mathbf{Q}_k^{-1} \quad (9)$$

$$MSE(\hat{\alpha}(k)) = \sigma^2 \sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j}{(\lambda_j+k)^2} + k^2 \sum_{j=1}^p \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j+k)^2} \quad (10)$$

Çoklu iç ilişki ve aykırı değer problemlerinin eşanlı çözümleri için Silvapulle [19] tarafından önerilen RME Eşitlik (11)' de verilmiştir:

$$\hat{\alpha}(k_M) = \mathbf{Q}_{k_M}^{-1}\mathbf{Q}\hat{\alpha}_M \quad (11)$$

Burada  $k_M > 0$ ,  $\hat{\alpha}_M$  ile tahmin edilen yanlılık parametresidir. RME' nin MMSE ve MSE denklemleri sırasıyla Eşitlik (12) ve (13)' de verildiği gibi tanımlanmıştır:

$$MMSE(\hat{\alpha}(k_M)) = \mathbf{Q}_{k_M}^{-1}\mathbf{Q}\mathbf{Q}_{k_M}^{-1} + k^2 \mathbf{Q}_{k_M}^{-1}\alpha'\alpha\mathbf{Q}_{k_M}^{-1} \quad (12)$$

$$MSE(\hat{\alpha}(k_M)) = \sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j^2 \Omega_{jj}}{(\lambda_j + k)^2} + k^2 \sum_{j=1}^p \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j + k)^2} \quad (13)$$

Burada  $\Omega$ , ME' nin kovaryans matrisidir.

RME' nin bağımsız değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkinliğini kaybetmesinden dolayı Arslan ve Billor [20] tarafından Eşitlik (14)' te verilen RGME tahmin edicisi önerilmiştir:

$$\hat{\alpha}(k_{GM}) = \mathbf{Q}_{k_{GM}}^{-1} \mathbf{Q} \hat{\alpha}_{GM} \quad (14)$$

RGME' ne ait MMSE ve MSE denklemleri ise Eşitlik (15) ve (16)' da verildiği gibidir.

$$MMSE(\hat{\alpha}(k_{GM})) = \mathbf{Q}_{k_{GM}}^{-1} \mathbf{Q} \Omega^* \mathbf{Q}_{k_{GM}}^{-1} + k^2 \mathbf{Q}_{k_{GM}}^{-1} \alpha' \alpha \mathbf{Q}_{k_{GM}}^{-1} \quad (15)$$

$$MSE(\hat{\alpha}(k_{GM})) = \sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j \Omega_{jj}^*}{(\lambda_j + k)^2} + k^2 \sum_{j=1}^p \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j + k)^2} \quad (16)$$

Burada  $\Omega^*$ , GM tahmin edicisinin kovaryans matrisidir.

### III. YANLILIK PARAMETRESİ İÇİN TAHMİN EDİCİLER

Bu bölümde RE' de  $k$  parametresi için literatürde önerilmiş olan bazı tahmin ediciler verilmiştir.

Bu tahmin edicilerden  $k_1$  ve  $k_2$  tahmin edicileri Hoerl ve Kennard [4],  $k_3$  tahmin edicisi Theobald [5] ve  $k_4$  tahmin edici ise Hoerl vd. [6] tarafından önerilmiştir:

$$\hat{k}_1 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}' \hat{\alpha}}, \quad \hat{k}_2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_{max}^2}, \quad \hat{k}_3 = \frac{2\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}' \hat{\alpha}}, \quad \hat{k}_4 = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}' \hat{\alpha}}$$

Daha sonra  $k_5$  tahmin edicisi Lawless [7] ve  $k_6$  tahmin edicisi ise Hocking vd. [8] tarafından önerilmiştir:

$$\hat{k}_5 = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{\alpha}_j^2}, \quad \hat{k}_6 = \hat{\sigma}^2 \frac{\sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{\alpha}_j^2}{(\sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{\alpha}_j^2)^2}$$

$k_7 - k_9$  tahmin edicileri ise  $m_j = \hat{\sigma}^2 / \hat{\alpha}_j^2$  olmak üzere Kibria [9] tarafından önerilmiştir:

$$\hat{k}_7 = \text{mean}(m_j), \quad \hat{k}_8 = \text{median}(m_j), \quad \hat{k}_9 = \frac{\hat{\sigma}^2}{(\prod_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2)^{1/p}}$$

$k_{10}$  tahmin edicisi Khalaf ve Shukur [10] tarafından tanımlanmıştır:

$$\hat{k}_{10} = \frac{\lambda_{max} \hat{\sigma}^2}{(n - p - 1) \hat{\sigma}^2 + \lambda_{max} \hat{\alpha}_{max}^2}$$

Daha sonra Alkhamisi vd. [11] çalışmasında  $t_j = \frac{\lambda_j \hat{\sigma}^2}{(n-p-1)\hat{\sigma}^2 + \lambda_j \hat{\alpha}_j^2}$  olmak üzere  $k_{11} - k_{13}$  tahmin edicilerini önermişlerdir:

$$\hat{k}_{11} = \max(t_j), \quad \hat{k}_{12} = \text{mean}(t_j), \quad \hat{k}_{13} = \text{median}(t_j)$$

Alkhamisi ve Shukur [12] çalışmasında ise  $k_{14} - k_{18}$  tahmin edicilerini geliştirmişlerdir:

$$\hat{k}_{14} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}' \hat{\alpha}} + \frac{1}{\lambda_{max}}, \quad \hat{k}_{15} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{\alpha}_j^2} + \frac{1}{\lambda_{max}}, \quad \hat{k}_{16} = \max\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_j^2} + \frac{1}{\lambda_j}\right)$$

$$\hat{k}_{17} = \text{mean}\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_j^2} + \frac{1}{\lambda_j}\right), \quad \hat{k}_{18} = \text{median}\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_j^2} + \frac{1}{\lambda_j}\right)$$

Ayrıca  $k_{19} - k_{25}$  tahmin edicileri ise  $\hat{\sigma}_j^2, j$ . bağımsız değişkenin varyansı ve  $f_j = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_j^2}{\hat{\alpha}_j^2}}$  olmak üzere Muniz ve Kibria [13] tarafından önerilmiştir:

$$\hat{k}_{19} = \max(f_j), \hat{k}_{20} = \max\left(\frac{1}{f_j}\right), \hat{k}_{21} = \text{median}(f_j), \hat{k}_{22} = \text{median}\left(\frac{1}{f_j}\right)$$

$$\hat{k}_{23} = \text{geomean}(f_j), \hat{k}_{24} = \text{geomean}\left(\frac{1}{f_j}\right), \hat{k}_{25} = \left(\prod_{j=1}^p \frac{\lambda_j \hat{\sigma}_j^2}{(n-p-1)\hat{\sigma}_j^2 + \lambda_j \hat{\alpha}_j^2}\right)^{\frac{1}{p}}$$

Al-Hassan [14] çalışmasında ise  $k_{26}$  tahmin edicisini önermiştir:

$$\hat{k}_{26} = \hat{\sigma}^2 \frac{\sum_{j=1}^p (\lambda_j \hat{\alpha}_j)^2}{\left(\sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{\alpha}_j^2\right)^2} + \frac{1}{\lambda_j}$$

$v_j = \frac{\lambda_{\max} \hat{\sigma}^2}{(n-p-1)\hat{\sigma}^2 + \lambda_{\max} \hat{\alpha}_j^2}$  olmak üzere Muniz vd. [15]  $k_{27} - k_{38}$  tahmin edicilerini tanımlamışlardır:

$$\hat{k}_{27} = \text{geomean}(t_j), \hat{k}_{28} = \max\left(\frac{1}{\sqrt{m_j}}\right), \hat{k}_{29} = \max(\sqrt{m_j}), \hat{k}_{30} = \text{geomean}\left(\frac{1}{\sqrt{m_j}}\right)$$

$$\hat{k}_{31} = \text{geomean}(\sqrt{m_j}), \hat{k}_{32} = \text{median}\left(\frac{1}{\sqrt{m_j}}\right), \hat{k}_{33} = \text{median}(\sqrt{m_j}), \hat{k}_{34} = \max\left(\frac{1}{\sqrt{v_j}}\right)$$

$$\hat{k}_{35} = \max(\sqrt{v_j}), \hat{k}_{36} = \text{median}\left(\frac{1}{\sqrt{v_j}}\right), \hat{k}_{37} = \text{geomean}\left(\frac{1}{\sqrt{v_j}}\right), \hat{k}_{38} = \text{geomean}(\sqrt{v_j})$$

Dorugade [16] çalışmasında ise  $k_{39} - k_{42}$  tahmin edicilerini geliştirmiştir:

$$\hat{k}_{39} = \text{mean}\left(\frac{2\hat{\sigma}^2}{\lambda_{\max} \hat{\alpha}_j^2}\right), \hat{k}_{40} = \text{median}\left(\frac{2\hat{\sigma}^2}{\lambda_{\max} \hat{\alpha}_j^2}\right), \hat{k}_{41} = \frac{2\hat{\sigma}^2}{\lambda_{\max}} \left(\prod_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2\right)^{\frac{1}{p}}, \hat{k}_{42} = \frac{2p\hat{\sigma}^2}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^p \frac{1}{\hat{\alpha}_j^2}$$

$k_{43} - k_{46}$  tahmin edicileri ise Karaibrahimoğlu vd. [17] tarafından önerilmiştir:

$$\hat{k}_{43} = \frac{p}{\sqrt{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2}, \hat{k}_{44} = \frac{\sqrt{5}p}{\lambda_{\max} \sum_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2}, \hat{k}_{45} = \frac{2p}{\sum_{j=1}^p \lambda_j^{1/4} \sum_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2}, \hat{k}_{46} = \frac{2p}{\sqrt{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \sum_{j=1}^p \hat{\alpha}_j^2}$$

Daha sonra Asar ve Genç [18] çalışmasında  $h_j = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{\lambda_j \hat{\alpha}_j^2}}$  olmak üzere  $k_{47} - k_{54}$  tahmin edicilerini önermişlerdir:

$$\hat{k}_{47} = \text{mean}(h_j), \hat{k}_{48} = \text{geomean}(h_j), \hat{k}_{49} = \text{median}(h_j), \hat{k}_{50} = \max(h_j)$$

$$\hat{k}_{51} = \text{median}\left(\frac{1}{h_j}\right), \hat{k}_{52} = \text{mean}\left(\frac{1}{h_j}\right), \hat{k}_{53} = \text{harmmean}\left(\frac{1}{h_j}\right), \hat{k}_{54} = \text{harmmean}(h_j)$$

Bu tahmin edicilerde *mean*, *geomean*, *median* ve *harmmean* sırasıyla ortalama, geometrik ortalama, medyan ve harmonik ortalamayı ifade etmektedir.

#### IV. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE GERÇEK VERİ UYGULAMASI

##### A. Simülasyon Çalışması

Simülasyon çalışmasında hem bağımlı hem de bağımsız değişkende aykırı değer ve çoklu iç ilişki bulunan veri setleri üretilmiştir. Bu amaçla McDonald ve Galarneau' nun [26] Eşitlik (17)' de verilen formülü kullanılarak ilişkili bağımsız değişkenler üretilmiştir.

$$x_{ij} = (1 - \rho^2)^{1/2} z_{ij} + \rho z_{i(p+1)}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, p \quad (17)$$

Burada p, bağımsız değişken sayısı, n, örneklem hacmi olmak üzere  $\rho^2$  bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı,  $z_{ij}$  ise  $N(0,1)$  dağılımından olan rassal sayılardır.

$\beta$  parametre vektörü,  $X'X$  matrisinin en büyük öz değerine karşılık gelen öz vektörü seçilerek  $\beta'\beta = 1$  olacak şekilde seçilmiştir [27]. Aralarında yüksek lineer ilişki olan bağımsız değişkenler üretildikten sonra Eşitlik (1)' de verilen formül ile bağımlı değişken vektörü oluşturulmuştur. Bu çalışmada bağımsız değişkende de aykırı değer bulunması durumunda RME tahmin edicisinin etkinliğini kaybetmesinden dolayı RGME tahmin edicisi üzerinde durulmuştur. Bu nedenle simülasyon çalışmasında bağımlı değişken vektöründe %5 aykırı değer bulunurken bağımsız değişkenlerde %5 ve %10 aykırı değer bulunması durumları ele alınmıştır. Hem bağımlı hem de bağımsız değişkende aykırı değer bulunması durumu ele alındığı için üretilen veri setlerinde a tane aykırı değer, bağımlı değişkende birinci gözlemden a. gözleme kadar, bağımsız değişkenlere ise (n-a+1). gözlemden n. gözleme kadar olan gözlemler için oluşturulmuştur. Bağımlı değişken vektöründeki %5 gözlem  $N(10,1)$  dağılımından rassal üretilen sayılar ile değiştirilmiştir. Bağımsız değişken matrisindeki örneklem hacminin %5 ve %10'u kadar olan sondaki satırlar ise yine benzer şekilde  $N(10,1)$  dağılımından rassal olarak üretilen sayılar ile değiştirilmiştir.

Simülasyon çalışmaları için örnek hacmi 30, 50 ve 70, bağımsız değişken sayısı 4 ve 6, korelasyon değeri 0,90, 0,95 ve 0,99, bağımsız değişkendeki aykırı değer oranları ise %5 ve %10 olarak seçilmiştir. Lineer regresyon modeli ise sabit terimsiz olarak kurulmuştur. Simülasyonlar 5000 tekrar ile çalıştırılmıştır. Gerçek veri uygulaması ve simülasyon çalışmaları R programı kullanılarak yapılmıştır [28]. Tahmin edicilerin Eşitlik (18)' de verilen denklem kullanılarak MSE değerleri hesaplanmıştır:

$$MSE(\hat{\alpha}^*) = \frac{1}{5000} \sum_{i=1}^{5000} (\hat{\alpha}_i^* - \alpha)' (\hat{\alpha}_i^* - \alpha) \quad (18)$$

Burada  $\hat{\alpha}^*$ ,  $\alpha$ ' nın herhangi bir tahmin edicisini göstermektedir. Simülasyon çalışması sonucunda tahmin edicilerin MSE değerlerine ait sonuçlar ise Tablo 1 – 4' te verilmiştir.

**Tablo 1.** p=4 ve %5 aykırı değer bulunması durumunda MSE değerleri

n	30			50			70		
	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99
$\alpha$	7,1194	13,2705	62,8334	3,6846	7,0236	42,3089	3,0381	5,0692	27,5966
$\alpha_M$	4,5433	8,7354	48,2042	2,9147	3,4999	31,7434	2,1452	3,2538	20,9420
$\alpha_{GM}$	2,1347	3,5539	13,7652	11,3489	1,7861	6,8050	1,1595	1,5816	4,9936
$k_1$	1,8597	3,0101	11,3489	1,2290	1,5902	5,6711	1,0990	1,4533	4,3900
$k_2$	1,5015	2,2596	7,9760	1,0956	1,3468	4,0918	1,0100	1,2769	3,4600
$k_3$	1,6794	2,6484	9,8598	1,1654	1,4494	4,9455	1,0573	1,3616	3,9793
$k_4$	1,4418	2,1794	7,9773	1,0722	1,2580	4,0220	0,9923	1,2268	3,4051
$k_5$	2,1159	3,5290	13,3525	1,3098	1,7818	6,7259	1,1490	1,5693	4,9472
$k_6$	1,4401	1,8398	3,2181	1,1606	1,3463	2,6176	1,0555	1,3167	2,5249
$k_7$	0,9628	1,2785	3,2913	0,8437	0,8933	2,1377	0,8077	0,8847	2,0652
$k_8$	1,2115	1,7236	4,9825	0,9545	1,0968	2,9057	0,8965	1,0783	2,7444
$k_9$	1,5453	2,3063	8,0129	1,1363	1,3873	4,1453	1,0416	1,3155	3,4934
$k_{10}$	1,4415	1,8414	3,0573	1,1654	1,3564	2,6200	1,0587	1,3227	2,5382
$k_{11}$	1,7740	2,6421	6,2143	1,2468	1,5996	4,5075	1,1099	1,4722	3,9358
$k_{12}$	1,9684	3,2418	11,7828	1,2778	1,7212	6,3204	1,1320	1,5360	4,7248
$k_{13}$	1,3523	1,6050	2,4929	1,1022	1,2977	2,2648	1,0293	1,2352	2,1595
$k_{14}$	1,0651	1,5089	5,3466	0,8281	0,9832	3,2038	0,7900	0,9187	2,2577
$k_{15}$	1,1280	1,6465	6,8974	0,9839	1,2355	4,0300	0,8836	1,0097	3,0914
$k_{16}$	<b>0,8251</b>	<b>0,9860</b>	1,4678	<b>0,7972</b>	<b>0,8068</b>	1,3204	<b>0,7886</b>	<b>0,7881</b>	1,4749
$k_{17}$	0,9532	1,2255	2,1444	0,8822	0,8953	1,8456	0,8572	0,8714	1,7284
$k_{18}$	1,1946	1,6297	2,6952	0,9508	1,0797	2,4464	0,8952	1,0721	2,2267
$k_{19}$	0,8529	0,9968	1,5373	0,8484	0,8804	1,4199	0,8248	0,8575	1,3709
$k_{20}$	1,8469	2,5592	3,6582	1,2504	2,5545	2,8324	1,1230	1,4774	2,2768
$k_{21}$	1,1333	1,4222	2,8407	0,9705	1,1447	2,1050	0,9272	1,0511	2,0548
$k_{22}$	1,9622	2,9477	5,8537	1,2752	1,6382	3,9256	1,1354	1,5138	3,8855
$k_{23}$	1,0943	1,3728	2,8212	0,9539	1,1042	2,0064	0,9271	1,0204	1,9969
$k_{24}$	1,9869	3,0123	6,2080	1,2822	1,6661	4,1083	1,1382	1,5247	3,9748
$k_{25}$	1,8430	2,9476	9,9846	1,2524	1,6583	5,8287	1,1159	1,4976	4,4724
$k_{26}$	1,5012	2,2586	7,9607	1,0955	1,3465	4,0879	1,0100	1,2769	3,4591
$k_{27}$	1,9275	3,1250	11,0763	1,2687	1,6926	6,0923	1,1261	1,5206	4,6276
$k_{28}$	1,6216	1,9949	2,1763	1,1967	1,3948	2,0838	1,0934	1,3790	2,0211
$k_{29}$	1,0574	1,3469	2,6216	0,9089	0,9697	1,9920	0,8807	0,9516	1,8548
$k_{30}$	1,8466	2,5779	3,9914	1,2542	1,5667	3,0523	1,1246	1,4701	2,9501
$k_{31}$	1,4005	1,9203	4,6601	1,0713	1,2203	2,8791	0,9963	1,2201	2,8465
$k_{32}$	1,7998	2,4748	3,6924	1,2408	1,5205	2,9908	1,1184	1,4476	2,8193
$k_{33}$	1,4432	1,9822	4,6536	1,0849	1,2609	2,9364	1,0032	1,2470	2,9132
$k_{34}$	1,6173	1,9886	2,1724	1,1942	1,3894	2,0061	1,0923	1,3762	1,9440
$k_{35}$	1,1896	1,4856	2,7877	1,0217	1,1773	2,1605	0,9903	1,1135	2,0916
$k_{36}$	1,7887	2,4528	3,6560	1,2350	1,5073	2,9203	1,1156	1,4413	2,9029
$k_{37}$	1,8104	2,5005	3,8125	1,2400	1,5281	2,8837	1,1176	1,4521	2,8507
$k_{38}$	1,4737	2,0153	4,8002	1,1192	1,2934	3,0204	1,0318	1,2757	2,9618
$k_{39}$	2,0164	3,3752	13,0538	1,2726	1,7017	6,4318	1,1278	1,5253	4,8278
$k_{40}$	2,1111	3,5316	13,6078	1,3044	1,7778	6,7690	1,1479	1,5691	4,9475
$k_{41}$	2,1147	3,5335	13,6697	1,3079	1,7795	6,7686	1,1484	1,5693	4,9545
$k_{42}$	1,7266	2,8174	10,5867	1,1734	1,4870	5,4540	1,0656	1,4138	4,3947
$k_{43}$	2,0815	3,4646	13,3427	1,2992	1,7567	6,6221	1,1443	1,5591	4,9000
$k_{44}$	2,1213	3,5470	13,7319	1,3102	1,7840	6,7914	1,1492	1,5709	4,9602
$k_{45}$	1,9061	3,0819	11,4703	1,2486	1,6261	5,7709	1,1158	1,4875	4,5127
$k_{46}$	2,0421	3,3829	12,9661	1,2881	1,7293	6,4550	1,1393	1,5471	4,8394
$k_{47}$	1,6172	2,2651	4,9919	1,1643	1,3762	3,1995	1,0662	1,3511	3,0028
$k_{48}$	1,8645	2,8004	7,1424	1,2476	1,5845	4,3913	1,1196	1,4825	4,0746
$k_{49}$	1,7744	2,5769	6,2686	1,2144	1,4959	3,8345	1,1011	1,4345	3,7487
$k_{50}$	1,3502	1,7288	3,1311	1,0649	1,3577	2,4250	1,0002	1,1996	2,3224
$k_{51}$	1,4478	1,7645	2,2241	1,1290	1,2647	2,0764	1,0448	1,2527	1,9975
$k_{52}$	0,9793	1,0286	<b>1,2266</b>	0,8529	0,8735	<b>1,2064</b>	0,8434	0,8591	<b>1,1919</b>
$k_{53}$	2,0272	3,2478	9,9182	1,2927	1,7234	5,7457	1,1420	1,5477	4,6524
$k_{54}$	1,6337	2,2068	4,0883	1,1795	1,4099	2,8572	1,0775	1,3450	2,6992

**Tablo 2.** p=4 ve %10 aykırı değer bulunması durumunda MSE değerleri

n	30			50			70		
	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99
$\alpha$	6,4686	10,7607	44,6362	3,1362	4,8158	18,7822	2,6577	3,6993	12,6485
$\alpha_M$	4,1172	7,3628	38,3169	2,4361	4,0766	14,1181	2,0376	3,0761	8,2952
$\alpha_{GM}$	2,3258	3,6835	15,9829	1,3652	2,0260	6,7367	1,1811	1,6448	5,6619
$k_1$	2,0464	3,1503	13,7358	1,2788	1,8394	6,0779	1,1256	1,5303	5,2676
$k_2$	1,6573	2,4338	10,2059	1,1418	1,5611	4,7470	1,0290	1,3441	4,4067
$k_3$	1,8574	2,8006	12,2875	1,2122	1,7005	5,6024	1,0806	1,4394	4,9509
$k_4$	1,6075	2,3456	10,3765	1,1148	1,5032	4,9214	1,0114	1,3026	4,4572
$k_5$	2,3130	3,6572	15,5212	1,3644	2,0241	6,7207	1,1806	1,6439	5,6541
$k_6$	1,5589	1,8529	4,4131	1,1875	1,5492	3,5555	1,0792	1,3699	3,2049
$k_7$	1,0949	1,3817	4,4235	0,8924	1,0535	2,8945	0,7930	0,9369	2,7161
$k_8$	1,3623	1,8080	6,5397	1,0019	1,3216	3,8227	0,9101	1,1503	3,6756
$k_9$	1,7015	2,4669	10,2422	1,1692	1,5843	4,7823	1,0608	1,3720	4,4396
$k_{10}$	1,5540	1,8417	4,0604	1,1907	1,5548	3,5158	1,0818	1,3747	3,2899
$k_{11}$	1,9138	2,6352	7,5338	1,2895	1,8228	5,1263	1,1399	1,5377	4,7685
$k_{12}$	2,1620	3,3485	13,5230	1,3291	1,9454	6,2559	1,1626	1,6051	5,4209
$k_{13}$	1,5167	1,7743	3,6086	1,1691	1,4726	3,1387	1,0682	1,3297	3,0633
$k_{14}$	1,1907	1,6298	5,7900	0,8700	1,0262	2,4645	0,7934	0,8985	2,0557
$k_{15}$	1,2148	1,6780	7,4798	0,8915	1,0778	3,2786	0,7998	0,9472	2,6609
$k_{16}$	<b>0,9327</b>	1,0576	2,2547	<b>0,8219</b>	0,9109	2,0036	<b>0,7360</b>	<b>0,8069</b>	1,9823
$k_{17}$	1,0860	1,3353	3,3725	0,8910	1,0472	2,6974	0,7926	0,9343	2,6403
$k_{18}$	1,3478	1,7322	4,3515	0,9993	1,3104	3,5000	0,9090	1,1458	3,2593
$k_{19}$	0,9777	<b>1,0446</b>	2,1288	0,8301	<b>0,9071</b>	1,7144	0,7759	0,8446	1,6003
$k_{20}$	2,0879	2,8019	5,6425	1,3273	1,8767	4,5499	1,1630	1,5771	4,5059
$k_{21}$	1,2670	1,4672	3,9703	0,9749	1,1755	2,6267	0,9193	1,0858	2,4889
$k_{22}$	2,1933	3,1838	8,4494	1,3424	1,9357	5,4504	1,1704	1,6037	5,0188
$k_{23}$	1,2281	1,4376	3,9819	0,9586	1,1293	2,6021	0,9052	1,0544	2,3200
$k_{24}$	2,2121	3,2293	8,9431	1,3464	1,9522	5,5518	1,1727	1,6112	5,0819
$k_{25}$	2,0116	3,0024	11,3809	1,2915	1,8569	5,7542	1,1420	1,5574	5,1238
$k_{26}$	1,6571	2,4332	10,1949	1,1417	1,5610	4,7460	1,0290	1,3441	4,4063
$k_{27}$	2,1112	3,2237	12,7824	1,3186	1,9196	6,1336	1,1561	1,5894	5,3332
$k_{28}$	1,8545	2,1949	3,3306	1,2683	1,6791	3,1258	1,1336	1,4781	3,0096
$k_{29}$	1,2275	1,4808	3,7795	0,9687	1,1549	2,8026	0,8893	1,0540	2,7912
$k_{30}$	2,0739	2,7773	6,0596	1,3151	1,8382	4,3719	1,1584	1,5577	4,0776
$k_{31}$	1,5852	2,0896	6,5258	1,1344	1,4784	4,0104	1,0330	1,3113	3,9057
$k_{32}$	2,0346	2,6970	5,6115	1,3048	1,7994	4,2187	1,1527	1,5392	3,9606
$k_{33}$	1,6256	2,1261	6,4918	1,1464	1,5230	4,0497	1,0422	1,3360	3,9713
$k_{34}$	1,8514	2,1902	3,3266	1,2671	1,6766	3,1214	1,1329	1,4764	2,9951
$k_{35}$	1,3472	1,6064	3,9894	1,0504	1,2684	2,9820	0,9776	1,1694	2,7393
$k_{36}$	2,0259	2,6806	5,5735	1,3021	1,7934	4,1988	1,1510	1,5354	3,9452
$k_{37}$	2,0448	2,7202	5,8231	1,3077	1,8156	4,2735	1,1539	1,5461	3,9999
$k_{38}$	1,6545	2,1724	6,7104	1,1678	1,5367	4,1202	1,0603	1,3554	4,0132
$k_{39}$	2,2203	3,5584	15,1391	1,3447	1,9677	6,5523	1,1685	1,6158	5,5676
$k_{40}$	2,3147	3,6678	15,8695	1,3626	2,0206	6,7243	1,1800	1,6425	5,6583
$k_{41}$	2,3169	3,6703	15,9017	1,3639	2,0230	6,7264	1,1805	1,6437	5,6584
$k_{42}$	1,9850	3,0900	12,9659	1,2759	1,8120	6,0292	1,1180	1,5329	5,2407
$k_{43}$	2,2874	3,6089	15,6601	1,3567	2,0074	6,6686	1,1766	1,6354	5,6297
$k_{44}$	2,3233	3,6787	15,9620	1,3648	2,0251	6,7333	1,1809	1,6444	5,6606
$k_{45}$	2,1070	3,2451	14,0023	1,3066	1,8930	6,2324	1,1468	1,5706	5,3906
$k_{46}$	2,2520	3,5401	15,3656	1,3486	1,9895	6,6038	1,1723	1,6264	5,5985
$k_{47}$	1,8354	2,5057	7,5096	1,2392	1,6680	4,6588	1,1102	1,4598	4,5180
$k_{48}$	2,0771	3,0167	9,9419	1,3150	1,8738	5,6290	1,1559	1,5753	5,1579
$k_{49}$	1,9867	2,8196	9,0761	1,2834	1,7988	5,2682	1,1385	1,5325	4,9582
$k_{50}$	1,5586	1,9449	5,0791	1,1431	1,4405	3,6049	1,0421	1,3113	3,2143
$k_{51}$	1,6475	1,8934	3,0159	1,1837	1,4826	2,4951	1,0781	1,3257	2,3290
$k_{52}$	1,1373	1,1404	<b>1,6952</b>	0,9014	0,9548	<b>1,3023</b>	0,8566	0,9110	<b>1,2446</b>
$k_{53}$	2,2324	3,4053	12,4620	1,3520	1,9850	6,3270	1,1750	1,6273	5,4901
$k_{54}$	1,8363	2,3357	5,3706	1,2324	1,6468	3,5797	1,1097	1,4209	3,4593

**Tablo 3.** p=6 ve %5 aykırı değer bulunması durumunda MSE değerleri

n	30			50			70		
	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99
$\alpha$	14,7481	28,7859	137,4686	7,4739	14,9097	82,1293	5,5992	9,9881	60,9919
$\alpha_M$	11,0361	23,0871	111,2088	5,1496	8,6513	64,5336	4,4939	8,5927	49,9282
$\alpha_{GM}$	6,3140	9,6131	32,2741	4,5925	5,5989	13,6871	4,1612	4,8390	10,7460
$k_1$	5,8568	8,6607	28,0761	4,4653	5,3061	12,1441	4,0816	4,6610	9,9258
$k_2$	4,8753	6,8630	20,0016	3,9970	4,5440	9,3693	3,7302	4,1335	8,0547
$k_3$	5,5237	7,9811	25,1969	4,3629	5,0862	11,0671	4,0149	4,5199	9,3125
$k_4$	4,7452	6,4242	18,7439	4,0928	4,5559	8,6477	3,8277	4,1540	7,7979
$k_5$	6,2886	9,5014	30,9939	4,5905	5,5924	13,5807	4,1603	4,8356	10,7248
$k_6$	4,7039	5,4879	8,1856	4,3116	4,7859	6,6113	3,9983	4,3818	6,5509
$k_7$	3,2595	3,9800	7,3823	3,1928	3,4283	4,9122	3,1158	3,2839	4,7044
$k_8$	4,1996	5,3279	12,4383	3,8314	4,2044	6,8172	3,6061	3,8811	6,6672
$k_9$	4,0006	5,0407	11,9327	3,7657	4,0460	6,5201	3,5710	3,7693	6,2102
$k_{10}$	4,9326	6,9197	20,0499	4,0972	4,6239	9,4241	3,8144	4,1954	8,1040
$k_{11}$	4,6764	5,4527	7,7108	4,3153	4,7937	6,4618	4,0012	4,3873	6,3424
$k_{12}$	5,5471	7,4989	15,5233	4,4879	5,3196	10,3673	4,1043	4,6903	9,2341
$k_{13}$	5,9469	8,8717	28,9214	4,5289	5,4793	13,0944	4,1304	4,7786	10,3754
$k_{14}$	4,2213	5,6490	16,1727	3,7934	4,3196	8,8405	3,5279	3,8161	6,9916
$k_{15}$	4,3935	6,1407	19,6593	3,8860	4,4356	9,9876	3,5954	4,0271	8,4224
$k_{16}$	<b>2,7633</b>	<b>3,2529</b>	<b>4,2335</b>	<b>2,7406</b>	<b>2,9670</b>	<b>3,6889</b>	<b>2,7190</b>	<b>2,8943</b>	<b>3,6559</b>
$k_{17}$	3,2481	3,9096	5,5359	3,1913	3,4203	4,4351	3,1152	3,2810	4,4046
$k_{18}$	4,1591	5,1175	6,8273	3,8249	4,1739	5,5858	3,6041	3,8707	5,5801
$k_{19}$	3,4416	3,7475	4,8743	3,4154	3,5470	4,0722	3,3932	3,4526	4,0509
$k_{20}$	5,5365	6,8212	8,1939	4,4656	5,1263	6,8726	4,1137	4,6634	6,8052
$k_{21}$	4,1241	4,8687	8,0909	3,9066	4,1620	5,4574	3,6927	3,8858	5,3236
$k_{22}$	5,9339	8,0482	12,8606	4,5336	5,3486	8,7026	4,1409	4,7488	8,6027
$k_{23}$	4,0059	4,7171	7,7846	3,8618	4,0669	5,3072	3,6669	3,8162	5,2885
$k_{24}$	5,9972	8,2308	13,6304	4,5446	5,3978	9,0508	4,1444	4,7671	9,0441
$k_{25}$	5,7614	8,3850	25,0496	4,4988	5,4023	12,4175	4,1128	4,7369	10,0953
$k_{26}$	4,8748	6,8612	19,9692	3,9969	4,5437	9,3638	3,7302	4,1335	8,0535
$k_{27}$	5,8834	8,6471	26,6933	4,5187	5,4436	12,6913	4,1240	4,7605	10,2559
$k_{28}$	5,0536	5,7366	5,9838	4,3574	4,8088	5,7489	4,0605	4,4911	5,7856
$k_{29}$	3,6448	4,2410	6,3603	3,6334	3,7818	4,8305	3,5182	3,6130	4,8168
$k_{30}$	5,7184	7,3341	9,7424	4,4975	5,2222	7,3098	4,1241	4,6864	7,1389
$k_{31}$	4,5674	5,6851	10,8336	4,0832	4,4516	6,6475	3,8477	4,1446	6,3034
$k_{32}$	5,6087	7,0772	9,1388	4,4769	5,1398	6,9595	4,1166	4,6502	6,8010
$k_{33}$	4,7014	5,8875	11,2287	4,1233	4,5552	6,8604	3,8691	4,2111	6,5908
$k_{34}$	5,0489	5,7305	5,9813	4,3545	4,8030	5,9433	4,0592	4,4879	6,8995
$k_{35}$	3,9594	4,5165	6,6794	3,9351	4,0973	5,1399	3,7559	3,8888	5,0309
$k_{36}$	5,5902	7,0447	9,0989	4,4678	5,1207	7,0146	4,1124	4,6411	6,9706
$k_{37}$	5,6374	7,1647	9,4236	4,4719	5,1530	7,0464	4,1131	4,6552	6,8379
$k_{38}$	4,7169	5,8651	11,0819	4,1759	4,5855	6,8529	3,9153	4,2438	6,5200
$k_{39}$	5,9813	9,0569	29,8316	4,4833	5,3983	12,8759	4,1039	4,7510	10,2917
$k_{40}$	6,2979	9,5802	32,0916	4,5874	5,5899	13,6448	4,1594	4,8361	10,7363
$k_{41}$	6,2955	9,5765	32,0871	4,5876	5,5891	13,6355	4,1595	4,8359	10,7319
$k_{42}$	4,8190	6,9336	20,2283	4,0307	4,6136	9,8915	3,8483	4,3202	8,6963
$k_{43}$	6,2273	9,4304	31,4499	4,5704	5,5465	13,4009	4,1513	4,8163	10,6378
$k_{44}$	6,3085	9,6016	32,2220	4,5912	5,5958	13,6699	4,1608	4,8381	10,7413
$k_{45}$	5,9071	8,7083	27,7994	4,4881	5,3392	12,1190	4,1037	4,7002	10,0256
$k_{46}$	6,1479	9,2626	30,6991	4,5498	5,4979	13,1371	4,1419	4,7947	10,5351
$k_{47}$	4,9032	6,1075	9,7353	4,2283	4,6430	6,4923	3,9674	4,3387	6,4333
$k_{48}$	5,5175	7,3282	13,8304	4,4274	5,0938	8,4281	4,0856	4,6152	8,0360
$k_{49}$	5,3983	7,0496	12,6794	4,3826	4,9843	7,7763	4,0596	4,5528	7,7420
$k_{50}$	4,1693	4,8416	6,4214	3,9473	4,1245	5,2532	3,7811	3,9701	5,1307
$k_{51}$	4,9590	5,8642	8,0500	4,2955	4,7469	6,0560	4,0112	4,3788	6,0010
$k_{52}$	3,9433	4,2701	4,8442	3,8304	3,8975	4,2291	3,6587	3,6945	4,1370
$k_{53}$	6,0270	8,6333	20,9340	4,5508	5,4592	11,4580	4,1453	4,7876	10,0533
$k_{54}$	5,4194	6,9045	11,8371	4,4048	5,0495	7,7306	4,0669	4,5481	7,5478



Tablo 4. p=6 ve %10 aykırın değer bulunması durumunda MSE değerleri

n	30			50			70		
	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99	0,90	0,95	0,99
$\alpha$	12,9469	24,0652	120,7487	5,9058	10,4128	55,1169	4,7019	7,3899	38,5499
$\alpha_M$	9,8879	19,4058	102,4783	5,2970	9,8616	47,0140	3,8450	6,9994	24,8972
$\alpha_{GM}$	6,6429	10,2284	35,8696	4,5179	5,6284	15,0807	3,9980	4,9502	11,3522
$k_1$	6,1348	9,2242	31,9138	4,3771	5,3474	14,0066	3,9116	4,7767	10,7705
$k_2$	5,0327	7,2022	23,4954	3,8997	4,6344	11,3810	3,5719	4,2704	9,1782
$k_3$	5,7670	8,5063	29,1448	4,2643	5,1299	13,2014	3,8395	4,6354	10,2990
$k_4$	4,9037	6,8348	22,7048	3,9667	4,5796	11,1621	3,6385	4,2519	8,9912
$k_5$	6,6028	10,1153	33,9654	4,5160	5,6168	15,0273	3,9968	4,9472	11,3175
$k_6$	4,6713	5,3385	9,6888	4,1475	4,6708	8,3945	3,7995	4,4272	7,7518
$k_7$	3,4131	3,9362	8,7683	3,1762	3,3964	6,4216	2,9817	3,3659	5,5975
$k_8$	4,2669	5,4693	15,2626	3,7152	4,1807	9,2110	3,4340	3,9796	7,7901
$k_9$	4,1047	5,1920	14,7021	3,6381	4,0203	8,8480	3,4028	3,8494	7,3992
$k_{10}$	5,0843	7,2398	23,5382	3,9755	4,6769	11,4195	3,6367	4,3042	9,2210
$k_{11}$	4,6296	5,2688	8,8958	4,1490	4,6655	8,2834	3,7994	4,4305	7,7118
$k_{12}$	5,6428	7,4818	16,8480	4,3814	5,2582	11,9371	3,9276	4,7757	9,9957
$k_{13}$	6,2374	9,3541	30,8988	4,4440	5,4823	14,0854	3,9630	4,8786	10,9306
$k_{14}$	4,2675	5,7597	18,3505	3,5854	4,1134	9,1588	3,3578	3,7544	6,7839
$k_{15}$	4,3774	6,1442	21,6407	3,6572	4,2656	10,4505	3,3609	3,8225	8,0614
$k_{16}$	<b>2,9134</b>	<b>3,1468</b>	<b>4,7533</b>	<b>2,7874</b>	<b>3,0558</b>	<b>4,5871</b>	<b>2,7426</b>	<b>2,9870</b>	<b>4,2509</b>
$k_{17}$	3,4003	3,8704	6,8381	3,1745	3,3886	6,0450	3,1612	3,3628	5,4752
$k_{18}$	4,2316	5,2648	9,1494	3,7099	4,1586	8,2364	3,4420	3,9698	7,5251
$k_{19}$	3,3677	3,6075	5,2777	3,2730	3,3950	4,6834	3,2127	3,3769	4,4268
$k_{20}$	5,8980	7,3759	11,0144	4,4262	5,2884	9,8459	3,9585	4,8075	9,0803
$k_{21}$	4,1703	4,9657	9,8960	3,6957	3,9946	6,9383	3,4847	3,8951	6,3623
$k_{22}$	6,2905	8,6920	16,8196	4,4745	5,4597	11,9447	3,9803	4,8770	10,1390
$k_{23}$	4,0692	4,8137	9,5204	3,6464	3,9004	6,7232	3,4541	3,8158	6,1427
$k_{24}$	6,3441	8,8448	17,8957	4,4822	5,4910	12,2074	3,9840	4,8910	10,2771
$k_{25}$	5,9910	8,7498	26,7876	4,3958	5,3733	13,4358	3,9393	4,8254	10,6296
$k_{26}$	5,0324	7,2010	23,4744	3,8996	4,6343	11,3792	3,5719	4,2704	9,1776
$k_{27}$	6,1444	9,0756	29,0208	4,4302	5,4440	13,9353	3,9552	4,8597	10,8476
$k_{28}$	5,3383	6,1084	7,5196	4,2940	4,8977	7,3279	3,8992	4,6154	7,1531
$k_{29}$	3,7785	4,2460	7,6656	3,5312	3,7342	6,2823	3,3851	3,6766	5,7527
$k_{30}$	6,0345	7,8970	12,8019	4,4245	5,2918	9,9063	3,9613	4,8005	9,0856
$k_{31}$	4,7634	5,9890	13,7475	3,9875	4,4989	9,1773	3,6709	4,2673	7,9979
$k_{32}$	5,9373	7,6593	11,9068	4,4052	5,2232	9,5690	3,9524	4,7672	8,8429
$k_{33}$	4,8790	6,1803	14,2088	4,0322	4,6005	9,4181	3,7038	4,3363	8,2303
$k_{34}$	5,3346	6,1037	7,5170	4,2925	4,8950	7,3243	3,8983	4,6134	7,1489
$k_{35}$	4,0506	4,5416	8,0772	3,7454	3,9823	6,6415	3,5663	3,9128	6,1752
$k_{36}$	5,9230	7,6320	11,8719	4,4009	5,2144	9,5464	3,9498	4,7618	8,8247
$k_{37}$	5,9692	7,7489	12,3987	4,4090	5,2508	9,7515	3,9526	4,7801	8,9583
$k_{38}$	4,8980	6,1664	14,0397	4,0575	4,6004	9,3370	3,7309	4,3448	8,1780
$k_{39}$	6,3704	9,7367	33,1266	4,4427	5,4848	14,7872	3,9443	4,8924	11,0354
$k_{40}$	6,6315	10,2026	35,4938	4,5157	5,6247	15,0681	3,9971	4,9487	11,3476
$k_{41}$	6,6289	10,2001	35,7128	4,5156	5,6240	15,0663	3,9969	4,9485	11,3467
$k_{42}$	5,3195	7,6866	23,9775	4,1171	4,9238	12,8115	3,7170	4,5841	10,0108
$k_{43}$	6,5612	10,0662	35,2219	4,5013	5,5948	14,9491	3,9896	4,9331	11,2946
$k_{44}$	6,6386	10,2199	35,8357	4,5172	5,6270	15,0755	3,9978	4,9496	11,3503
$k_{45}$	6,2107	9,3241	31,9492	4,4136	5,4077	14,1594	3,9395	4,8259	10,9002
$k_{46}$	6,4857	9,9155	34,6223	4,4855	5,5627	14,8239	3,9815	4,9165	11,2389
$k_{47}$	5,2158	6,5867	13,2224	4,1707	4,7942	9,7410	3,8016	4,5237	8,6811
$k_{48}$	5,8483	7,9240	18,2524	4,3702	5,2234	11,8797	3,9265	4,7655	10,0128
$k_{49}$	5,7153	7,6539	17,3583	4,3232	5,1220	11,3422	3,9041	4,7058	9,7385
$k_{50}$	4,3909	5,0681	8,5260	3,8851	4,2261	7,2913	3,5990	4,1435	6,9517
$k_{51}$	5,1692	6,1225	9,3635	4,1946	4,7351	7,3819	3,8342	4,4525	6,8526
$k_{52}$	4,0571	4,3351	5,6338	3,6337	3,7471	4,6582	3,5385	3,6603	4,4319
$k_{53}$	6,3435	9,2165	24,9397	4,4842	5,5192	13,8658	3,9836	4,9075	10,9265
$k_{54}$	5,6506	7,2727	14,2729	4,3075	5,0399	9,2610	3,9007	4,6178	8,1908

Simülasyon çalışması ile elde edilen tablolardan çıkartılan sonuçlar ise aşağıda özetlenmiştir:

- Örneklem hacmi arttıkça tüm tablolarda EKK, M, GM ve tüm  $k$  değerleri için RGME' nin MSE değerleri azalmaktadır.
- Bağımsız değişken sayısı arttıkça tüm tahmin edicilerin MSE değerleri artmaktadır.
- Korelasyon şiddeti arttıkça tüm tahmin edicilerin MSE değeri artmaktadır.
- Bağımlı değişkende aykırı değer bulunduğu için M tahmin edicisi EKK tahmin edicisinden daha küçük MSE değerine sahiptir.
- Bağımsız değişkende aykırı değer bulunduğu için GM tahmin edicisi EKK ve M tahmin edicilerinden daha küçük MSE değerine sahiptir.
- Tüm  $k$  değerleri için RGME' lerin MSE değerleri GM tahmin edicisinin MSE değerlerinden daha küçüktür.
- Tablo 1 ve 2' de görüldüğü gibi  $p=4$  olması durumunda 0,99 korelasyon değeri için en küçük MSE değeri  $k_{52}$ ' nin kullandığı RGME' dir.
- $p=4$  ve %5 aykırı değer için 0,90 ve 0,95 korelasyon değerlerinde  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME en küçük MSE değerine sahiptir.
- Tablo 1' de 0,90 korelasyon değerinde GM tahmin edicisi EKK tahmin edicisinin MSE değerini  $n=30$  iken %70 iyileştirirken  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME %88 iyileştirmiştir. Ayrıca  $n=70$  için GM tahmin edicisi %61, RGME ise %74 iyileştirmektedir.
- 0,99 korelasyon için en küçük MSE değeri olan  $k_{52}$ ' nin kullandığı RGME ile EKK tahmin edicisinin MSE değerini %98 iyileştirirken  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME ise %97 iyileştirmektedir.
- Tablo 2' de yani  $p=4$  ve %10 aykırı değer olması durumunda en küçük MSE değeri 0,90 korelasyon için  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME' ye, 0,95 korelasyon için  $n=30$  ve 50 iken  $k_{19}$ ' un kullandığı RGME' ye,  $n=70$  iken  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME' ye ve 0,99 korelasyonda ise  $k_{52}$ ' nin kullandığı RGME' ye aittir.
- 0,90 korelasyon değeri için  $n=30$  olması durumunda RGME, EKK tahmin edicisinin MSE' sini %85 iyileştirirken,  $n=70$  olması durumunda %72 iyileştirmektedir.
- 0,99 korelasyon değeri için ise  $k_{52}$ ' nin kullandığı RGME,  $n=30$  olması durumunda EKK tahmin edicisinin MSE değerini %96 ve  $n=70$  olması durumunda ise %90 iyileştirmektedir.
- Tablo 3 ve 4' te görüldüğü gibi  $p=6$  olması durumunda %5 ve %10 aykırı değer için seçilen tüm korelasyon değerlerinde en küçük MSE değeri  $k_{16}$ ' nin kullandığı RGME' ne aittir.
- Tablo 3' e göre  $n=30$  olması durumunda 0,90 korelasyon için EKK tahmin edicisi GM tahmin edicisi ile %57 ve RGME ile %81 iyileştirilmiştir.  $n=70$  olması durumunda GM tahmin edicisi ile %26, RGME ile %51 iyileştirilmiştir.
- 0,99 korelasyon değeri için  $n=30$  olması durumunda EKK tahmin edicisinin MSE değeri GM tahmin edicisi ile %76, RGME ile %97 iyileştirilmiştir. Ayrıca  $n=70$  olması durumunda ise GM tahmin edicisi %82, RGME %94 iyileştirmektedir.
- Tablo 4' teki  $p=6$  iken %10 aykırı değer olması durumunda 0,90 korelasyon değerinde  $n=30$  için EKK tahmin edicisinin MSE değeri GM tahmin edicisi ile %49, RGME ile %77 ayrıca  $n=70$  olması durumunda ise GM tahmin edicisi ile %15, RGME ile %42 iyileştirilmiştir.
- 0,99 korelasyon değeri için ise EKK tahmin edicisinin MSE değeri  $n=30$  için GM tahmin edicisi ile %70, RGME ile %96,  $n=70$  olması durumunda GM tahmin edicisi ile %70, RGME ile %89 iyileştirilmiştir.
- Korelasyon değerinin artması ile RGME' nin EKK tahmin edicisinin MSE değerini iyileştirme oranı artmaktadır.

- Örneklem hacmi arttıkça GM tahmin edicisi ve RGME' nin EKK tahmin edicisinin MSE değerini iyileştirme oranı azalmaktadır.
- Aykırı değer oranının artması durumunda tahmin edicilerin EKK tahmin edicisinin MSE değerini iyileştirme oranı azalmaktadır.
- Değişken sayısının artması durumunda yine tahmin edicilerin EKK tahmin edicisinin MSE değerini iyileştirme oranları azalmaktadır.

### B. Gerçek Veri

Bu bölümde elde edilen simülasyon sonuçlarını desteklemek amacıyla gerçek veri seti örneğinde de tahmin edicilerin performansları MSE kriterine göre karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Brownlee [29] tarafından verilen stackloss verisi kullanılmıştır. Amonyagin (NH) nitrik aside (HNO) oksidasyonu için bir tesisin 21 gün işletilmesiyle elde edilen veri setinde üç bağımsız değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler soğutma suyunun sıcaklığı, hava akımı ve asit konsantrasyonunu göstermektedir. Bağımlı değişken ise absorbe edilmeden bitkiye giden amonyak ölçüsüdür. Bu ölçü olarak amonyak miktarının on katı alınmış ve bu şekilde tesisin verimliliği ölçülmeye çalışılmıştır. Bu veri setinde EKK, ME, GM ve çalışmada kullanılan farklı yanlılık parametreleri ile RE, RME ve RGME tahmin edicilerinin MSE değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 5' te verilmiştir.

Tablo 5.Stackloss verisine ait tahmin edicilerin MSE değerleri

	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$
$\alpha$	0,2428	0,20923	0,19221	0,18943	0,17614	0,24275	0,17074
$\alpha_M$	0,2238	0,19344	0,17640	0,17507	0,16258	0,22381	0,15962
$\alpha_{GM}$	0,1998	0,16385	0,13858	0,14185	0,12658	0,19977	0,13032
	$k_8$	$k_9$	$k_{10}$	$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{13}$	$k_{14}$
$\alpha$	0,17024	0,17232	0,19223	0,17030	0,19188	0,19908	0,19221
$\alpha_M$	0,15920	0,15949	0,17643	0,15926	0,17816	0,18295	0,17677
$\alpha_{GM}$	0,12996	0,12373	0,13863	0,13003	0,15002	0,15030	0,15356
	$k_{16}$	$k_{17}$	$k_{18}$	$k_{19}$	$k_{20}$	$k_{21}$	$k_{22}$
$\alpha$	0,15221	0,16864	0,17024	0,19676	0,24063	0,24509	0,24204
$\alpha_M$	0,14102	0,15636	0,15920	0,18128	0,22194	0,18851	0,22316
$\alpha_{GM}$	<b>0,10142</b>	0,12042	0,13000	0,15525	0,19849	0,16078	0,19930
	$k_{24}$	$k_{25}$	$k_{26}$	$k_{27}$	$k_{28}$	$k_{29}$	$k_{30}$
$\alpha$	0,24182	0,18745	0,24275	0,20006	0,24110	0,21205	0,24153
$\alpha_M$	0,22297	0,17162	0,22381	0,18496	0,22229	0,19594	0,22265
$\alpha_{GM}$	0,19915	0,14009	0,13858	0,15812	0,19867	0,17053	0,19887
	$k_{32}$	$k_{33}$	$k_{34}$	$k_{35}$	$k_{36}$	$k_{37}$	$k_{38}$
$\alpha$	0,24156	0,21740	0,24110	0,21209	0,24156	0,24152	0,21803
$\alpha_M$	0,22266	0,20125	0,22229	0,19597	0,22266	0,22265	0,20135
$\alpha_{GM}$	0,19879	0,17793	0,19867	0,17057	0,19879	0,19886	0,17643
	$k_{40}$	$k_{41}$	$k_{42}$	$k_{43}$	$k_{44}$	$k_{45}$	$k_{46}$
$\alpha$	0,24275	0,24275	0,24274	0,24248	0,24275	0,23451	0,24221
$\alpha_M$	0,22381	0,22381	0,22380	0,22357	0,22381	0,21642	0,22332
$\alpha_{GM}$	0,19977	0,19977	0,19976	0,19948	0,19977	0,19101	0,19920
	$k_{48}$	$k_{49}$	$k_{50}$	$k_{51}$	$k_{52}$	$k_{53}$	$k_{54}$
$\alpha$	0,24215	0,24200	0,23827	0,20650	0,15906	0,24258	0,22485
$\alpha_M$	0,22327	0,22311	0,21978	0,19034	0,14390	0,22366	0,20693
$\alpha_{GM}$	0,19922	0,19901	0,19564	0,17287	0,11827	0,19963	0,18617

Tablo 5 incelendiğinde veri setinde bağımlı değişkende aykırı değer bulunduğundan dolayı ME, EKK tahmin edicisinden daha etkin ayrıca bağımsız değişkende de aykırı değer bulunduğundan dolayı GM tahmin edicisi ise hem EKK hem de ME' den daha etkin sonuçlar vermiştir. Benzer şekilde tüm yanlılık parametrelerine bağlı RME' ler, RE' lerden daha etkin ve RGME' ler ise RE ve RME' lerden daha küçük MSE değerlerine sahiptirler. Çoklu iç ilişki bulunan veri setinde tüm yanlılık parametreleri için RE' ler, EKK tahmin edicisinden, RME' ler, ME' den ve RGME' ler ise GM tahmin edicisinden daha küçük MSE değerlerine sahiptirler. RE, RME ve RGME tahmin edicilerinin MSE değerleri tek tek incelendiğinde üç tahmin edici için kendi içlerinde en küçük MSE değeri  $k_{16}$  ile hesaplanan tahmin edicilere aittir. Tüm MSE değerlerine bakıldığında ise en küçük MSE değeri  $k_{16}$ ' ya bağlı RGME tahmin edicisine aittir.

## V. SONUÇLAR

Bu çalışmada Ridge tahmin edicisinin performansını etkileyen yanlılık parametresinin farklı tahmin edicileri üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde yanlılık parametresinin performansı sadece çoklu iç ilişki bulunan veri setleri üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında tahmin edicilerin performansları karşılaştırılmıştır.

Çoklu iç ilişki bulunan veri setlerinde daha etkin sonuçlar elde edebilmek amacıyla Ridge tahmin edicisi önerilmiştir. Fakat uygulamada çoklu iç ilişki problemi, sıklıkla karşılaşılan diğer bir problem olan aykırı değer problemi ile birlikte görülmektedir. Bu iki problemin ortak çözümleri için yapılan çalışmalarda sağlam Ridge tahmin edicileri önerilmiştir. Bu tahmin edicilerden en yaygın olarak bilineni RME' dir. Fakat bu tahmin edici bağımsız değişkende aykırı değer bulunması durumunda etkinliğini kaybetmektedir. Bu amaçla RGME önerilmiştir.

Önerilen sağlam Ridge tahmin edicilerinde genellikle Hoerl ve Kennard [4] tarafından önerilen yanlılık parametresinin tahmin edicisi kullanılmıştır. RE' de bu yanlılık parametresinin tahmini için alternatif birçok yanlılık parametresi tahmin edicileri önerilmiştir. Fakat önerilen diğer parametre tahmin edicilerinin sağlam Ridge tahmin edicilerindeki performansları karşılaştırılmamıştır. Bu amaçla her iki değişkende de aykırı değer bulunması ve çoklu iç ilişki problemi olan veri setlerinde RE ve RME' den daha etkin sonuçlar veren RGME' de farklı yanlılık parametrelerinin performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması ve gerçek veri örneğinin sonuçları göstermiştir ki önerilen yanlılık parametreleri RGME' ne olumsuz bir etki göstermemektedir. Tüm yanlılık parametreleri ile RGME, EKK, ME ve GM tahmin edicilerinden daha etkin sonuçlar vermektedir.

Yapılan bu çalışmada M tipi tahmin ediciler üzerinde durulmuştur. Bu çalışmaya ek olarak diğer sağlam Ridge tahmin edicilerinde farklı yanlılık parametrelerinin performansları incelenebilir. Veri setinde aykırı değer bulunması durumunda kullanılabilecek sağlam tahmin edicilere bağlı olarak yeni yanlılık parametresi için tahmin ediciler önerilebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (ESOGÜBAP) Komisyonu tarafından 2020-19A102 nolu proje olarak desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Huber, P. J. (1964). Robust estimation of a location parameter. *The Annals of Mathematical Statistics Theory and Methods*, 53 (1), 73-101.
- [2] Mallows, C. L. (1975). On some topics in Robustness. Unpublished Memorandum, Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, NJ.
- [3] Handschin, E., Schewpe, F. C., Kohlas, J. & Fiechter, A. (1975). Bad data analysis for power system state estimation. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 4 (2), 105-123.
- [4] Hoerl, A. E. & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12, 55-67.
- [5] Theobald, C.M. (1974). Generalization of mean square error applied to ridge regression. *Journal of the Royal Statistical Society*, ser B (36), 103-106.
- [6] Hoerl, A.E., Kennard, R.W. & Baldwin, K.F. (1975). Ridge regression: some simulation. *Communications in Statistics*, 4, 105-123.
- [7] Lawless, J. F. & Wang, P. A. (1976). Simulation study of ridge and other regression estimators. *Communications in Statistics, Theory and Methods*, 5, 307-323.
- [8] Hocking, R. R., Speed, F. M. & Lynn, M. J. (1976). A class of biased estimators in linear regression. *Technometrics*, 18, 425-438.
- [9] Kibria, B.M.G. (2003). Performance of some new ridge regression estimators. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 32, 419-435.
- [10] Khalaf, G. & Shukur, G. (2005). Choosing ridge parameters for regression problems. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, A34, 1177-1182.
- [11] Alkhamisi, M., Khalaf, G. & Shukur, G. (2006). Some modifications for choosing ridge parameters. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 35(11), 2005-2020.
- [12] Alkhamisi, M. A. & Shukur, G. (2007). A Monte Carlo study of recent ridge parameters. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*®, 36(3), 535-547.

- [13] Muniz, G. & Kibria, B. G. (2009). On some ridge regression estimators: An empirical comparisons. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*®, 38(3), 621-630.
- [14] Al-Hassan, Y. M. (2010). Performance of a new ridge regression estimator. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 9(1), 23-26.
- [15] Muniz, G., Kibria, B. M. G., Mansoon, K. & Shukur, G. (2012). On developing ridge regression parameters: a graphical investigation. *Sort Stat Oper. Res. Trans*, 36 (2), 115-138.
- [16] Dorugade, A. V. (2014). New ridge parameters for ridge regression. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 15, 94-99.
- [17] Karaibrahimoğlu, A., Asar, Y. & Genç, A. (2014). Some new modifications of Kibria's and Dorugade's methods: An application to Turkish GDP data. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 20, 89-99.
- [18] Asar, Y. & Genç, A. (2017). A note on some new modifications of ridge estimators. *Kuwait J. Sci.*, 44 (3), 75-82.
- [19] Silvapulle, M. J. (1991). Robust ridge regression based on an m estimator. *Australian Journal of Statistics*, 33 (3), 319-333.JJ
- [20] Arslan, O. & Billor, N. (1996). Robust ridge estimation based on the gm estimators. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 9(1), 1-9.
- [21] Altın Yavuz, A. (2019). A New Modification of Ridge Parameter for Regression Problems: A Monte Carlo Simulation Study, *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 11 (3), 173-188.
- [22] Işılar, M. (2020). Çoklu Lineer Regresyon Modelinde Liu tipi GM Tahmin Edicisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [23] Simpson, D. G., Rubbert, D. & Carrol, R. J. (1992). On one-step Gm estimates and stability of inferences in linear regression. *Journal of the American Statistical Association*, 87, 439-450.
- [24] Farrar, D. E. & Glauber, R. R. (1967). Multicollinearity in regression analysis: The problem revisited. *The Review of Economics and Statistics*, 49 (1), 92-107.
- [25] Silvey, S. D. (1969). Multicollinearity and imprecise estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 31 (3), 539-552.
- [26] McDonald, G. C. & Galarneau, D. I. (1975). A Monte Carlo evaluation of ridge-type estimators. *Journal of the American Statistical Association*, 70 (350), 407-416.
- [27] Newhouse, J. P. & Oman, S. D. (1971). An evaluation of ridge estimators, Rand Corporation (p-716-PR) Santa Monica, 1-16.
- [28] R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for statistical computing.
- [29] Brownlee, K. A. (1965). *Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering* 2nd ed, John & Sons, New York.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Bilecik İlindeki Şehirleşmenin Taşkın Riski Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

### Investigation of Effects of Urbanization on Flood Risk in Bilecik Province

Yıldırım Bayazıt<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 09/02/2021*

*Revize / Revised: 29/05/2021*

*Kabul / Accepted: 16/06/2021*

#### ÖZ

Taşkınlar, son yıllarda doğal dengenin giderek bozulması sonucu, şiddetini ve yıkıcılığını arttırmakta ve daha sık meydana gelmektedir. Taşkınların yaşanmasındaki en önemli nedenlerden biri şehirleşmeyle meydana gelen arazi kullanımındaki değişimlerdir. Bu çalışmada, ilk olarak uzaktan algılama ile şehirleşmedeki değişimin bulunması hedeflenmiştir. Daha sonra, coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak şehirleşmedeki bu değişimin taşkın riski üzerindeki etkisinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Çalışmada, Bilecik ilinin 2000 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi kullanımı haritaları kullanılarak arazi sınıflarındaki değişim incelenmiştir. Bölgedeki taşkın riskini etkileyebilecek yağış, eğim, yükseklik ve arazi kullanımı ve akarsulara uzaklık gibi parametrelerin modellemeye eklenmesiyle birlikte Çok Kriterli Karar Verme Analiziyle taşkın risk haritası modellemeleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, 2000 yılından 2018 yılına kadar bölgenin arazi yapısı değişiminin taşkın riski üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. 2000 yılında taşkın riski altında olan alan 12250 ha iken 2018 yılında bu alan 13547 ha olmuştur. Bu durum şehirleşmenin taşkın riski üzerindeki negatif etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

*Anahtar Kelimeler- Taşkın Riski, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bilecik*

#### ABSTRACT

In recent years, as a result of the gradual deterioration of the natural balance, floods increase their severity and destructiveness and occur more frequently. One of the most important reasons for floods is the changes in the land caused by urbanization. In this study, firstly, it is aimed to find the change in urbanization with remote sensing. Then it is aimed to reveal the effect of this change in urbanization on flood risk by using geographical information systems. In the study, the change in land classes was examined by using the CORINE land use maps of Bilecik province for the years 2000 and 2018. With the addition of parameters, such as precipitation, slope, elevation and land use, and distance to rivers, which may affect the flood risk in the region, flood risk map modeling has been carried out with Multi-Criteria Decision Making Analysis. As a result of the study, the effect of the land structure change of the region on the flood risk from 2000 to 2018 has been revealed. While the area under flood risk was 12,250 ha in 2000, this area was 13,547 ha in 2018. This situation clearly reveals the negative effect of urbanization on flood risk.

*Keywords- Flood Risk, Remote Sensing, Geographical Information Systems, Bilecik*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr](mailto:yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-8699-4741>)  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

## I. GİRİŞ

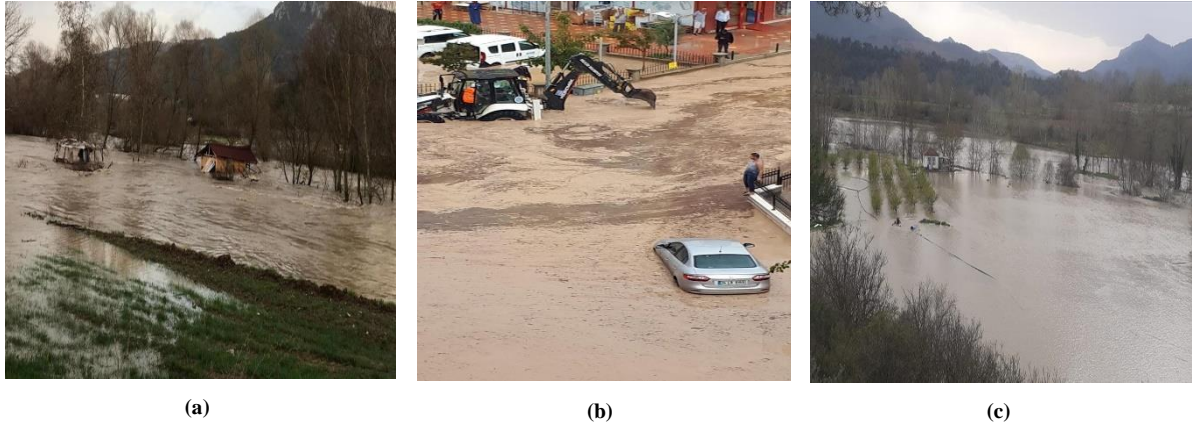
Taşkınlar özellikle son otuz yılda büyük bir artış göstermiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında insanlığın doğurduğu iklim değişikliği ve doğal arazi örtüsünün şehirleşme için bozulması gösterilmektedir [1]. Taşkınların en çok etkilediği alanlar ile kentsel bölgeler arasında karşılıklı bir etkileşim olduğu bilinmektedir. Bu durum şehirleşmenin getirdiği arazi değişiminin taşkınların meydana gelmesindeki en önemli faktörlerden birisi olduğunu ortaya koymaktadır. Taşkınlar tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir risk faktörüdür. Ülkemizdeki taşkın istatistiklerine göre 1975-2015 yılları arasında toplam 1.209 taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınlarda 893.933 ha alan su altında kalmış 720 can kaybı yaşanmıştır [2].

Taşkın yayılımları ve risklerini belirlemek için yapılan çalışmalarda, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) son yıllarda en çok kullanılan yöntemlerdir. Şehirleşme ve doğal arazi değişiminin ortaya konması için UA yöntemleri kullanılmaktadır. Uydu teknolojilerinin gelişmesiyle şehirlerin geçmiş yıllardan bugüne uydu görüntüleri temin edilebilmektedir. Bu uydu görüntülerinin analiziyle arazi değişimi ortaya konularak taşkınlara etkisi değerlendirilebilmektedir. Bu konuda son yıllarda birçok çalışma ortaya konmuştur; Park ve Lee yaptıkları çalışmada, kentsel planlamada sel hasarını en aza indirmek için doğal toprak yapısının korunması gerektiğini vurgulamışlardır [3]. Shanableh ve ark. kentleşmenin akış, yerel sel ve yağmursuyu hasadı üzerindeki etkisini uydu görüntülerini kullanarak uzaktan algılamayla incelemiştir [4]. Barasa ve Perera, Kenya'da Sosiani Nehrinde meydana gelen ani taşkınların şehirleşme ve ormansızlaşma ile ilişkisini analiz etmiştir [5]. Du ve ark. 1980, 2005 ve 2015 yıllarının uydu görüntülerini inceleyerek arazi değişimindeki kentleşme faktörünün taşkınlara etkisini araştırmışlardır [6]. Veerbeek yaptığı doktora tezinde şehirleşmedeki büyümenin gelecekteki taşkın riskleri üzerindeki etkilerini birçok şehri ele alarak karşılaştırmalı olarak incelemiştir [7]. Bir başka doktora tezinde kentleşme ve çevresel etkilerin uzaktan algılanması üzerine çalışılmıştır [8]. Bir diğer yöntem olarak öne çıkan CBS, hidrolojik analizler ve taşkın risk haritalarının oluşturulması gibi analizleri ortaya koyar. CBS, bir veri tabanı altında verileri saklayabilen, konumsal analize dayanan görsel sonuçlar verebilen bir analiz metodudur. Son yıllarda taşkın yönetimi ve su kaynakları planlamaları gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır; Özkan ve Tarhan, CBS kullanarak İzmir'de sel tehlikesinin saptanması üzerine çalışmışlardır [9]. Ayrıca bazı çalışmalarda, CBS tabanlı bir model oluşturularak kentsel su baskını simülasyonları gerçekleştirilmiştir [10, 11]. Bu çalışmada da kullanılan CBS tabanlı çok kriterli analiz yöntemi kullanılarak kentsel taşkın duyarlılık analizleri yapılmıştır [12, 13]. Hidrolojik ve hidrolik analizlerin CBS kullanılarak birlikte ele alındığı çalışmalar da yapılmıştır [14, 15].

Bu çalışmada, Bilecik ilinin 2000 ve 2018 yıllarına ait Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) arazi kullanımı haritaları analiz edilerek şehirleşme sonucu taşkın risk haritası modellemelerinin yapılması amaçlanmıştır. Yağış, eğim, yükseklik, arazi kullanımı ve akarsulara uzaklık gibi parametrelerin Çok Kriterli Karar Verme yöntemiyle ArcGIS 10.5 yazılımında analizi yapılarak Bilecik iline ait taşkın risk haritalarının oluşturulması hedeflenmiştir.

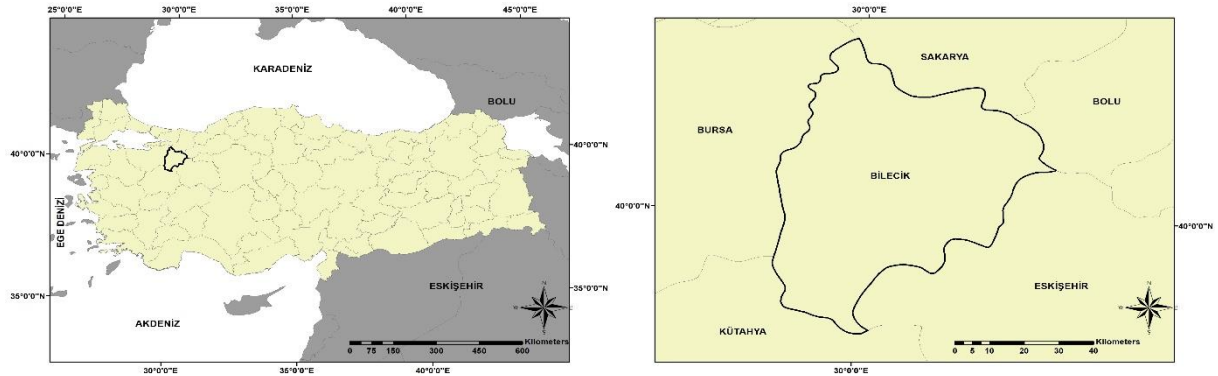
## II. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Güney Doğu Marmara Bölgesinde yer alan Bilecik il sınırları seçilmiştir. Bilecik'te geçmişten günümüze birçok taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınların birçoğu il merkezi ve ilçelerinde meydana gelmektedir. Şekil 1(a)'da Bozüyük ilçesinde 07.04.2021 tarihinde meydana gelen taşkında bazı ev ve bahçelerin sular altında kaldığı görülmektedir. Şekil 1(b)'de 19.08.2018 tarihinde Bilecik il merkezinde bazı evlerin ve iş yerlerinin sular altında kaldığı görülmektedir. Şekil 1(c)'de görülen taşkın görüntüsünde ise Bilecik'in Osmaneli ilçesinden geçen Göksu Nehri'nin taşması sonucu 200 dönüm tarım alanının sular altında kaldığı bilinmektedir. Bilecik ilinin toplam nüfusu 218.717'dir. Özellikle taşkınların yaşandığı bölgelerin kent merkezi, Bozüyük ve Osmaneli ilçeleri gibi yoğun nüfus ve kentleşmenin olduğu bölgeler olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada Bilecik ili ele alınmıştır.



Şekil 1. Bilecik'te yaşanan bazı taşkınlardan görüntüler

Bilecik, Marmara, Karadeniz, İç Anadolu ve Ege Bölgelerinin kesişimi olan bir coğrafyada bulunur. Bilecik ilinin yüzölçümü 4230,48 km<sup>2</sup>'dir. Çalışma alanı Universal Transverse Mercator (UTM) koordinat sistemine göre metre biriminde 464908,178 D, 4788110,514 K ile 503524,193 D, 4787951,764 K enlem ve boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 2) Bilecik ilinin ortalama aylık sıcaklık değerleri 2,6–22°C aralığında değişmektedir. Bölgeye düşen yıllık toplam yağış ortalaması ise 457,47 mm'dir. Bölgenin en önemli su kaynağı Sakarya Nehri'dir.



Şekil 2. Bilecik ilinin Türkiye'deki konumu

### III. VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada, Bilecik ilinin taşkın risk haritasını elde edebilmek için birçok veri ve yöntemden faydalanılmıştır. Bu çalışmadaki analizlerde kullanılan veriler ve yöntemler aşağıda başlıklar halinde verilerek açıklanmıştır.

#### A. Veri

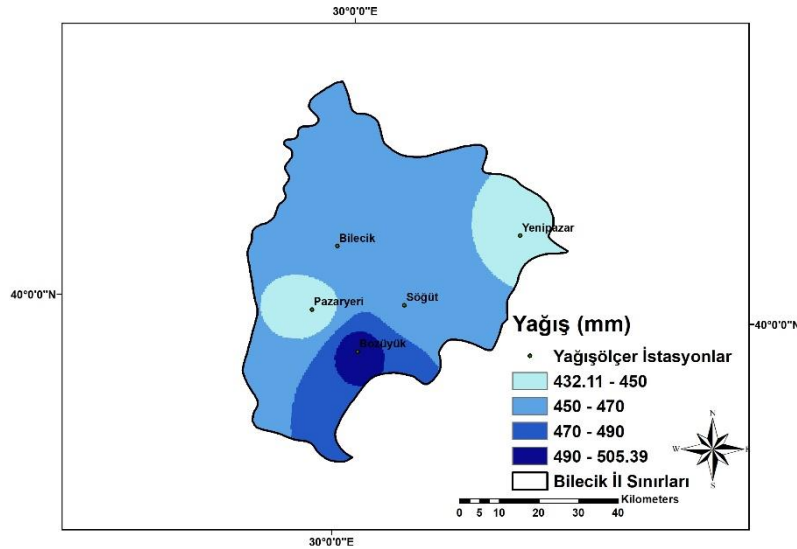
1) Yağış: Yağış taşkın risk analizlerinin en önemli verilerinden biridir. Bu veriler günlük, aylık ve yıllık kayıtlar şeklinde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Bilecik ilindeki 5 adet meteoroloji gözlem istasyonu yağış verileri aylık olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.



**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan yağışölçer istasyonlarının özellikleri

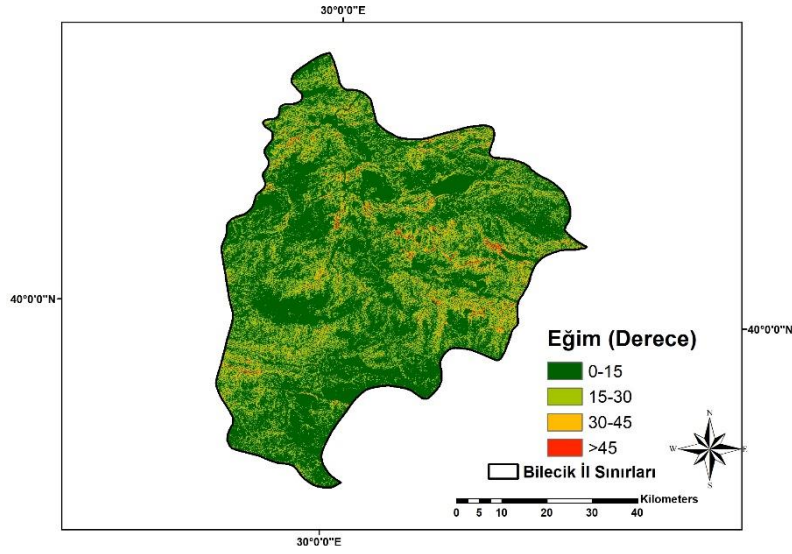
İstasyon No	İstasyon Adı	Koordinatlar (UTM)	Zaman Aralığı (yıl)	Veri Tipi	Standart Sapma	Yıllık Ortalama Yağış (mm)
2707	Yenişehir	703342.269 D 4863693.667 K	1991-1996	Aylık	23,77	442,4
2980	Söğüt	674109.575 D 4846118.783 K	1991-1995	Aylık	34,59	560,1
3149	Pazaryeri	650822.029 D 4844986.005 K	1991-1998	Aylık	27,43	432,1
17120	Bilecik	657213.270 D 4861048.726 K	1979-2011	Aylık	30,65	464,4
17702	Bozüyük	662382.368 D 4834373.556 K	1979-2011	Aylık	33,20	505,4

Bilecik ilindeki 7 adet yağış ölçen meteoroloji istasyonundaki aylık yağış verileri bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ArcGIS 10.5'in veri tabanına aktarılmıştır. ArcGIS programına aktarılan yağış verileri Inverse Distance Weighting - Uzaklığın Tersisi ile Ağırlıklandırma (IDW) konumsal enterpolasyon yöntemiyle Bilecik ilinin yağış dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). IDW, değerleri bilinen dağınık nokta kümesinin çok değişkenli enterpolasyonu için kullanılan bir yöntemdir. Değeri bilinen noktaların ağırlıklı ortalaması kullanılarak bilinmeyen noktaların değer tahminlemesi yapılır [16-18].



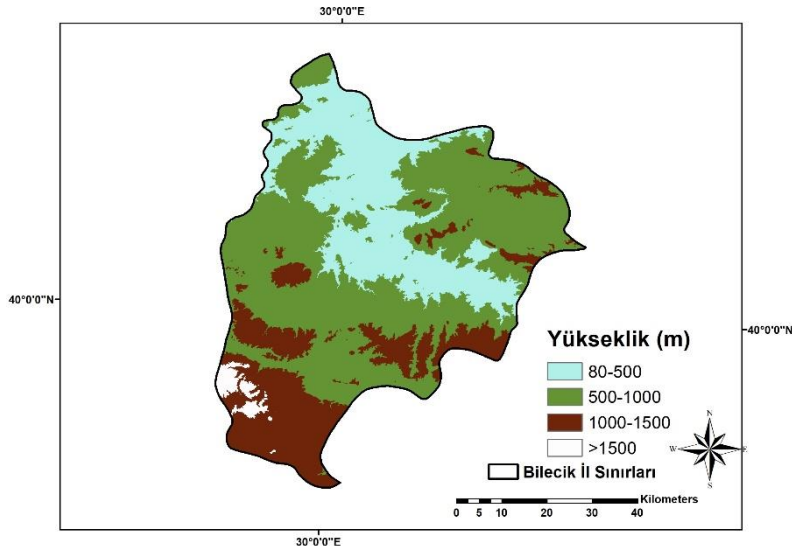
**Şekil 3.** Bilecik ili yağış haritası

2) *Eğim*: Arazinin eğimi taşkın oluşmasında önemli bir etkiye sahip olan jeomorfolojik özelliklerden birisidir. Eğimin fazla olduğu arazide, düşen yağışın sızma eğilimi daha az olduğundan akışa geçme oranı artar. Aynı zamanda akış hızı ve toplanma süresi de artar. Dolayısıyla akışa geçen hacmin fazla olduğu yerlerde taşkın riski de büyüyecektir. Bu nedenle çalışma alanının eğim haritalarının oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden (SYM) yararlanılarak ArcGIS 10.5'te yüzey analizleri yöntemi kullanılarak eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Bilecik ili eğim haritası

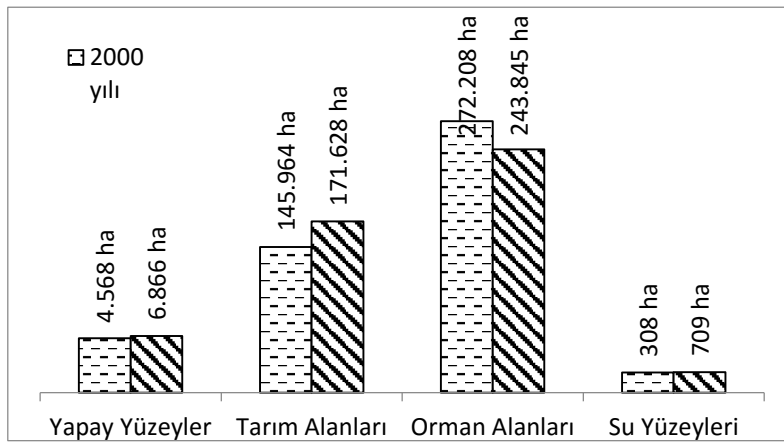
3) *Yükseklik*: Taşkın risk analizlerinde bölgenin topografik özellikleri arasında yükseklik önemli bir yer tutmaktadır. Taşkınlar arazi kotlarının düşük olduğu yerlerde daha fazla meydana gelirler. Bir bölgeye düşen yağış, akış yollarıyla birlikte en düşük kote gitme eğilimindedir [19]. Aynı zamanda yükseklikler yağış türünü de etkilemektedir. Bu durum sızma ve akışa da etki eder. Bu nedenle taşkın risk analizlerinde yükseklik faktörü belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada SYM'nin yeniden sınıflandırılmasıyla Bilecik ilinin yükseklik haritası elde edilmiştir (Şekil 5).



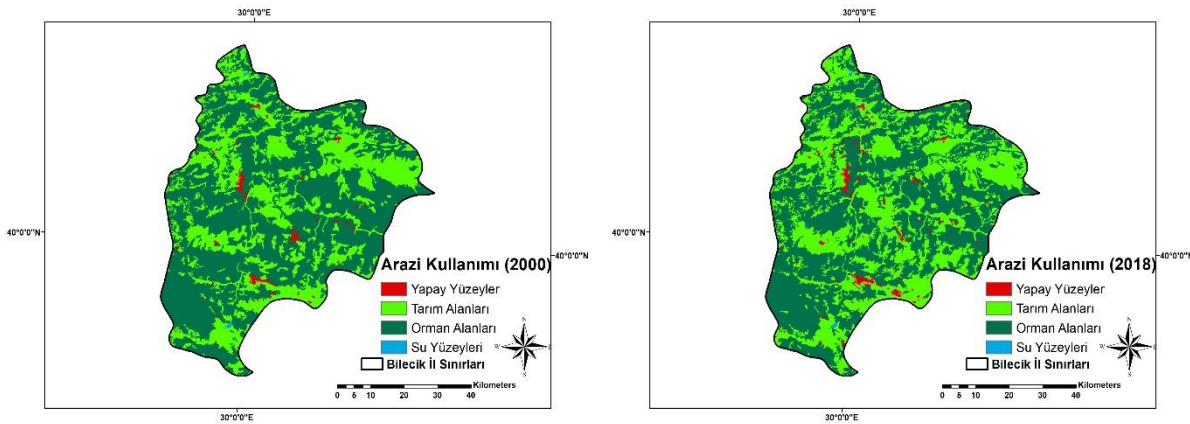
Şekil 5. Bilecik ili yükseklik haritası

4) *Arazi Kullanımı*: Son yıllarda hızla gelişen uydu teknolojileriyle birlikte uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımı büyük artış göstermiştir. Özellikle taşkın risk çalışmalarında arazi kullanımının taşkın riski üzerindeki etkileri uydu görüntülerinin uzaktan algılama yöntemleriyle incelenmesi sonucu ele alınmaktadır. Günümüzde uydu görüntüleri birçok platformdan ücretsiz olarak erişilebilir durumdadır. Arazi kullanımı için kullanılabilir uydu görüntülerinin yanı sıra CORINE resmi web sitesinden Avrupa ülkeleri ve Türkiye'nin arazi kullanımı haritaları 100 m konumsal çözünürlükte elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında Bilecik ilindeki şehirleşmenin taşkın riski üzerindeki etkisini inceleyebilmek için 2000 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanımı haritaları CORINE web sitesinden elde edilerek analiz edilmiştir [20]. Bölgenin arazi kullanımı, CORINE arazi

sınıflandırmasına göre yeniden sınıflandırılarak çalışma alanına ait 2000 ve 2018 yıllarının arazi kullanımı haritaları üretilmiştir (Şekil 7). 2000 yılında Bilecik ilinde yerleşim yeri büyüklüğünün göstergesi olan yapay yüzeylerin 4.568 ha alan kapladığı görülmüştür. Bunun yanı sıra bölgenin diğer arazi kullanımları 145.964 ha tarım alanı, 272.208 ha orman ve 308 ha ise su yüzeyleri olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında ise yapay yüzeylerin 6.866 ha alan kapladığı görülmüştür. Bu durum bölgede şehirleşmenin %5,43 artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. 2018 yılı arazi kullanımına göre bölgenin geri kalanını 171.628 ha ile tarım alanları, 243.845 ha ile Orman alanları 709 ha ile ise su yüzeylerinin oluşturduğu görülmüştür (Şekil 6). 2000 ve 2018 yılları arasında arazi kullanımının değişimi bölgede şehirleşmenin hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Şehirleşmenin artmasıyla düşen yağışın sızmadan doğrudan akışa geçeceği alanlar artmıştır. Bu durum son yıllarda bölgede artan taşkın olaylarını açıklayabilmektedir. Çalışmada incelenen havzaların 2000 ve 2018 yıllarındaki arazi kullanım haritaları Şekil 7’de verilmiştir.

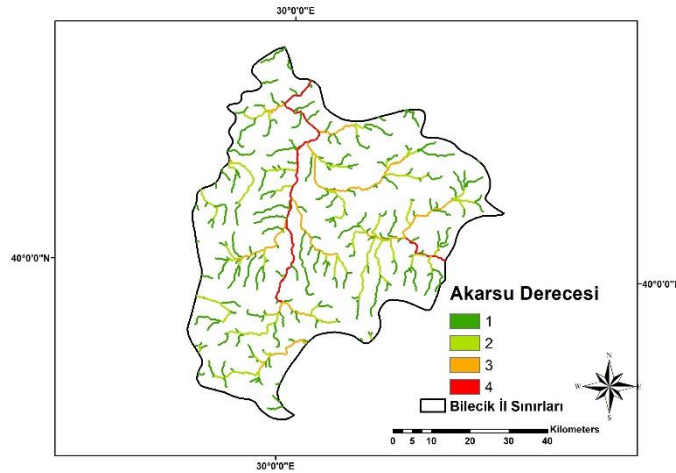


Şekil 6. 2000 ve 2018 yılları arasında arazi kullanımının değişimi



Şekil 7. Bilecik ilinin 2000 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım haritaları

5) *Akarsulara Uzaklık*: Akarsulara uzaklık taşkın riski açısından bir diğer önemli faktördür. Akarsu yatağından uzaklık arttıkça taşkın riski düşmektedir. Bunun yanı sıra akarsuyun akış sırasına göre derecesi de akarsuyun taşıdığı akış debisi açısından bir diğer önemli faktördür. Çalışmada Bilecik il sınırlarındaki akarsular Strahler akış sırası yöntemine göre derecelendirilerek taşıdığı akış debisi büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 8). Çalışmada incelenmek istenen taşkın risk analizlerinde akarsulara uzaklık kriteri aynı zamanda akarsuyun dereceleriyle birlikte ele alınmıştır.



Şekil 8. Bilecik ili akarsu derecesi haritası

### B. Yöntem

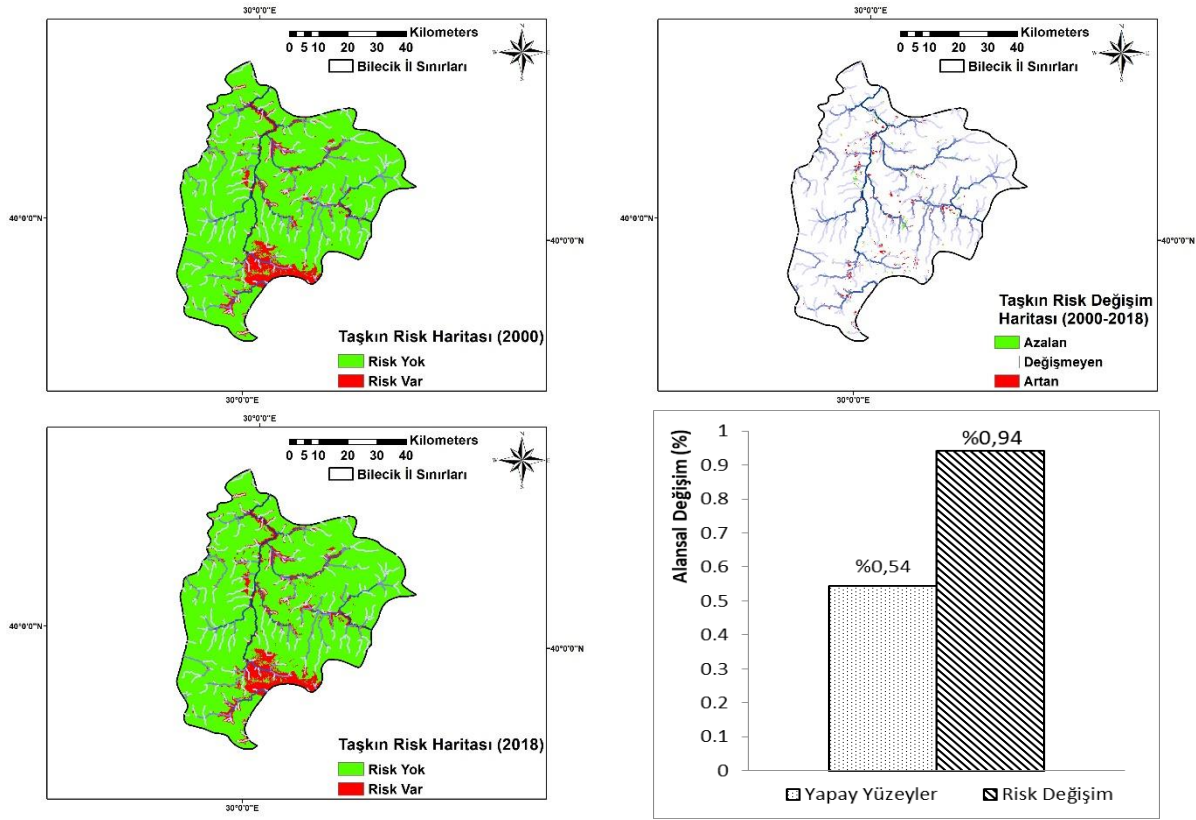
Taşkın risk haritalarının oluşturulması için bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci-Analytic Hierarchy Process (AHP) yönteminde en çok kullanılan çok kriterli karar verme analizi kullanılmıştır [21, 22]. Çok kriterli karar verme analizinde modelin kurulmasında yapılacak ilk adım taşkına etkisi olan faktörlerin belirlenmesidir. Literatürde birçok çalışmada taşkınlara etki eden faktörler göz önünde bulundurularak, bu çalışmada yağış, eğim, yükseklik, arazi kullanımı, akarsulara uzaklık gibi parametreler kullanılarak ağırlıklar belirlenmiştir [23-25]. Çalışmada Bilecik il sınırları için her bir parametrenin sınıf aralıkları önem derecelerine göre Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yöntemde kullanılan faktörlere atanan ağırlık değerleri

Taşkına Etki Eden Faktörler	Etki Yüzdesi (%)	Sınıf Aralıkları	Ağırlık Değeri	
Yağış (mm)	20	432,11-450	1	
		450-470	2	
		470-490	3	
		490-505,39	4	
Eğim (°)	15	0-15	4	
		15-30	3	
		30-45	2	
		>45	1	
Yükseklik (m)	10	80-500	4	
		500-1000	3	
		1000-1500	2	
		>1500	1	
Arazi Kullanımı	25	Yapay Yüzeyler	4	
		Tarım Alanları	3	
		Orman Alanları	2	
		Su Yüzeyleri	1	
Akarsulara Uzaklık (m)	4	1.Derece	0-25	4
			25-50	3
			50-75	2
			75-100	1
	6	2.Derece	0-25	4
			25-50	3
			50-75	2
			75-100	1
	8	3.Derece	0-25	4
			25-50	3
			50-75	2
			75-100	1
12	4.Derece	0-25	4	
		25-50	3	
		50-75	2	
		75-100	1	

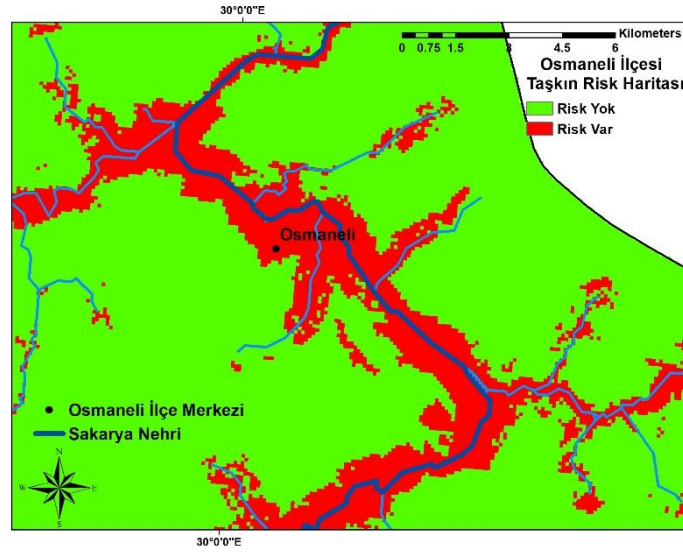
#### IV. SONUÇLAR

Yağış, eğim, yükseklik, arazi kullanımı ve akarsulara uzaklık gibi parametrelerin ArcGIS 10.5 yazılımında raster formatında çok kriterli karar verme analizi yöntemi kullanılarak Bilecik ili için taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Analiz sonucunda 2000 yılı ve 2018 yılları için oluşturulan taşkın risk haritaları ve risk değişimini ortaya koyan grafikler Şekil 9'da verilmiştir.



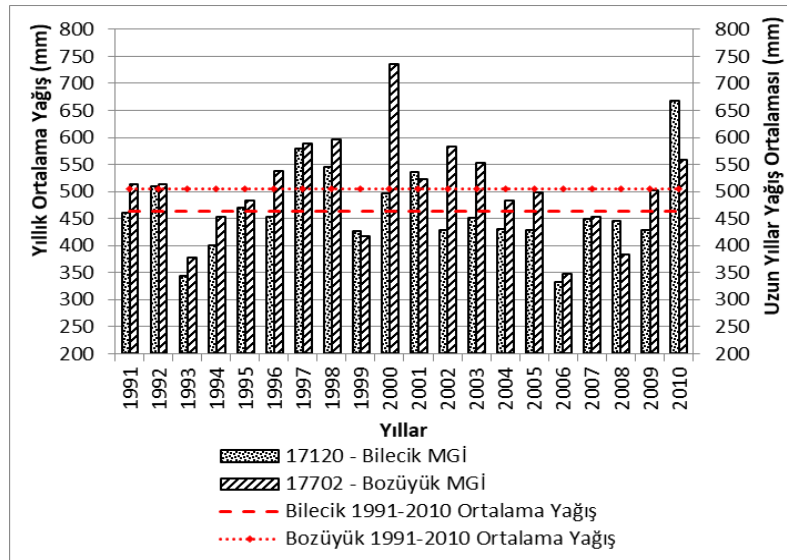
Şekil 9. Bilecik ili 2000 ve 2018 yıllarına ait taşkın risk haritaları

Çok kriterli karar verme analizinde kullanılan her bir parametre 4 sınıfta verildiğinden (Tablo 2.) sonuç risk haritasında anlamlı sonuçların “risk yok” ve “risk var” adı altında iki sınıfta incelenmesi uygun görülmüştür. Bu yöntemin farklı çalışma alanlarında farklı sınıflandırılmalarla değerlendirilebilmesi mümkündür. Ancak Bilecik ili için taşkın riskindeki değişimin en uygun gözlenebildiği sınıflandırma “risk yok” ve risk var” şeklinde iki sınıfta olduğu görülmüştür. Taşkın risk haritaları incelendiğinde ilk göze çarpan ilin güneyinde bulunan Bozüyük ilçesinin sürekli taşkın riski altında olduğudur. Bozüyük, yüksek yağış ortalaması, düşük eğim ve kotları, merkezinden geçen akarsularıyla taşkın riskinin sürekli olarak var olduğu ortadadır. İl genelinde ise 2000 yılı ile 2018 yılları arasında yapay yüzeylerin (şehirleşme) %0,54 artış gösterdiği bununla birlikte taşkın riskinin de %0,94 artış gösterdiği görülmüştür. Yapılan analizler sonucu taşkın riskinin kentleşmedeki artıştan daha fazla artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu durumun Şekil 6’da görülen arazi değişimlerinde orman alanların yerini tarım arazilerine bırakması sonucu olduğu düşünülmektedir. Tarım arazileri orman alanlara göre taşkın riskinin daha fazla olduğu alanlardır. Ayrıca bölge mermer yatakları açısından zengin bir bölge olduğundan orman arazilerinin büyük bir bölümü yıllar içerisinde mermer ocakları olarak işletilmeye başlanmıştır.



Şekil 10. Osmaneli ilçesi taşkın risk haritası

Bozüyük dışında riskli ilçelerden biri olan Osmaneli ilçesi olarak göze çarpmaktadır. Osmaneli Sakarya Nehri'nin kenarında olmasıyla taşkın riski altında olan bir bölgedir. Şekil 10'da verilen taşkın risk haritasında akarsu yataklarında taşkın riski altında olan bölgeler kırmızı renkte görülmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2018 yılında hazırladıkları Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı'na göre Osmaneli ilçesi taşkın etkisi şiddeti ve yenilenme aralığına göre yüksek riskli bölgeler arasında gösterilmiştir [26].



Şekil 11. Bilecik ve Bozüyük yağışölçer istasyonlarının yıllık ortalama yağış değerleri

Şehirleşmedeki değişimin yanı sıra yağışların yıllar içerisindeki değişimi de taşkın risk alanları üzerinde önemli etkileri vardır. Bu nedenle Şekil 11'de en çok ölçüm yapılan iki istasyonun yıllık yağış değişimleri verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde 17120 numaralı Bilecik yağışölçer istasyonunda, 1991-2010 yılları arasında 464,38 mm olan ortalama yağışın üzerinde gelen yağış yıl sayısının 7 olduğu görülmektedir. 17702 numaralı Bozüyük yağışölçer istasyonunda ise 505,35 mm olan uzun yıllar ortalamasının üzerinde gelen yağış yıl sayısı 10'dur. İki önemli istasyondan alınan veriler göstermektedir ki taşkınların yaşanabileceği ortalama yağışların üzerinde gelen yağışlı yıl sayısı oldukça fazladır. Bu durum bölgede risk altında olan alanların planlı kentleşme ve taşkın kontrol yapılarıyla korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## V. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bilecik ilinin 2000 yılından 2018 yılına kadarki arazi kullanım değişiminde orman alanlarının azalması, yapay yüzeylerin ve tarım alanlarının artışı il genelinde taşkın riskinde artışa neden olduğu görülmüştür. Çalışmanın kapsamı sadece yıllık yağış ortalamalarının dağılımı ve arazi değişimi üzerine dayanmaktadır. Bu çalışmaya ek olarak ani taşkınların ve taşkın büyüklüklerinin hesaplanması da uzaktan algılama ve CBS destekli yapılması önerilebilir [13]. Ayrıca iklim değişikliği nedeniyle yağış rejimlerinin değişiklik göstermesi yine taşkın riskini etkileyen önemli faktörlerdendir [27-29]. Bu çalışmada bulunan sonuçlar Bilecik ve Bozüyük gibi iki önemli istasyonun yağış verilerinin yıllık yağış dağılımlarının incelenmesiyle taşkın riski üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Özellikle yüksek yağış ortalamasıyla Bozüyük ilçesi taşkın riski altında olan bölge olarak dikkat çekmiştir. Ayrıca bölgenin en büyük akarsuyu olan Sakarya Nehri'nin geçtiği Osmaneli ilçesi taşkın riski altında olan önemli bölgelerden birisidir. Akarsu yataklarına yakın, şehirleşme ve yağış ortalamasının fazla olduğu yerler taşkın riskinin fazla olduğu yerlerdir. Bu bölgelerde nüfus artışıyla birlikte plansız ve çarpık kentleşme, yok edilen orman alanları, dere yataklarındaki yapılaşma taşkın felaketinin yaşatabileceği zararları da arttırması kaçınılmazdır. Bu tarz çalışmalarla yapılan taşkın risk değerlendirmelerinin yerel yönetimlerle taşkın felaketlerinin önüne geçilmesi için birlikte ele alınması gerektiği önerilmektedir. Sonuç olarak, bu tarz çalışmaların ülkemizin sosyal ve ekonomik olarak taşkın felaketinden daha az etkilenmesi için literatüre bir katkı vereceği öngörülmektedir

## TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan verilerin temininde yardımcı olan Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü başta olmak üzere tüm diğer kurumlara katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Atay, H., Tuvan, A., Demir, O. & Balta, I. (2012). İklim değişikliğinin sağlık üzerine etkileri. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [2] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). Taşkın Yönetimi. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [3] Park, K. & Lee, M. H. (2019). The Development and Application of the Urban Flood Risk Assessment Model for Reflecting upon Urban Planning Elements. *Water, MDPI*, 11, 1-17.
- [4] Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Yilmaz, A. G., Siddique, M., Merabtene, T. & Imteaz, M. A. (2018). Effects of Land Cover Change on Urban Floods and Rainwater Harvesting: A Case Study in Sharjah, UAE. *Water, MDPI*, 10(631), 1-17.
- [5] Barasa, B. N. & Perera, E. D. P. (2018). Analysis of land use change impacts on flash flood occurrences in the Sosiani River basin Kenya. *International Journal of River Basin Management*, 16(2), 179-188.
- [6] Du, J., Zhang, Q., Yang, Y. & Xu, W. (2019). Different Flooding Behaviors Due to Varied Urbanization Levels within River Basin: A Case Study from the Xiang River Basin, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(1), 89-102.
- [7] Veerbeek, W. (2017). Estimating the impacts of urban growth on future flood risk a comparative study. Doctoral Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.
- [8] Haas, J. (2016). Remote Sensing of Urbanization and Environmental Impacts. Doctoral Thesis in Geoinformatics, KTH Architecture and the Built Environment, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.
- [9] Özkan, S. P. & Tarhan, Ç. (2016). Detection of Flood Hazard in Urban Areas Using GIS: İzmir Case. *Procedia Technology*, 22, 373-381.
- [10] Meng, X., Zhang, M., Wen, J., Du, S., Xu, H., Wang, L. & Yang, Y. (2019). A Simple GIS-Based Model for Urban Rainstorm Inundation Simulation. *Sustainability*, 11(10), 1-19.
- [11] Chen, J., Hill, A. A. & Urbano, L. D. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 373(1), 184-192.
- [12] Lin, L. & Liang, Q. (2019). Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multi-criteria analysis framework. *Natural Hazards*, 97, 455-475.
- [13] Bayazit, Y., Koç, C. & Bakış, R. (2020). Urbanization impacts on flash urban floods in Bodrum Province, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 66(6), 1-16.
- [14] Uslu, G., Sesli, F. A. & Uzun, B. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşkın Tehlike Haritalarının Belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 11(4), 545-558.
- [15] Bayazit, Y., Bakış, R., Koç, C., Kaya, T. & Özdemir, N. (2019). Formation of Eskişehir Province Flood Maps with Using of Geographical Information Systems. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 151-159.

- [16] Jing, M. & Wu, J. (2013). Fast image interpolation using directional inverse distance weighting for real-time applications. *Optics Communications*, 286, 111-116.
- [17] Chen, F. W. & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy Water Environ.* 10, 209-222.
- [18] Liu, Z. N., Yu, X. Y., Jia, L. F., Wang, Y. S., Song, Y. C. & Meng, H. D. (2021). The influence of distance weight on the inverse distance weighted method for ore-grade estimation. *Scientific Reports*, 11 (2689).
- [19] Dou, X., Song, J., Wang, L., Tang, B., Xu, S., Kong, F. & Jiang, X. (2018). Flood risk assessment and mapping based on a modified multi-parameter flood hazard index model in the Guanzhong Urban Area, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 1131-1146.
- [20] CORINE (2020). Land Cover. Copernicus Land Monitoring Service, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, (28.01.2021).
- [21] Saaty, T. I. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- [22] Saaty, T. I. (1990). An exposition of the ahp in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science*, 36(3), 259-268.
- [23] Wang, Y., Li, Z., Tang, Z. & Zeng, G. (2011). A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25, 3465-3484.
- [24] Zenger, A. (2002). Examining GIS decision utility for natural hazard risk modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 287-294.
- [25] Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563.
- [26] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2018). Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [27] Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10 (13768).
- [28] Guhathakurta, P., Sreejith, O. P. & Menon, P. A. (2011). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal of Earth System Science*, 120 (359).
- [29] Schmitt, T. G. & Scheid, C. (2020). Evaluation and communication of pluvial flood risks in urban areas. *WIRE's Water*, 7 (1).



*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Utilization of Stochastic, Artificial Neural Network, and Wavelet Combined Models for Monthly Streamflow

### Aylık Akış Tahmini için Stokastik, Yapay Sinir Ağı ve Dalgacık Bazlı Modellerin Kullanımı

Cenk Sezen<sup>1</sup>, Turgay Partal<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 19/02/2021*

*Revize / Revised: 27/05/2021*

*Kabul / Accepted: 28/05/2021*

#### ABSTRACT

The development of various models to estimate hydrological variables, such as precipitation and runoff is significant regarding handling the water-related problems in the future. This study investigates the performances of Artificial Neural Network (ANN), Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA), Wavelet-ARIMA (WARIMA), and WARIMA-ANN models for monthly streamflow forecasting. These models were utilized in two stations of the Susurluk basin in Turkey. In this regard, first, the streamflow data were decomposed into components by wavelet transformation for the WARIMA and WARIMA-ANN models. After that, runoff predictions were performed for each model. As comparison criteria, Root Mean Square Error (RMSE), Kling Gupta Efficiency (KGE), and Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) were taken into consideration. As a result, it was obtained that WARIMA and WARIMA-ANN models performed better than the ARIMA and ANN models, particularly. In addition, it was seen that wavelet transformation improved the performance of ARIMA and ARIMA-ANN models, obviously.

*Keywords- ANN, ARIMA, Streamflow, Wavelet, Turkey*

#### ÖZ

Yağış ve akış gibi hidrolojik verilerin tahmini için farklı modellerin geliştirilmesi gelecekte su ile ilgili problemlerle mücadele edebilmek açısından önemlidir. Bu çalışma, Yapay Sinir Ağı (ANN), Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA), Dalgacık-ARIMA (WARIMA) ve WARIMA-ANN modellerinin aylık akım tahmin performanslarını araştırmaktadır. Bu modeller, Türkiye'nin Susurluk havzasındaki iki istasyonda uygulanmıştır. Bu bağlamda, ilk olarak akış verileri WARIMA ve WARIMA-ANN modelleri için dalgacık dönüşümü ile bileşenlerine ayrılmıştır. Daha sonra, her bir model için akış tahminleri gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma ölçütü olarak, Hataların Ortalama Karakökü (RMSE), Kling-Gupta Verimliliği (KGE) ve Nash Sutcliffe Verimliliği (NSE) göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak, WARIMA ve WARIMA-ANN modellerinin, özellikle ARIMA ve ANN modellerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak, dalgacık dönüşümünün ARIMA ve ARIMA-ANN modellerinin performansını geliştirdiği belirgin şekilde görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler- ANN, ARIMA, Akış, Dalgacık, Türkiye*

<sup>1</sup>İletişim: [cenk.sezen@omu.edu.tr](mailto:cenk.sezen@omu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-1088-9360>)

Department of Civil Engineering, Ondokuz Mayıs University, Kurupelit Campus, Samsun, Turkey

<sup>2\*</sup> Sorumlu yazar iletişim: [turgay.partal@omu.edu.tr](mailto:turgay.partal@omu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3779-441X>)

Department of Civil Engineering, Ondokuz Mayıs University, Kurupelit Campus, Samsun, Turkey

## I. INTRODUCTION

The examination or usage of different methods is significant for improving runoff forecasting. Furthermore, runoff prediction has become crucial concerning water resources planning and the determination of climate change impacts. Many studies have been carried out within this framework, and different methods have been put forward so far [1-3]. Aqil et al. [4] used the recurrent and Feed-Forward Neural Network structures by utilizing various training algorithms for river flow forecasting. They showed that the feed-forward neural network which is trained with the Levenberg-Marquardt algorithm, performed better than other model structures for the river flow prediction. Lin et al. [5] utilized the Support Vector Machine (SVM) models to estimate the hourly inflow in Taiwan for the typhoon warning periods. They pointed out that the SVM model had more advantages such as its ability to produce robust and efficient modelling results compared to the back propagation networks. Zadeh et al. [6] investigated the performance of ANN models by using different input combinations and activation functions (i.e. tangent sigmoid and logistic sigmoid functions) to forecast daily flow in Iran. They found that the selection of input data is significant and the increase of input data can adversely affect the model performance. In addition, they also stated that the ANN model with the tangent sigmoid function yielded better than the ANN model with the logistic sigmoid function for the flow prediction. Kurtulus and Razack [7] examined the performance of Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System (ANFIS) and ANN models to predict daily flow in karstic aquifers in south-western France. They stated that the ANFIS model yielded a better performance than the ANN model regarding the forecasting of high flow. Furthermore, they emphasized that the utilization of different input data could affect the model performance. Goyal et al. [8] implemented various Support Vector Regression (SVR) models for the discharge forecasting in karst springs in Greece. They pointed out that the SVR models can be helpful concerning hydrological modelling. Shafaei et al. [9] utilized a hybrid model which consists of the wavelet transform, Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) and Artificial Neural Network (ANN) models for the estimation of precipitation. In this regard, first, they decomposed the precipitation data into the high and low-frequency wavelet components. Accordingly, the low-frequency component was forecasted by the SARIMA model, whereas the high-frequency components were estimated via the ANN model. They revealed that the wavelet-SARIMA-ANN model performed better than wavelet-ANN and wavelet-SARIMA models. Kaur et al. [10] used the wavelet transformation and Autoregressive Moving Average (ARMA) as a hybrid model, and they compared the performance of this hybrid model with ANN- Ensemble Kalman Filtering (EnKF) hybrid model. As a result, they found out that the wavelet-ARMA model outperformed the ANN-EnKF model to predict wind speed. Valipour et al. [11] utilized ARMA, Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) and ANN models to forecast inflow in Iran. They stated that the ARIMA model outperformed the ARMA model. Furthermore, they also expressed that the ANN model could be ideal for inflow estimation compared to the ARMA and ARIMA models. Pektas and Cigizoglu [12] investigated the performance of ANN, Multiple Linear Regression (MLR), and ARIMA models for forecasting of the suspended sediment. Accordingly, they concluded that the ANN model performed slightly better than other models in their study. Liu et al. [13] searched for the impacts of climate change on the runoff regime in China by using the ARMA model. They found that precipitation is more influential than the temperature for the change in streamflow, and runoff had an increasing tendency due to climate change. Valipour [14] analysed the performances of ARIMA and SARIMA models to estimate runoff in the United States. Accordingly, it was suggested that the SARIMA method performed better than the ARIMA method for runoff forecasting. Lohani et al. [15] compared the performance of the ANN, Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS), and AR models for reservoir inflow prediction. They revealed that the ANFIS model yielded better than the ANN and AR models for monthly inflow forecasting. Unes et al. [16] used the MLR, ANN, M5 Decision Tree (M5T), ANFIS, Mamdani-Fuzzy Logic (M-FL), and Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique (SMRGT) models for flow prediction in Stilwater River, USA. They found out that M-FL and SMRGT models yielded better flow estimation results than other models according to the correlation coefficient, Mean Square Error (MSE), and Mean Absolute Error (MAE) statistics. Fathian et al. [17] utilized the Self-Exciting Threshold Autoregressive (SETAR), Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH), ANN, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) and Random Forest (RF) models to estimate monthly runoff in Grand River, Canada. They also implemented hybrid models via coupling of ANN, MARS, and RF models with SETAR and GARCH models. They stated that hybrid models performed better than the stand-alone models concerning river flow prediction. Hussainand Khan [18] compared RF, Multilayer Perceptron (MLP), and SVR models for monthly flow forecasting in Hunza River, Pakistan. They revealed that the RF model yielded more accurate estimation results than the MLP and SVR models. Poonia and Tiwari [19] implemented the Feed-Forward Back Propagation (FFBP) and Radial Basis Function (RBF) neural networks for rainfall-runoff modelling in Narmada River, India. They put forward that ANN models can be useful for the estimation of hydrological

variables in agricultural watersheds. These studies indicated that many different black-box and stochastic models have still been utilized to predict hydrological variables such as rainfall, runoff, and groundwater level. In this regard, the improvement of different combined models has importance concerning the estimation of hydrological variables to plan water resources in the future.

In this study, the performances of ANN, ARIMA, and Wavelet-Based ARIMA (WARIMA), and WARIMA-ANN models will be analyzed for the monthly streamflow forecasting in E03A002 Döllük and E03A016Yahyaköy stations of Turkey. For this purpose, Root Mean Square Error (RMSE), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE), and Kling-Gupta Efficiency (KGE) error criteria were used for the comparison of model performance. This study is remarkable for comparing and combining stochastic and black-box models and observing the performance development of the ARIMA model thanks to wavelet transformation.

## II. MATERIAL AND METHODS

### A. Data

In this study, the streamflow data of the two stations, which are located in the northwestern part of Turkey, are used for runoff modeling. The location of the stations and the statistical data (standard deviation, mean, coefficient of skewness, minimum, maximum) which belong to these stations were indicated in Figure 1, Table 1 and Table 2, respectively. The streamflow data cover the period between January 1962 and September 2011 for each station. Accordingly, the streamflow data between January 1962 and October 2001 (80% of data) was used for the training period, whereas the streamflow data between November 2001 and September 2011 (20% of data) was used for the test period in WARIMA-ANN, WARIMA, ARIMA and ANN models.

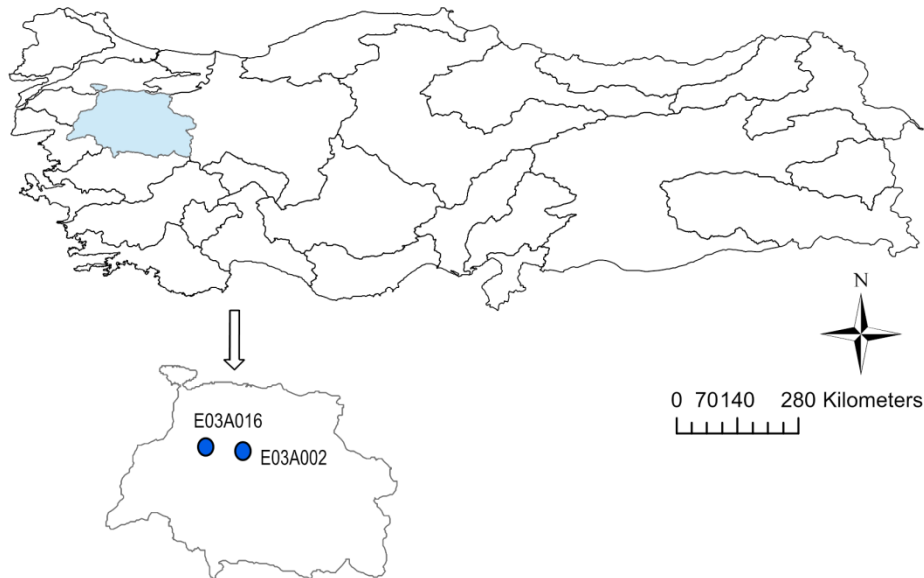


Figure 1. Location of stations in Susurluk basin, Turkey

Table 1. Spatial data of stations

Station No	Basin	Creek	Station Name	Elevation (m)	Lat.	Long.
E03A002	Susurluk	M. Kemalpaşa	Döllük	40	39°57'41" N	28°30'58" E
E03A016	Susurluk	Simay	Yahyaköy	30	39°59'10" N	28°10'34" E

**Table 2.** Statistical data of streamflow for each station

Station No	Station Name	Statistical Data				
		Mean (m <sup>3</sup> /s)	Std. Deviation (m <sup>3</sup> /s)	Coefficient of Skewness	Minimum (m <sup>3</sup> /s)	Maximum (m <sup>3</sup> /s)
E03A002	Döllük	52.7	54.5	2.0	5.3	350
E03A016	Yahyaköy	43.9	59.0	2.76	1.0	445.6

## B. Methodology

1) *Wavelet Transformation:* The wavelet transformation is a procedure for fulfilling the time-frequency analysis [20]. Wavelet transform analysis, developed during the last two decades, appears to be a very effective tool in studying non-stationary time series. Wavelet function  $\psi(\tau, s)$  for  $t \in [-\infty, \infty]$  is obtained as shown in equation (1).

$$\psi(\tau, s) = s^{-1/2} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (1)$$

Here,  $t$  refers to time,  $\tau$  stands for the time step in which the window function is iterated and,  $s$  for the wavelet scale [21]. According to this, the continuous wavelet transform of  $x(t)$  can be obtained as below.

$$W(\tau, s) = s^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi * \left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (2)$$

Here, (\*) refers to complex conjugate,  $W(\tau, s)$  shows the two dimensional depiction of wavelet power. If one chooses scales and positions based on the powers of two (dyadic scales and positions), then the analysis will be much more efficient and accurate. This referred to discrete wavelet transformation [22]. Discrete wavelet transformation was demonstrated in equation (3).

$$\psi_{m,n}\left(\frac{t-\tau}{s}\right) = s_0^{-m/2} \psi\left(\frac{t-n\tau_0 s_0^m}{s_0^m}\right) \quad (3)$$

where,  $m$  and  $n$  are integers that control the scale and time, respectively,  $s_0$  is a specified fixed dilation step greater than 1, and  $\tau_0$  is the location parameter and must be greater than zero. Besides the translation step,  $n\tau_0 s_0^m$  depends on the dilation  $s_0^m$ . The most general choice for the parameters  $s_0$  and  $\tau_0$  is 2 and 1 (time steps), respectively. Discrete wavelet transformation is a very efficient way with regard to the practical aims [23]. The discrete wavelet transformation for a discrete-time series  $x_i$ , where  $x_i$  occurs at the discrete-time  $i$  (i.e., here integer time steps are used), was illustrated in equation (4).

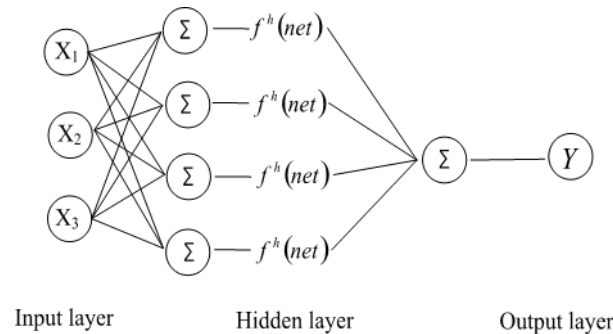
$$W_{m,n} = 2^{-m/2} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \psi(2^{-m}i - n) \quad (4)$$

In equation (4),  $W_{m,n}$  is the coefficient of wavelet for  $s = 2^m$  and location  $\tau = 2^m n$ . Here, wavelet transformation was combined with the ARIMA and ANN models. Components obtained by discrete wavelet transformation were used as inputs for ARIMA and ANN models. The least asymmetric (la8) wavelet filter was utilized as a mother wavelet, and Multiresolution Analysis (MRA) introduced by [23] was used for WARIMA and WARIMA-ANN model. In this regard, data was decomposed into Detail ( $D_1, D_2, \dots, D_j$ ) components and Approximation ( $A_j$ ) component, where  $j$  represents the decomposition level. In this study, streamflow data was decomposed by using discrete wavelet transformation.

2) *Artificial Neural Network:* As an ANN training algorithm, the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm was performed to train the data. In this study, Streamflow Data preceding days ( $Q(t-1)$ ,  $Q(t-2)$  and  $Q(t-3)$ ) were used for stream flow forecasting. In this context, different input combinations and architecture of ANN model were shown in Table 3 and Figure 2, respectively.

**Table 1.** Input combinations for ANN model

Model	Input Combination No	Input Combination
ANN	1	Q(t-1)
	2	Q(t-1), Q(t-2)
	3	Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3)



**Figure 2.** Structure of ANN Model

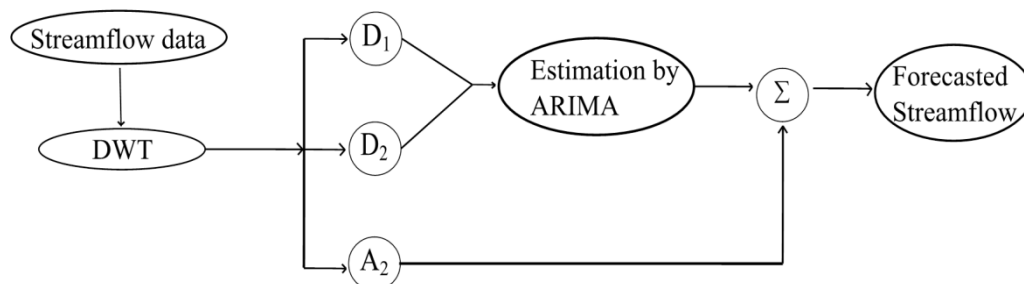
3) *ARIMA Model:* ARIMA (p, d, q) model consists of two parts. The first part is the differencing part (d) and the second part is ARMA (p,q) model. Differencing part is significant for the model concerning gaining stationarity [12]. ARMA model, which is the second part of the ARIMA model, is composed of the Autoregressive (AR) model and Moving Average (MA) model as indicated in equation (5) [24]. ARMA model can become stationary thanks to the differentiation part of the ARIMA model [12].

$$y_i = \varphi_1 y_{i-1} + \varphi_2 y_{i-2} + \dots + \varepsilon_i - \theta_1 \varepsilon_{i-1} - \theta_2 \varepsilon_{i-2} - \theta_q \varepsilon_{i-q} \quad (5)$$

In this study, the ARIMA model was used for monthly streamflow forecasting, and it was also combined with wavelet transformation. Accordingly, high frequented wavelet components were simulated by using the ARIMA model. To obtain the appropriate ARIMA model for the simulation, Akeike Information Criterion (AIC) was taken into consideration, and then streamflow simulations were carried out. For this analysis, the ‘forecast’ package in R software was used [25-27]. Before the implementation of the ARIMA model, Box-Cox transformation was applied to data [28, 29].

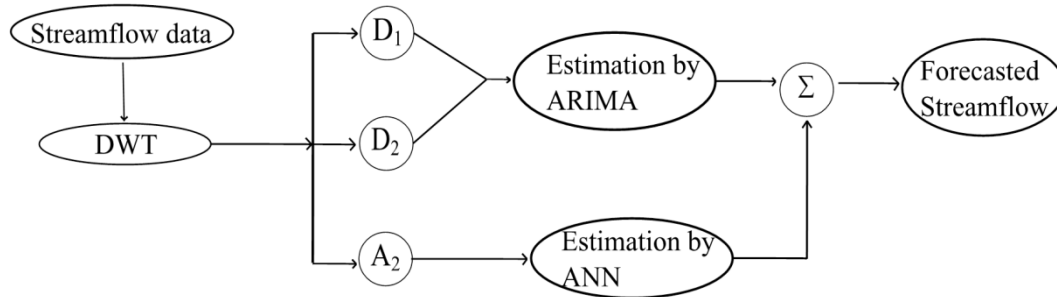
4) *WARIMA Based Model Structure:* First, the streamflow data was decomposed into two wavelet components (D1 and D2) and an approximation component (A2) for WARIMA and WARIMA-ANN models. To decide the wavelet decomposition process, the formula ( $I = \text{int}[\log(n)]$ ) which was recommended by Wang and Ding [30] was utilized in this study. In that formula,  $I$  and  $n$  denote the level of decomposition and data length.

The architecture of WARIMA was illustrated in Figure 3. In WARIMA model, first Box-Cox transformation was implemented to D1 and D2 wavelet components, then D1 and D2 components were estimated by ARIMA model, whereas approximation component is not predicted. Finally, predicted D1 and D2 components, and A2 component were summed. As a result, streamflow forecasting values by using the WARIMA model were obtained.



**Figure 3.** Structure of WARIMA Model

In Figure 4, the structure of WARIMA-ANN was given. In this model, first Box-Cox transformation was implemented to D1 and D2 wavelet components, then D1 and D2 components were forecasted by ARIMA model while the A2 approximation component was estimated by ANN model. Then estimated components were summed, as seen in Figure 4.



**Figure 4.** Structure of WARIMA-ANN Model

5) *Evaluation of the Model Performance:* The performance of the models used in this study was assessed according to RMSE, KGE, and NSE error criteria. The formulation of these criteria was indicated as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2} \quad (6)$$

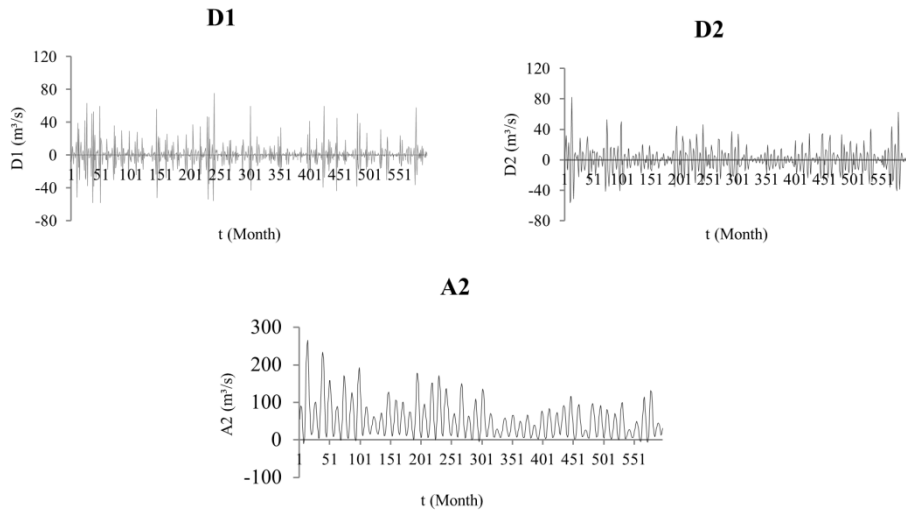
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (7)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (8)$$

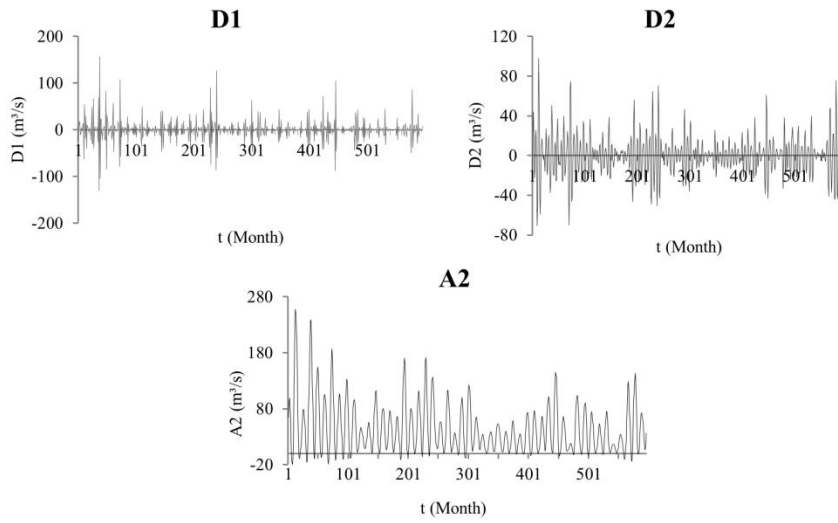
In equation (6) and equation (7),  $Q_{obs,i}$  refers to the observed flow;  $Q_{sim,i}$  refers to the simulated flow for  $i$ .th time, and  $N$  refers to data length, respectively.  $\bar{Q}_{obs}$  stands for the mean of observed values in equation (7). Furthermore,  $r$  stands for the correlation coefficient,  $\alpha$  for the ratio of simulated mean flow to observed mean flow, and  $\beta$  the ratio of the standard deviation of the simulated flow to the standard deviation of the observed flow in equation (8).

### III. RESULTS AND DISCUSSION

First, streamflow data was decomposed by using wavelet analysis. Wavelet components of streamflow data can be seen in Figure 5 and Figure 6 for Döllük and Yahyaköy stations, respectively. As stated in Methodology Section, for the ANN model different input combinations were tried, and input combination 3 gave the best results for the simulation compared with the other input combinations. Because of that, results for the ANN model were given only for the input combination 3. In the ANN model, the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm was used for the training part. The various hidden neurons were tried, and finally, the number of hidden neurons was selected as 3. Then, the selection of the appropriate ARIMA model was fulfilled as stated in Methodology Section. For the WARIMA and WARIMA-ANN models, wavelet components were obtained and then, the forecasting process was carried out as explained in Methodology Section. The ARIMA models which were prepared for the streamflow data of each station were indicated in Table 4 and Table 5, respectively. The frequency distribution of residuals in ARIMA models for both Döllük and Yahyaköy stations can be seen in Figure 7. It can be assumed that residuals of the ARIMA models follow the normal distribution (Figure 7).



**Figure 5.** Wavelet Components of Streamflow Data for Döllük Station



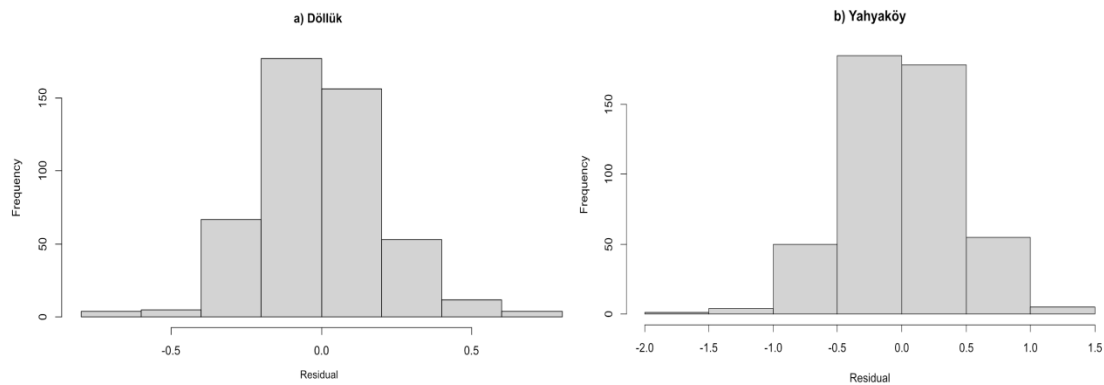
**Figure 6.** Wavelet Components of Streamflow Data for Yahyaköy Station

**Table 4.** ARIMA Models for the streamflow forecasting of Döllük station

Model Name	Input Data	ARIMA Models
ARIMA	Q	ARIMA (5,1,1)
WARIMA	D1	ARIMA (1,0,5)
WARIMA-ANN	D2	ARIMA (4,0,5)

**Table 2.** ARIMA Models for the streamflow forecasting of Yahyaköy station

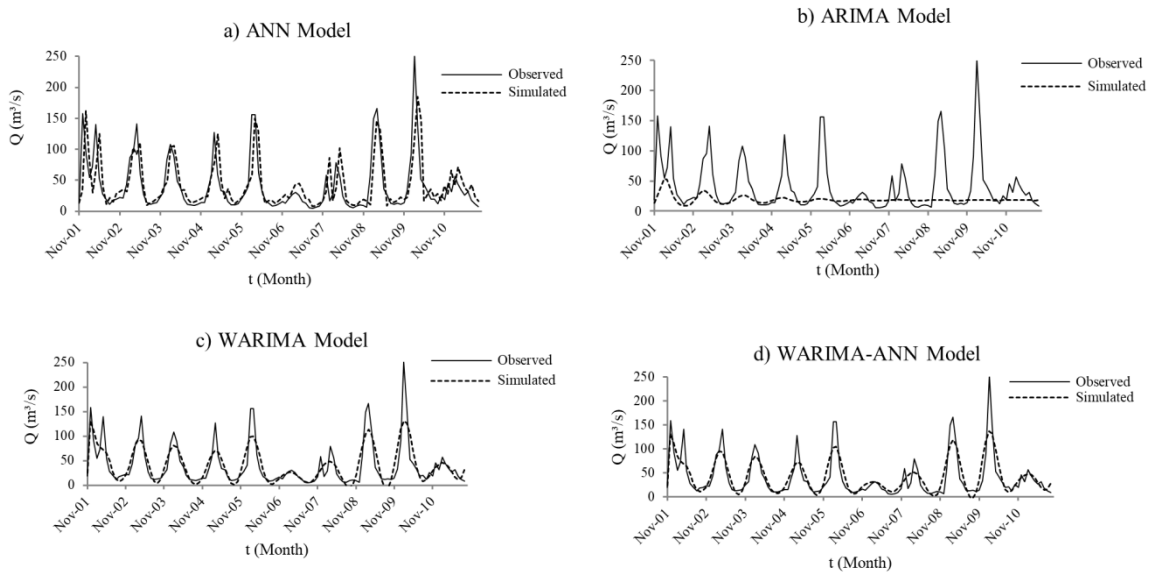
Model Name	Input Data	ARIMA Models
ARIMA	Q	ARIMA (2,0,2)
WARIMA	D1	ARIMA (1,0,5)
WARIMA-ANN	D2	ARIMA (4,0,5)



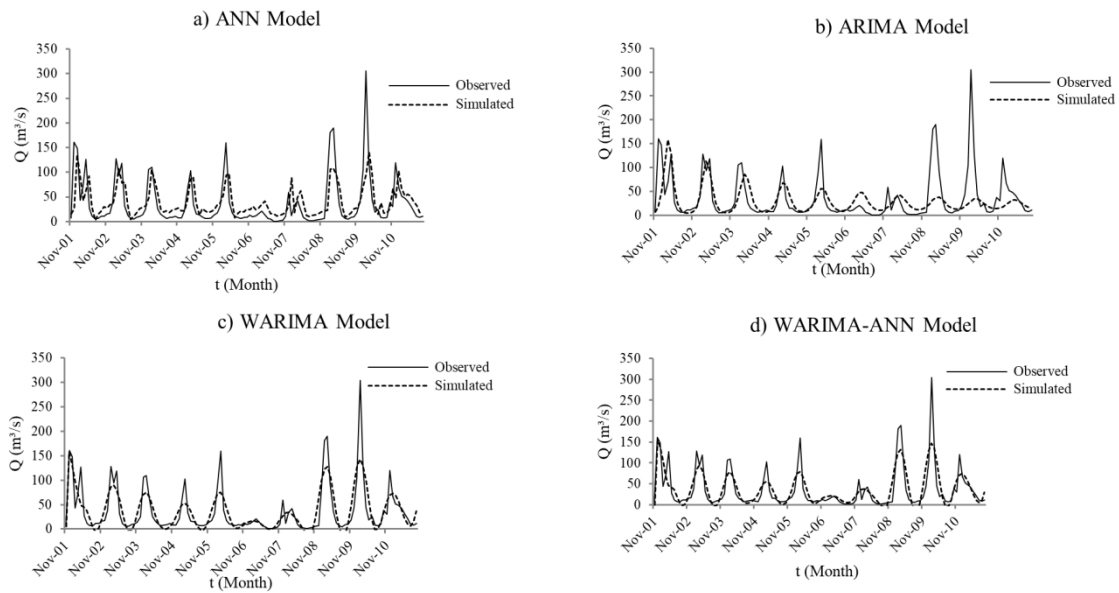
**Figure 7.** Histogram of residuals in ARIMA models for a) Döllük and b) Yahyaköy stations

After the models were prepared, streamflow forecasting was performed. The relationship between observed and predicted streamflow can be seen in Figure 8 and Figure 9. According to Figure 8 and Figure 9, it can be understood that the ARIMA model yielded a poor performance in comparison with other models. However, the performance of the WARIMA and WARIMA-ANN models is better than the ANN model. It can also be inferred that wavelet analysis improved the performance of the ARIMA model significantly. Furthermore, coupling of ANN and ARIMA models in addition to wavelet analysis could enhance the forecasting performance of stand-alone models (i.e., ANN and ARIMA). This is also compatible with the findings of Sahay and Srivastava [22] that indicated the usefulness of hybrid models in hydrological modelling. Although WARIMA and WARIMA-ANN models had some shortages with regard to estimation of especially high flows, both models had a better performance than the ARIMA and ANN models. Scattering diagrams in Figure 10 and Figure 11 also pointed out that WARIMA and WARIMA-ANN models yielded better than the ARIMA and ANN models for runoff modelling. Even though scattering is more particularly for high flows in all models, it is much more in ARIMA and ANN than the WARIMA and WARIMA-ANN models. As stated by Fathian et al [17] stand-alone models could not exhibit sufficient performance for extreme runoff values compared to the hybrid models. In Figure 12 and Figure 13, the performance of models based on RMSE, NSE, and KGE was demonstrated. It can be seen that WARIMA-ANN performed slightly better than the WARIMA model (e.g., NSE is 0.74 and 0.72; RMSE is 22.4 and 23.3 m<sup>3</sup>/s and KGE is 0.73 and 0.73 for WARIMA-ANN and WARIMA models in Döllük station, respectively). In addition, the ARIMA model yielded the worst forecasting results in all models and ANN did not also perform more satisfactory results than the hybrid models (e.g., NSE is 0.47 and 0.15; RMSE is 35.6 and 45.2 and KGE is 0.5 and 0.24 for ANN and ARIMA models in Yahyaköy station, respectively). In this regard, it can be stated that decomposition of dataset via wavelet analysis and prediction of runoff by coupling of ANN and ARIMA models could be useful as shown by Shafaei et al [9].

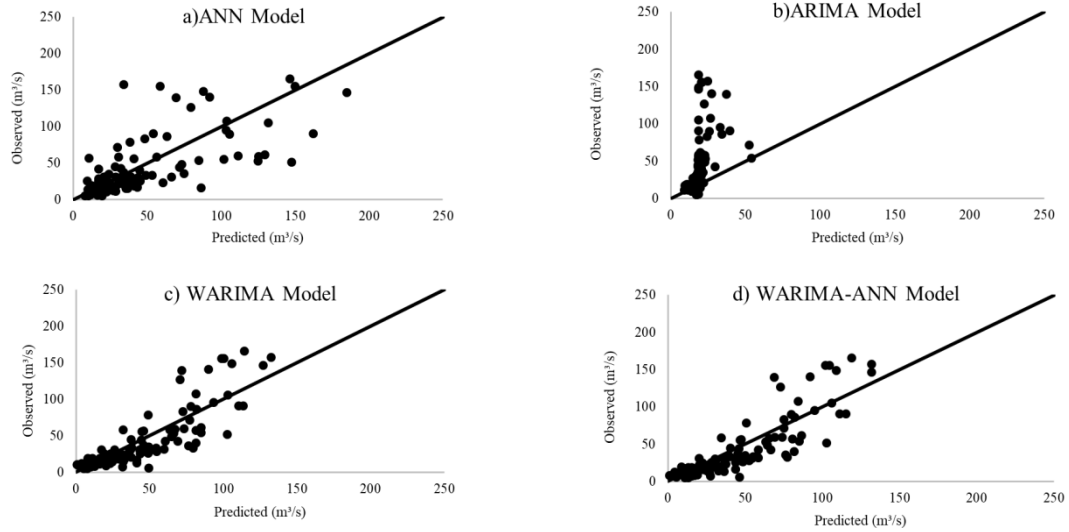




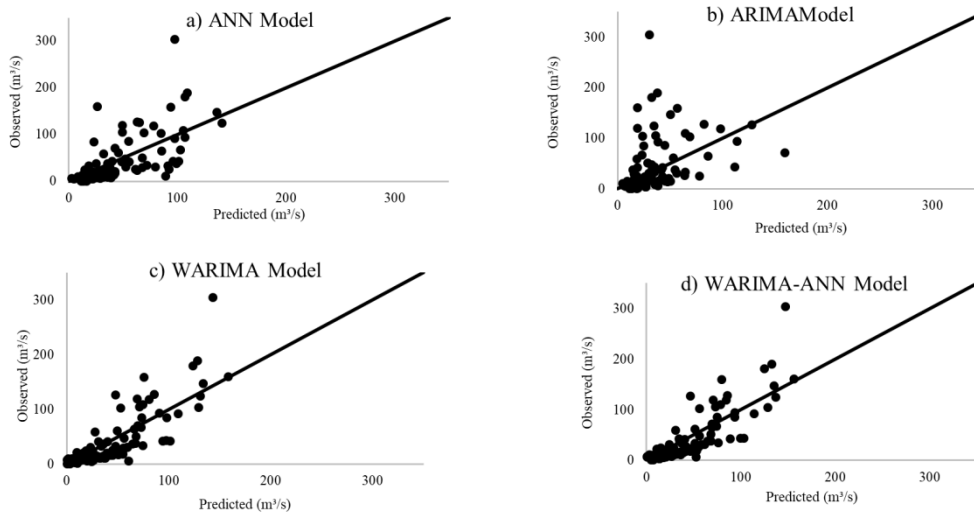
**Figure 8.** Relationship between forecasted and observed streamflow for a) ANN, b) ARIMA, c) WARIMA, d) WARIMA-ANN models in the Döllük station



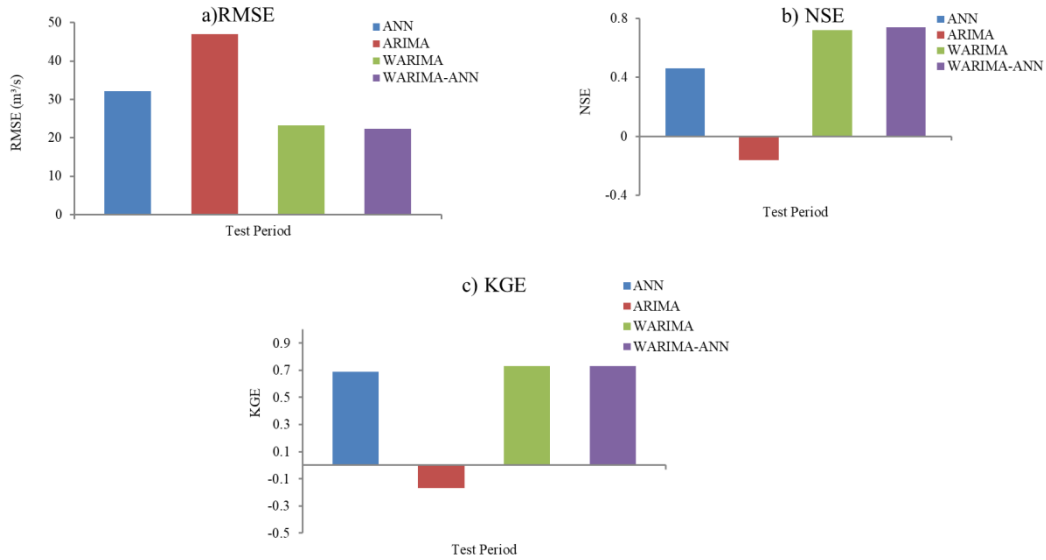
**Figure 9.** The relationship between forecasted and observed streamflow for a) ANN, b) ARIMA, c) WARIMA, d) WARIMA-ANN models in the Yahyaköy station



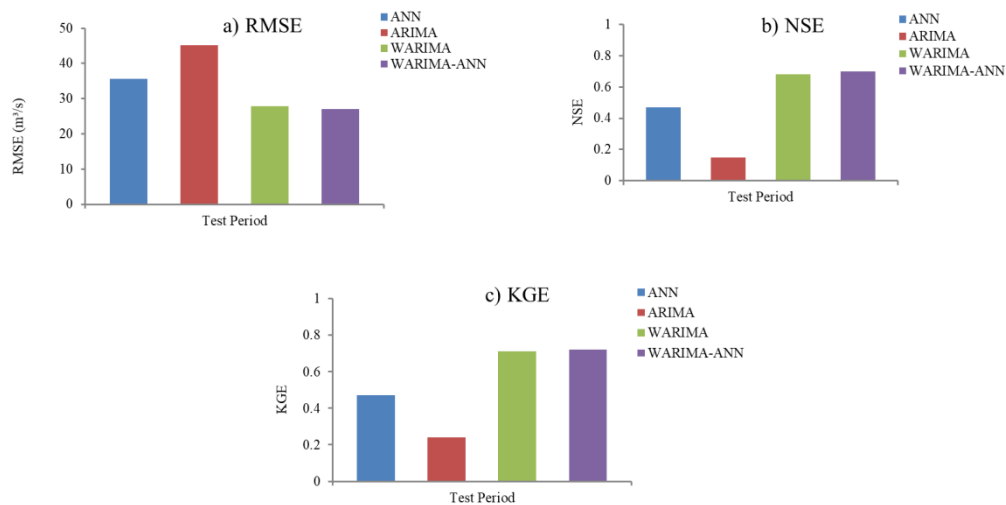
**Figure 10.** The scattering diagrams for a) ANN, b) ARIMA, c) WARIMA, d) WARIMA-ANN models in the Döllük station



**Figure 11.** The scattering diagrams for a) ANN, b) ARIMA, c) WARIMA, d) WARIMA-ANN models in the Yahyaköy station



**Figure 12.** The performance of models a) RMSE, b) NSE and c) KGE for the Döllük station



**Figure 13.** The performance of models (a) RMSE, (b) NSE and (c) KGE for the Yahyaköy station

#### IV. CONCLUSION

Due to the changing pattern in climate conditions, forecasting hydro meteorological variables has become more critical in extreme events, such as flash floods and droughts. In this regard, the utilization of different hybrid models to predict hydrological variables is very significant in water resource management in the future. The first target of study was the comparing various stochastic and black-box models for the monthly streamflow forecasting in Döllük and Yahyaköy stations situated in Susurluk basin of Turkey. Secondly, it was aimed to determine whether wavelet transformation enhanced the performance of the stochastic and black-box models. Within this framework, hybrid models such as WARIMA and WARIMA-ANN were used as well as the ARIMA and ANN models. As a result, first, it was obtained that the ANN model performed better than the ARIMA model. In addition, the WARIMA-ANN model performed slightly better than the WARIMA model. Both WARIMA and WARIMA-ANN models had superior performance in comparison with the ARIMA and ANN models significantly. In other words, wavelet transformation and coupling of models developed the performance of the

ARIMA model considerably. Especially wavelet-based stochastic model and wavelet-based stochastic-black box yielded better performance than either the ARIMA or the ANN model for the monthly streamflow prediction. Although hybrid models yielded more satisfactory forecasting results than the ARIMA and ANN models, they also yielded unsatisfactory prediction performance with regard to extreme flow events. In this respect, further studies will be fulfilled to investigate different hybrid models to improve their performance for the prediction of particularly low and high flows in future studies.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to General Directorate of State Hydraulic Works for providing the data. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. Authors declare that they have no conflict of interest.

#### REFERENCES

- [1] Jain, A. & Kumar A. M. (2007). Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. *Applied Soft Computing*, 7(2), 585-592.
- [2] Adamowski, J. & Chan, H. F. (2011). A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology*, 407(1-4), 28-40.
- [3] Wang, W.C, Chau, K.W., Xu, D.M. & Chen X.Y. (2015). Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. *Water Resources Management*, 29(8), 2655-2675.
- [4] Aqil, M, Kita, I., Yano, A. & Nishiyama, S. (2007). Neural networks for real time catchment flow modeling and prediction. *Water Resources Management*, 21(10), 1781-1796.
- [5] Lin, G. F., Chen, G. R., Huang, P. Y. & Chou, Y. C. (2009). Support vector machine-based models for hourly reservoir inflow forecasting during typhoon-warning periods. *Journal of Hydrology*, 372(1-4), 17-29.
- [6] Zadeh, M. R., Amin, S., Khalili, D. & Singh, V.P. (2010). Daily outflow prediction by multilayer perceptron with logistic sigmoid and tangent sigmoid activation functions. *Water resources management*, 24(11), 2673-2688.
- [7] Kurtuluş, B. & Razack, M. (2010). Modeling daily discharge responses of a large karstic aquifer using soft computing methods: artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology*, 381(1-2), 101-111.
- [8] Goyal, M. K., Sharma, A., Katsifarakis, K. L. (2017). Prediction of flow rate of karstic springs using support vector machines. *Hydrological Sciences Journal*, 62(13), 2175-2186.
- [9] Shafaei, M., Adamowski, J., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y. & Adamowski, K. (2016). A wavelet-SARIMA-ANN hybrid model for precipitation forecasting. *Journal of Water and Land Development*, 28(1), 27-36.
- [10] Kaur, D., Lie, T. T., Nair, N. K. & Vallès, B. (2015) Wind speed forecasting using hybrid wavelet transform-ARMA techniques. *AIMS Energy*, 3(1), 13-24.
- [11] Valipour, M., Banihabib, M. E. & Behbahani, S. M. R. (2013). Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir, *Journal of Hydrology*, 476, 433-441.
- [12] Pektaş, A. O. & Cigizoglu, H.K, (2017). Long-range forecasting of suspended sediment, *Hydrological Sciences Journal*, 62(14), 2415-2425.
- [13] Liu, Y., Wu, J., Liu, Y, Hu, B.X., Hao, Y, Huo, X., Fan, Y., Yeh, T. & Wang, Z.L. (2015). Analyzing effects of climate change on streamflow in a glacier mountain catchment using an ARMA model. *Quaternary International*, 358, 137-145.
- [14] Valipour, M. (2015). Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States, *Meteorological Applications*, 22(3), 592-598.
- [15] Lohani, A. K., Kumar, R. & Singh, R.D. (2012). Hydrological time series modeling: A comparison between adaptive neuro-fuzzy, neural network and autoregressive techniques. *Journal of Hydrology*, 442, 23-35.
- [16] Unes, F., Demirci, M., Zelenakova, M., Calisici, M., Tasar, B., Vranay, F. & Kaya, Y. Z. (2020). River Flow Estimation Using Artificial Intelligence and Fuzzy Techniques. *Water*, 12(9), 2427.
- [17] Fathian, F., Mehdizadeh, S., Sales, A. K. & Safari, M. J. S. (2019). Hybrid models to improve the monthly river flow prediction: Integrating artificial intelligence and non-linear time series models. *Journal of Hydrology*, 575, 1200-1213.
- [18] Hussain, D. & Khan, A. A. (2020). Machine learning techniques for monthly river flow forecasting of Hunza River, Pakistan. *Earth Science Informatics*, 1-11.
- [19] Poonia, V. & Tiwari, H. L. (2020). Rainfall-runoff modeling for the Hoshangabad Basin of Narmada River using artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-10.

- [20] Partal, T. (2017). Wavelet regression and wavelet neural network models for forecasting monthly streamflow, *Journal of Water and Climate Change*, 8(1), 48-61.
- [21] Meyer, Y. (1993). Wavelets algorithms and applications. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
- [22] Sahay, R. R. & Srivastava, A. (2014). Predicting monsoon floods in rivers embedding wavelet transform, genetic algorithm and neural network, *Water Resources Management*, 28(2), 301-317.
- [23] Mallat, S. G. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 11(7), 674-693
- [24] Bayazıt, M. (1996). İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [25] Hyndman, R. J. & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26(3), 1–22.
- [26] Hyndman, R, Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild M., Petropoulos, F., Razbash, S., Wang, E. & Yasmeeen, F. (2018). Forecast: Forecasting functions for time series and linear models, R package version 8.3, <http://pkg.robjhyndman.com/forecast> (Erişimtarihi: 01.04.2018)
- [27] R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (Erişimtarihi: 01.04.2018).
- [28] Box, G. E. P. & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 26, 211–246.
- [29] Bickel, P. J. & Doksum K. A. (1981). An Analysis of Transformations Revisited. *Journal of the American Statistical Association*, 76, 296-311.
- [30] Wang, W & Ding J. (2003). Wavelet network model and its application to the prediction of hydrology, *Nature and Science*, 1(1), 67-71.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi

### Investigation of the Effect of Optimum Tilt Angle on Yield in Solar Energy Panels

Ali Rıza Dal<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 11/02/2021*

*Revize / Revised: 13/03/2021*

*Kabul / Accepted: 17/03/2021*

#### ÖZ

Fosil yakıtlardan elde edilen enerji çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünyada enerji tüketimine bağlı olarak gelişen olumsuz etkiyi azaltmak için Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı tarafından yeni tedbirler uygulanmaya başlanmıştır. Bu tedbirlerin başında güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi gelmektedir. Bu çalışma, Kayseri’de yapılacak olan güneş enerjisi yatırımlarında kullanılan güneş panellerinin güneş ışınımından daha iyi faydalanmalarını sağlamak için yapılmıştır. Yapılan çalışmada, panellerin aylık, mevsimlik ve altı aylık performansları ile optimum eğim açısının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, güneş ışınımı tespitinde Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS), eğim açılarının tespitinde ise PVGIS ve Hottel & Woertz (HW) metotları kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda; PVGIS ve HW metotları arasındaki açı farkının yaz aylarında 10,6°’ye kadar çıktığı, yılın son dört ayında ise birbirleriyle aynı değerleri aldığı görülmüştür. Kayseri’de güneş panellerinin her ay farklı sabit bir optimum eğim açısı ile konumlandırılması durumunda 1852,3 kWh/m<sup>2</sup> maksimum güneş ışınımı elde edilmiştir. Yıllık 29,5°’lik eğim açısıyla konumlandırılan güneş paneline göre; aylık, mevsimsel ve altı aylık olarak değiştirilen panel eğim açılarındaki verimin sırasıyla yılda %4,11, %3,25 ve %2,99 arttığı tespit edilmiştir. Aylık optimum eğim açısı ile konumlandırmanın büyük avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Mevsimsel ve altı aylık optimum eğim açıları karşılaştırıldığında ise verim farkı yüzde 0,26 olduğu saptanmıştır. Bu farkın az olması, güneş panellerinin yılda iki kez (altı aylık) eğim açısını değiştirerek konumlandırmasının uygun olacağını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Optimum Eğim Açısı, Güneş Paneli, Güneş Işınımı, PVGIS*

#### ABSTRACT

Energy obtained from fossil fuels negatively affects the environment and human health. In order to reduce the negative impact of energy consumption in the world, new precautions have been implemented by the International Renewable Energy Agency. Electricity generation based on solar energy comes first among these precautions. This study was carried out to ensure that the solar panels used in solar energy investments to be made in Kayseri benefit from solar radiation better. In the study, it was aimed to determine the optimum tilt angle with monthly, seasonal and semi-annual performances of the panels. Within the scope of the study, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) was used to detect solar radiation, and PVGIS and Hottel & Woertz (HW) methods were used to determine the slope angles. As a result of the calculations; It was observed that the angle difference between the PVGIS and HW methods increased up to 10.6° in the summer months, and took the same values in the last four months of the year. In Kayseri, if solar panels are positioned with a different fixed optimum tilt angle each month, a maximum solar irradiance of 1852.3 kWh/m<sup>2</sup> has been achieved. According to the solar panel

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [ardal1969@gmail.com](mailto:ardal1969@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3646-2288>)

*Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Çankaya, Ankara, Türkiye*

positioned with an annual inclination angle of 29.5°; It has been determined that the yield in panel slope angles, which are changed monthly, seasonally and semi-annually, increased by 4.11%, 3.25% and 2.99% per year, respectively. It has been understood that positioning with the monthly optimum angle of inclination provides a great advantage. When the seasonal and six-month optimum slope angles were compared, it was found that the yield difference was 0.26 percent. The fact that this difference is low has shown that it would be appropriate to position the solar panels by changing the angle of inclination twice a year (six months).

**Keywords- Optimum Tilt Angle, Solar Panel, Solar Radiation, PVGIS**

## I. GİRİŞ

Toplumların kalkınması ve gelişen teknoloji enerjideki tüketimi artırmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış beraberinde iklim değişikliğine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları hem iklim değişikliği hem de ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Diğer taraftan, fosil yakıtlardan elde edilen enerji çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünyada enerji tüketimine bağlı olarak gelişen olumsuz etkiyi azaltmak için Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı tarafından yeni tedbirler uygulanmaya başlanmıştır. Bu tedbirlerin alınması, iklim değişikliğini en aza indirmenin yollarından biri olan güneş enerji sistemlerine yatırım yapılmasını zorunlu hale getirmektedir.

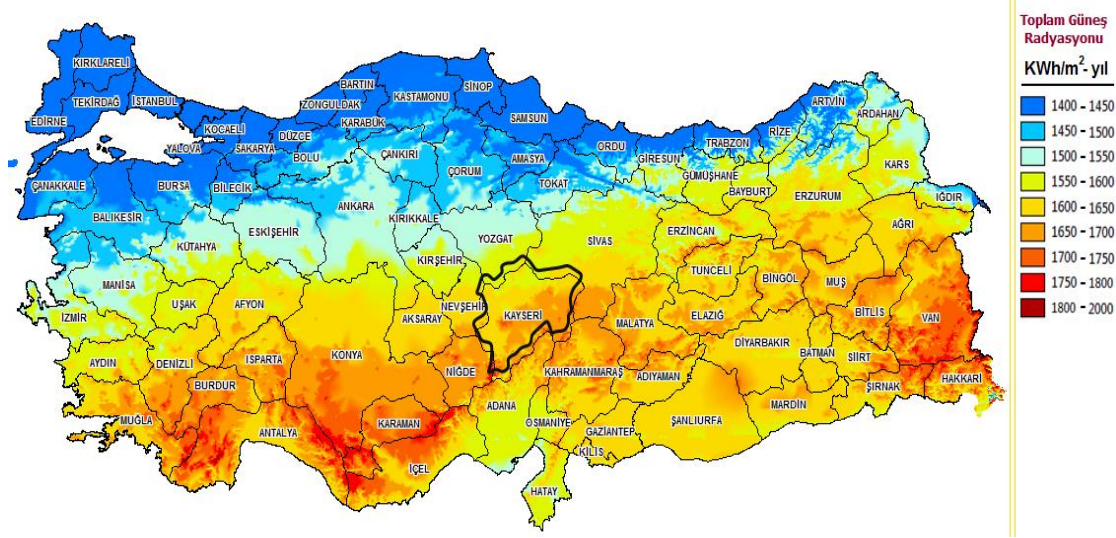
Güneş enerjisinde kullanılan panellerde en önemli parametreden biri güneş ışınımıdır. Güneş ışınları yıl içerisinde Dünya üzerine farklı açılarda gelmektedir. Uygulamada güneş panelleriyle toplanan güneş ışınımı miktarı; panelin eğim açısına, zamana, panelin bulunduğu yöne ve bölgeye bağlı olarak değişir. Güneş panellerinden maksimum performans elde etmek için panelin yatayla yaptığı açı önemlidir. Güneş panelleri yatayla sabit bir açı yapacak şekilde de konumlandırılabilir. Bu nedenle panellerden etkin fayda sağlanmak için eğim açısının uygun bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Literatürde farklı bölgelerin enlemlerine bağlı olarak farklı modellerde birçok çalışma yapılmıştır. Bu modeller kullanılarak güneş panellerin eğim açılarındaki güneş ışınımından faydalanma verimleri incelenmiştir. Güneş panellerinden elde edilen enerji miktarı; enlem ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişmektedir [1]. Kaldellis ve Zafirakis yaptıkları deneysel bir çalışmada tüm yaz dönemi için Atina'da güneş panel optimum eğim açısını 15° (± 2,5°) olarak belirlemişlerdir [2]. Lubitz [3] yaptığı çalışmada yıl boyunca eğim açısını aylık olarak değiştirilen panellerin, sabit panellere göre yıllık ortalama %5 daha fazla güneş ışınımı aldığını bulmuştur. Ülgen [4] İzmir için yaptığı çalışmada güney yönlü güneş panellerin optimum eğim açılarını yaz ayları için φ-34°, kış ayları için φ+19° ve yıllık optimum eğim açısını ise 30,3° olarak bulmuştur. Bulut ve arkadaşları [5], tarafından Kayseri için 38,43 enlem açısında yedi yıllık veriler esas alınarak yapılan trigonometrik çalışmada, yıllık toplam yatay düzleme gelen ışınımı 1349 kWh/m<sup>2</sup> olarak belirtmişlerdir. Khatib ve arkadaşları [6], Malezya'da beş bölge için yaptıkları çalışmada, panellerin aylık optimum eğim açıları ile konumlandırılmasındaki verim artışını %6,13, mevsimlik optimum eğim açıları ile konumlanmasındaki verim artışını %5,85 olarak bulmuşlardır. Le Roux [7], Güney Afrika'da yaptığı çalışmada, optimum eğimde sabitlenmiş kolektörlerin yataya sabitlenmiş kolektörlere göre %10 daha fazla ışınım aldığını bulmuştur. Yıldırım ve Aktacir [8] tarafından Şanlıurfa'da yapılan çalışmada, güneye yönlendirilen panellerin yıllık sabit optimum bir eğimde yatay (0°) durumdaki panele göre verimi %11,5 bulmuşlardır. Çağlar [9], dört şehir (İstanbul, Ankara, Erzurum, Adana) için yaptığı çalışmada, söz konusu şehirlerin her ay için optimum eğim açılarını tespit etmiştir. Koçer ve arkadaşları [10] tarafından Ankara ve ilçelerinde yapılan çalışmada, sadece güneş panellerin verimliliğini arttırmak için eğim açısını ayda bir kez veya yılda en az iki kez değiştirilmesini tavsiye etmişlerdir. Aydın [11], tarafından Kayseri için 39° enlem kabul edilerek yapılan çalışmada, optimum güneş paneli eğim açısı 32° olarak bulunmuştur.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [12] Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1 incelendiğinde Orta Anadolu Bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı bölgeler arasında yer aldığı görülmektedir. Güneş enerjisi yatırımları açısından Kayseri'nin diğer illere göre daha öncelikli olduğu anlaşılmaktadır.

Kayseri'de güneş enerji potansiyelinin yüksek olmasına karşın bölgenin Türkiye'deki toplam kurulu güç kapasitesindeki payının %0,144 olduğu, bu payın diğer bölgelere göre az ve artırılması gerektiği ifade edilmektedir [13]. Kayseri bazı güneş panellerine ilişkin aylık, mevsimlik ve altı aylık optimum eğim açılarına ilişkin yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle Kayseri'de kullanılan güneş panellerinin performansını şimdikinden daha

fazla artırmak için PVGIS metodunda yapılan simülasyonla güneş paneli eğim açısının güneş ışınımı verimine etkisi incelenmiştir. PVGIS ve HW metotları ile güneş panellerinin eğim açısının aylık (yılda on iki kez), mevsimlik (yılda dört kez) ve altı aylık (yılda iki kez) değiştirilmesi ile optimum eğim açıları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma ile yatırımcı ve araştırmacılara literatür kazandırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Türkiye'nin güneş ışınım potansiyeli dağılımı [12]

## II. MATERYAL METOD

Güneş ışınımından maksimum fayda sağlamak için optimum panel eğim açısı tespitinde çeşitli tahmin metotları ve simülasyon programları araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu sayede gerçeğe yakın analizlerin yapılması daha da kolaylaşmıştır. Bu çalışmada hesaplama metodolojisi olarak PVGIS ile HW metodu kullanılmıştır.

### A. PVGIS Metodu

PVGIS metodu, Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen ve kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan bir simülasyon programdır. PVGIS metodu uydu etkileşimli meteorolojik verileri kullanarak hesaplama yapmaktadır. PVGIS metodu veri tabanı ile istenilen coğrafi konuma ve panel eğim açısına bağlı olarak optimum saatlik, günlük, aylık ve yıllık güneş ışınımı değerlerini farklı opsiyonlarda simüle etmektedir [14].

PVGIS metodunda eğimli yüzeylere gelen toplam güneş ışınımı; güneş azimut açısı, güneş yükseklik açısı ve eğim açısı değerlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanmaktadır [15]:

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen  $G_T$  eğimli yüzeye gelen toplam ışınım olup,  $G_{bT}$ ,  $G_{dT}$  ve  $G_{rT}$  sırasıyla eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımı [ $W/m^2$ ] ifade etmektedir.

$$G_{bT} = G_b \frac{\cos \xi}{\cos \sigma_z} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de verilen  $G_{bT}$ ; güneş konumu, yüzey eğimi ve azimut açısına göre değişkenlik göstermektedir. Burada,  $G_b$  yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımı [ $W/m^2$ ],  $\xi$  direkt ışınım geliş açısı [ $^\circ$ ],  $\sigma_z$  ise zenit açısıdır [ $^\circ$ ].

Eğimli yüzeye gelen yansıyan güneş ışınımı;

$$G_{rT} = G \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (3)$$



şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlik 3'de;  $G$  yatay düzleme gelen toplam ışıını [W/m<sup>2</sup>],  $\rho$  albedo olarak ifade edilen yüzey yansıtma oranını (birimsiz),  $\beta$  ise panel yüzeyin eğim açısını [°] belirtmektedir.

Difüz ışıını, güneş ışıınıının atmosferin bileşenleri tarafından dağılmasının bir sonucu olup, gökyüzünde homojen dağılım yoktur. Burada izotropik ve anizotropik model olarak üzere iki yaklaşım söz konusudur. PVGIS metodunda uygulanan model Muneer tarafından [16] geliştirilmiş olup, anizotropik modeller kategorisinde sınıflandırılır. Bu model; gökyüzünün açık ve bulutlu, güneşli ve gölgeli durumları arasında ayırım yaparak  $G_{dT}$ 'yi tahmin etmektedir [15].

PVGIS gölgeli veya bulutlu durumlar için Eşitlik 4 ile bulutsuz gökyüzü koşulları altındaki güneşli durumlar için Eşitlik 5 formüllerini kullanmaktadır.

$$G_{dT} = G_d \cdot \left[ \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + 0,25227 \cdot \left( \sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \cdot \left( \sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \right] \quad (4)$$

$$G_{dT} = G_d \cdot \left[ \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \left( \sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \cdot \left( \sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \cdot \left( 0,00263 - 0,712 \cdot \frac{G_b}{G_o} - 0,6883 \cdot \left( \frac{G_b}{G_o} \right)^2 \right) \cdot \left( 1 - \frac{G_b}{G_o} \right) + \left( \frac{G_b}{G_o} \cdot \frac{\cos\xi}{\cos\sigma_z} \right) \right] \quad (5)$$

Burada  $G_d$  yatay düzleme gelen difüz güneş ışıını [W/m<sup>2</sup>],  $G_o$  atmosfer dışı toplam güneş ışıınıını [W/m<sup>2</sup>] ifade etmektedir. Bu koşullar altında güneş yükseliş açısı  $\alpha_s < 0,1$  [rad] olduğu durumda  $G_{dT}$  aşağıdaki Eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır.

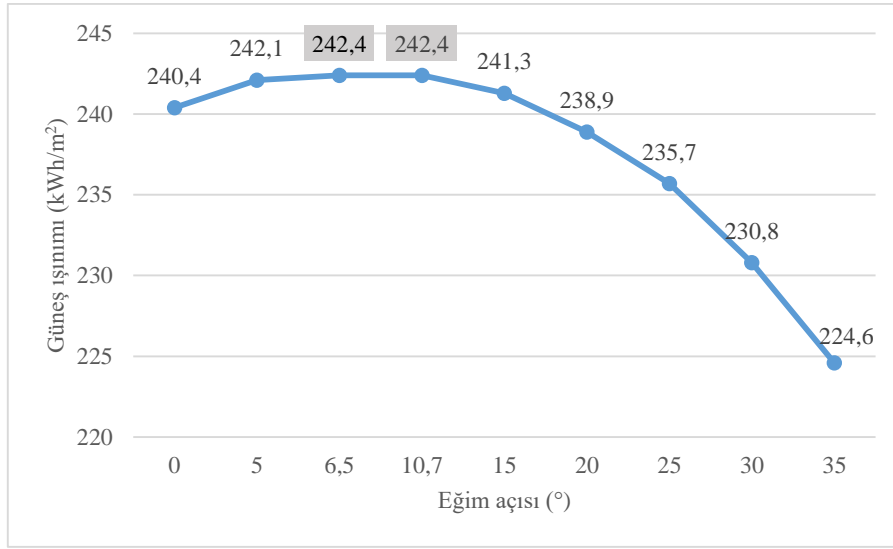
$$G_{dT} = G_d \cdot \left[ \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \left( \sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \cdot \left( \sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \cdot \left( 0,00263 - 0,712 \cdot \frac{G_b}{G_o} - 0,6883 \cdot \left( \frac{G_b}{G_o} \right)^2 \right) \cdot \left( 1 - \frac{G_b}{G_o} \right) + \left( \frac{G_b}{G_o} \cdot \frac{\sin\beta \cdot \cos(\gamma-\gamma_s)}{0,1-0,008 \cdot \alpha_s} \right) \right] \quad (6)$$

PVGIS metodu toplam global güneş ışıınıını panel eğimi ve  $\gamma_s$  azimut açısına [°] bağlı olarak simüle etmektedir.

Bu çalışmada, Kayseri'de enlemi 38,666° ve boylamı 35,693° olan bir konum seçilmiştir. PVGIS'ta kullanılan güneş paneli azimut açısı güney (0°) olarak kabul edilmiştir. Program ile aylık, mevsimlik, altı aylık ve yıllık optimum eğim açıları hesaplanmıştır.

PVGIS metodu ile optimum eğim açısının tespitinde; eğim açılı güneş paneline gelen aylık, mevsimlik ve altı aylık ortalama güneş ışıınılarının maksimum değeri dikkate alınarak bulunmuştur. Maksimum değerdeki açılar, o ayın, mevsimin ve altı ayın optimum eğim açısı olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar Microsoft Excel programı yardımıyla hesaplanmış ve grafik haline getirilmiştir.

Örnek olarak Kayseri'de Temmuz ayında maksimum güneş ışıınıını elde etmek için gereken optimum eğim açıları PVGIS metodu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Temmuz ayı için optimum eğim açısının belirlenmesi

Hesaplamalar neticesinde Temmuz ayı için güneş paneli eğim açısının değişimi ile güneş ışıınımmının maksimum değere ulaştığı açı belirlenmiştir. Şekil 2’de görüldüğü üzere, Temmuz ayında panel eğim açısı 6,5°-10,7° arasında olması durumunda panele 242,4 kWh/m<sup>2</sup>’lik maksimum güneş ışıınımmı ulaşmaktadır. Belirlenen açı aralığının orta noktası 8,6° olup bu değer; PVGIS metodunda o ay için güneş paneli aylık optimum eğim açısı, elde edilen maksimum güneş ışıınımmı ise PVGIS metodunda o ay için optimum güneş ışıınımmı olarak kabul edilmiştir. Bu işlemler her aylık, her mevsim ve her altı aylık için ayrı ayrı yapılarak belirlenmiştir.

### B. Hottel & Woertz Metodu

HW metodu güneş panellerinin eğim açısının belirlenmesinde kullanılan kolay bir metottur. Bu metottaki hesaplamalar bulutsuz, çevrede engel veya yansıtıcıların olmadığı ideal şartlarda yapılmaktadır. Bu durum panel eğim açısının basit bir şekilde bulunmasını sağlamaktadır. Daha çok sistem tasarımlarında ön analiz yapılırken kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir [9]. Güneş paneli eğim açısı Eşitlik 7 ile bulunmaktadır.

$$\beta = \varphi - \delta \quad (7)$$

Burada,  $\beta$  güneş paneli eğim açısını,  $\varphi$  panelin bulunduğu konumun enlemini [°] ve  $\delta$  deklinasyon açısını [°] ifade etmektedir [17,18].

Güneş ışınlarının dünyaya geliş doğrultusunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıya deklinasyon açısı denir. Deklinasyon açısı  $-23,45^\circ \leq \delta \leq +23,45^\circ$  arasında değişmektedir. Cooper eşitliği olarak bilinen deklinasyon açısı aşağıdaki Eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır [19]

$$\delta = 23.45 \sin[360(284 + n)/365] \quad (8)$$

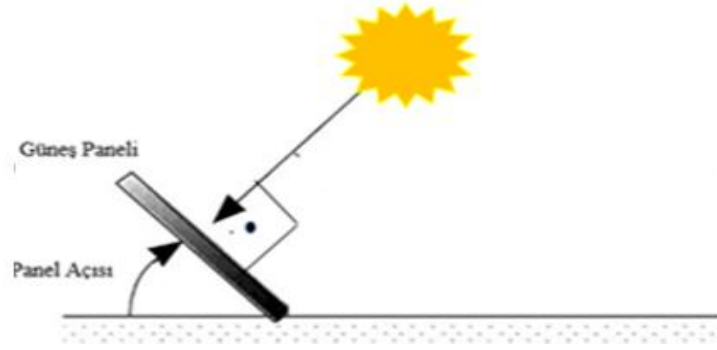
Burada,  $n$  gün sayısı ifade etmekte olup, hesaplama yapılan günün yılbaşından itibaren kaçınıcı gün olduğunu belirtmektedir.

HW Metodu ile 365 gün optimum eğim açı değeri bulunmuştur. Bu çalışmada ay aritmetik ortalaması olarak hesaplanan açı, o ayın optimum eğim açısı olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde bu işlemler için de aylık, mevsimsel ve altı aylık için ortalamalar ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çalışmada, her iki metotta her ay, her mevsim ve her altı aylık optimum açı değeri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca PVGIS metodunda yapılan simülasyonda güneş paneli eğim açısının güneş ışıınımmı verimine etkisi saptanmıştır.

### III. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Şekil 3’de görüldüğü üzere; güneş ışınları güneş panellerinin üzerine dik açıyla düştüğü zaman elektrik üretimi artış göstermektedir. Güneşi takip ederek güneş ışınlarının sürekli olarak dik alınmasını sağlayan sistemler geliştirilmektedir [20].



Şekil 3. Güneş ışınlarının panele dik gelmesi durumu

Tablo 1’de her ay için; PVGIS metodu ile hesaplanan maksimum güneş ışıını, aylık panel optimum eğim açısı, HW metodu ile hesaplanan aylık panel optimum eğim açısı ve her iki metod arasındaki eğim açısı farkları görülmektedir.

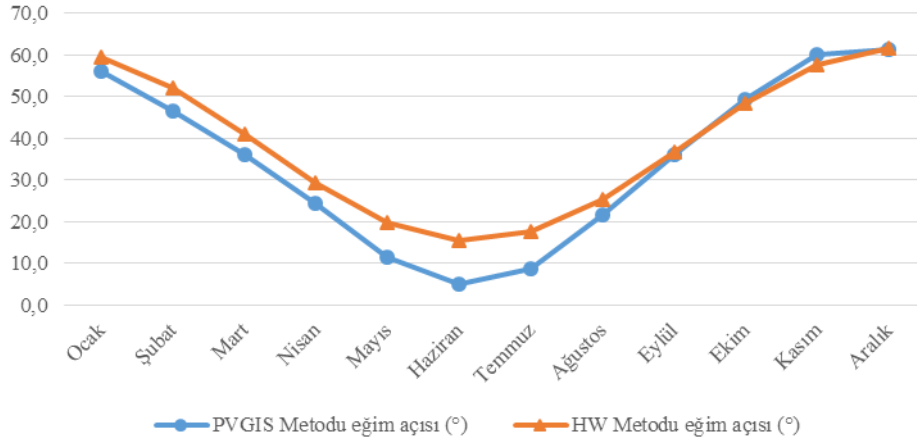
Tablo 1 incelendiğinde, PVGIS metodunda güneş panelinin her ay sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması durumunda güneş paneli eğim açısının  $3^{\circ}$  ile  $63,1^{\circ}$  arasında değişen değerler aldığı görülmektedir. Temmuz ayında  $8,6^{\circ}$  optimum eğim açısında en büyük  $242,4 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışıını elde edilmiştir. Ocak ayında ise  $56,2^{\circ}$  optimum eğim açısında en düşük  $60,1 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışıını tespit edilmiştir. Güneş ışıını aylık optimum eğim açısı ile güneş paneline ulaşması durumunda maksimum  $1852,3 \text{ kWh/m}^2$  ışıını elde edilmektedir.

Tablo 1’deki HW metodunda ise güneş panelinin her ay sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması durumunda güneş paneli eğim açısının  $15,6^{\circ}$  ile  $61,8^{\circ}$  arasında değişen değerler aldığı görülmektedir.

Tablo 1. Aylık optimum eğim açısı ve maksimum güneş ışıını değerleri [14, 19].

Aylar	HW Metodu	PVGIS Metodu		HW-PVGIS optimum eğim açı farkı ( $^{\circ}$ )	
	Optimum eğim açısı ( $^{\circ}$ )	Panel eğim açısı aralığı ( $^{\circ}$ )	Optimum eğim açısı ( $^{\circ}$ )		Maksimum güneş ışıını ( $\text{kWh/m}^2$ )
Ocak	59,5	53,3 – 59,1	56,2	60,1	3,3
Şubat	52,0	44,6 – 48,6	46,6	70,4	5,4
Mart	41,1	35 – 37,4	36,2	116,9	4,9
Nisan	29,2	22,8 – 26,3	24,6	161	4,7
Mayıs	19,9	9,9 - 13	11,5	186,7	8,4
Haziran	15,6	3 - 6,9	5,0	214,7	10,6
Temmuz	17,6	6,5 – 10,7	8,6	242,4	9,0
Ağustos	25,4	19,2 – 24,1	21,7	235,3	3,7
Eylül	36,7	35,1 - 37	36,1	196,7	0,6
Ekim	48,5	47,6 - 51	49,3	155,9	-0,8
Kasım	57,7	58,8 – 61,6	60,2	131,2	-2,5
Aralık	61,8	59,4 – 63,1	61,3	81	0,5
<b>Toplam</b>				<b>1852,3</b>	

Tablo 1 ve Şekil 4 incelendiğinde ise her iki metot arasındaki farkın  $10,6^\circ$ 'ye kadar çıktığı görülmüştür. Bu farkların Ocak ayında  $3,3^\circ$ , Şubat ayında  $5,4^\circ$ , Mart ayında  $4,9^\circ$ , Nisan ayında  $8,4^\circ$ , Mayıs ayında  $8,4^\circ$ , Haziran ayında  $10,6^\circ$ , Temmuz ayında  $9^\circ$ , Ağustos ayında  $3,7^\circ$ , Eylül ayında  $0,6^\circ$ , Ekim ayında  $-0,8^\circ$ , Kasım ayında  $-2,5^\circ$  ve Aralık ayında  $0,5^\circ$  olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu Şekil 4'deki her iki metot arasındaki farkın yaz aylarında büyüdüğü, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise tamamen yakınsadığı ve eğrinin bu aylarda birbirine örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 4. PVGIS ve HW metodunda hesaplanan optimum eğim açısı dağılımı

Tablo 2'de her bir mevsim için; PVGIS metodu kullanılarak maksimum güneş ışınlama değeri, panelin optimum eğim açısı, HW metodu ile elde edilen mevsimsel panel optimum eğim açısı ve her iki metot arasındaki eğim açısı farkları görülmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde, PVGIS metodunda güneş panelinin mevsimsel sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması durumunda güneş paneli eğim açısının  $11,5^\circ$  ila  $55,9^\circ$  arasında değişen değerler aldığı görülmektedir. Tablo 2'de yaz mevsiminde  $11,8^\circ$  optimum eğim açısında en yüksek  $688,6 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışınlama elde edilmiştir. Kış mevsiminde ise  $55,4^\circ$  optimum eğim açısında en düşük  $210,6 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışınlama tespit edilmiştir. Güneş ışınlarının mevsimsel optimum eğim açısı ile güneş paneline ulaşmaları durumunda maksimum  $1837 \text{ kWh/m}^2$  güneş ışınlama elde edilecektir.

Tablo 2'deki HW metodunda ise güneş panelinin her mevsim sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması durumunda güneş paneli eğim açısının  $19,5^\circ$  ila  $57,8^\circ$  arasında değişen değerler aldığı görülmektedir.

Tablo 2'de; her iki metot arasındaki farkın bahar ve yaz mevsiminde  $7,8^\circ$ 'ye kadar çıktığı, Sonbahar ve kış mevsiminde ise farkın  $1,1^\circ$ 'ye kadar düştüğü görülmüştür. İki metot arasındaki aylık kıyaslamada oluşan farklar sıfıra yaklaşırken mevsimsel farklarda ancak  $1,1^\circ$ 'ye kadar yaklaşmıştır.

Tablo 2. Mevsimlik optimum eğim açısı ve maksimum güneş ışınlama değerleri [14].

Aylar	HW Metodu	PVGIS Metodu			HW-PVGIS optimum eğim açısı farkı (°)
	Optimum eğim açısı (°)	Panel eğim açısı aralığı (°)	Optimum eğim açısı (°)	Maksimum güneş ışınlama ( $\text{kWh/m}^2$ )	
Kış	57,8	54,8 – 55,9	55,4	210,6	2,4
İlkbahar	30,1	20,8 – 23,8	22,3	460	7,8
Yaz	19,5	11,5 – 12,1	11,8	688,6	7,7
Sonbahar	47,6	46,5	46,5	477,8	1,1
<b>Toplam</b>				<b>1837</b>	

Tablo 3’de her altı aylık dönemler için; PVGIS metodu kullanılarak maksimum güneş ışınımı değerindeki panelin optimum eğim açısı, HW metodu ile elde edilen altı aylık panel optimum eğim açısı ve her iki metot arasındaki eğim açısı farkları görülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde, PVGIS metodu ile altı aylık ilkbahar-yaz döneminde  $16,1^{\circ}$  optimum eğim açısında en yüksek  $1145,3 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışınımı elde edilmiştir. Sonbahar-kış döneminde ise  $49,3^{\circ}$  optimum eğim açısında en düşük  $687,1 \text{ kWh/m}^2$  maksimum güneş ışınımı tespit edilmiştir. Güneş ışınlarının altı aylık optimum eğim açısı ile güneş paneline ulaşmaları durumunda maksimum  $1832,4 \text{ kWh/m}^2$  güneş ışınımı elde edilecektir. HW metodunda ise güneş panelinin altı aylık dönemlerde sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması durumunda güneş paneli eğim açısının ilkbahar- yaz dönemindeki altı ayda  $24,8^{\circ}$ , sonbahar ve kış dönemindeki altı ayda ise  $52,7^{\circ}$  olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3’de; her iki metot arasındaki farkın ilkbahar- yaz dönemindeki altı ayda  $8,7^{\circ}$ ’ye kadar çıktığı, sonbahar ve kış dönemi altı ayda ise farkın  $3,4^{\circ}$ ’ye kadar düştüğü görülmüştür. Bu farkların aylık farklara göre birbirine daha çok yaklaştığı görülmüştür.

İki metot arasındaki aylık kıyaslamada oluşan farklar sifıra yaklaştığı, mevsimsel farkların  $1,1^{\circ}$ ’ye kadar ve altı aylık dönemlerdeki farkların ise  $3,4^{\circ}$ ’ye kadar yaklaştığı görülmüştür.

**Tablo 3.** Altı aylık optimum eğim açısı ve maksimum güneş ışınım değerleri [14]

Aylar	HW Metodu	PVGIS Metodu			HW-PVGIS optimum eğim açısı farkı ( $^{\circ}$ )
	Optimum eğim açısı ( $^{\circ}$ )	Panel eğim açısı aralığı ( $^{\circ}$ )	Optimum eğim açısı ( $^{\circ}$ )	Maksimum güneş ışınımı ( $\text{kWh/m}^2$ )	
Sonbahar-Kış	52,7	47,8 – 50,8	49,3	687,1	3,4
İlkbahar-Yaz	24,8	15,5 – 16,7	16,1	1145,3	8,7
Toplam				1832,4	

Diğer taraftan, PVGIS metodu ile güneş panelinin sabit bir eğim açısı ile konumlandırılması ile bir yılda panele düşen maksimum güneş ışınımı değeri  $1779,55 \text{ kWh/m}^2$  ve panelin optimum eğim açısı ise  $29,5^{\circ}$  olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4’de PVGIS metodunda güneş paneline düşen güneş ışınımını aylık, mevsimlik, altı aylık ve yıllık olarak verilmiştir. Söz konusu Tabloda yıllık sabit optimum eğim açısına göre en yüksek verimin yüzde 4,11 ile aylık optimum panel açısından elde edilmiştir. Ayrıca, panelin sabit eğim açısı yerine altı ayda bir değişim olması halinde verimin %2,99 arttığı, mevsimsel olarak değiştirilmesi halinde ise %3,25 arttığı tespit edilmiştir. Panelin mevsimsel ve altı aylık optimum eğim açıları karşılaştırıldığında ise verim farkının yüzde 0,26 olduğu saptanmıştır. Bu 0,26’lık farkın düşük olması, güneş panellerinin yılda iki kez eğim açısı değişimi (altı aylık) yapılarak konumlandırmasının uygun olacağını göstermiştir. Bu sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür [3,10].

**Tablo 4.** Optimum açılara göre PVGIS metodundaki yıllık toplam maksimum güneş ışınım değerleri

	Aylık değişim	Mevsimlik değişim	Altı aylık değişim	Yıllık (sabit)
Güneş ışınımı	1852,30	1837,00	1832,40	1779,25
Yüz oranı (%)	4,11	3,25	2,99	0,00

Bu kapsamda, güneş panellerinin aylık optimum eğim açısı ile konumlandırılmaları durumunda güneş ışınımından en yüksek verim elde edilecektir.

Çalışmada, Ocak, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında farkın bir derecenin altında oluşması HW metodu ile optimum eğim açısı tespitinde bu aylar için kullanılmasının büyük hatalara neden olmayacağı Tablo 1’de görülmektedir. Aynı şekilde mevsimsel ve altı aylık durumlar için Sonbahar ve Kış mevsimlerinde farkın küçük olması HW metodu ile optimum eğim açısı tespitinde belirtilen mevsimlerde de kullanılmasının uygun olacağı öngörülmektedir.

#### IV. SONUÇLAR

Yapılan hesaplamalar sonucunda; Kayseri’de kullanılan güneş panellerinin verimini artırması yönelik PVGIS ve Hottel & Woertz metotları ile yapılan hesaplamalar sonucunda;

- PVGIS ve HW metotları karşılaştırıldığında Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarındaki panel eğim açılarının birbiriyle örtüştüğü,
- PVGIS ve HW metotları arasındaki eğim açısı farkının yaz aylarında 10,6°’ye kadar çıktığı, Nisan, Mart, Şubat ve Ocak aylarında ise eğim açısı farkının 3,3°’ye kadar düştüğü,
- PVGIS metodunda güneş panellerinin her ay sabit bir optimum eğim açısı ile konumlandırılması durumunda panellere 1852,3 kWh/m<sup>2</sup> maksimum güneş ışınımının ulaşacağı,
- Güneş ışınlarının mevsimsel optimum eğim açısı ile konumlandırılması durumunda panellere 1837 kWh/m<sup>2</sup> maksimum güneş ışınımının ulaşacağı,
- Güneş ışınlarının altı aylık optimum eğim açısı ile konumlandırılması durumunda panellere 1832,4 kWh/m<sup>2</sup> maksimum güneş ışınımının ulaşacağı,
- Yıllık optimum eğim açısına göre en yüksek verimin yüzde 4,11 ile aylık (yılda on iki kez değişimle) optimum panel açısından elde edildiği,
- Mevsimsel ve altı aylık optimum eğim açıları karşılaştırıldığında güneş panellerinin pratik olarak altı aylık (yılda iki kez değişimle) optimum panel açısına göre konumlandırma yapılmasının uygun olacağı,
- Kayseri’nin güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı iller arasında yer aldığı,

tespit edilmiştir.

PVGIS ve HG metotları güneş panellerinin optimum eğim açısının belirlenmesinde Kayseri’deki yatırımcılara ve araştırmacılara kolaylık sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Roberts, S. & Guariento, N. (2009). Building Integrated Photovoltaics A Handbook. Berlin, Germany. Birkhauser Press.
- [2] Kaldellis, J. & Zafirakis, D. (2012). Experimental investigation of the optimum photovoltaic panels tilt angle during the summer period. *Energy*, 38(1), 305–14.
- [3] Lubitz, W. D. (2011). Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels. *Applied Energy*, 88(5), 1710–1719.
- [4] Ülgen, K. (2006). Optimum Tilt Angle For Solar Collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28(13), 1171-1180.
- [5] Bulut, H., Büyükalaca, O. & Yılmaz, T. (1999). Bazı İller İçin Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Berraklık İndeksinin Yeni Ölçümler Işığında Analizi. Güneş Günü Sempozyumu’99. 25 Haziran, Kayseri.
- [6] Khatib T., Mohamed A., Mahmoud M. & Sopian K. (2015). Optimization of the Tilt Angle of Solar Panels for Malaysia. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(6), 606-61.
- [7] Le Roux W. G. (2016). Optimum Tilt and Azimuth Angles for Fixed Solar Collectors in South Africa Using Measured Data. *Renewable Energy*, 96(A), 603-612.
- [8] Yıldırım, E. & Aktacir, M. (2019). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerde Azimut ve Eğim Açısı Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 609-620.
- [9] Çağlar, A. (2018). Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 849-854.
- [10] Koçer, A., Şevik, S. & Güngör, A. (2016). Ankara ve İlçeleri İçin Güneş Kolektörü Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(1), 63-78.
- [11] Aydın, M. (2020). Türkiye Koşullarında Güneş Panelleri İçin Optimum Sabit ve Ayarlanabilir Eğim Açılarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [12] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). 2020. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>. (Erişim tarihi: 15.12.2020).
- [13] Oğuz, M. & Akkurt, Ş. (2017). Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 362-374.
- [14] European Commission (EU). (2020). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>, (Erişim tarihi: 15.12.2020).

- [15] Gracia A. M. & Huld T. (2013). Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4ef8c4e1-4397-4e27-8487-448786327f27>. (Erişim tarihi: 15.07.2020).
- [16] Muneer T. (1990). Solar radiation model for Europe. *Building Services Engineering Research and Technology*, 11(4), 153-163.
- [17] Camelia, S. & Dorin, S. (2014). Optimum Tilt Angle for Flat Plate Collectors All Over the World–A Declination Dependence Formula and Comparisons of Three Solar Radiation Models. *Energy Conversion and Management*, 81, 133- 143
- [18] Soulayman, S. & Hammoud, M. (2016). Optimum Tilt Angle of Solar Collectors for Building Applications in Mid-Latitude Zone. *Energy Conversion and Management*, 124, 20-28
- [19] Cooper, P. I. (1969). The Absorption of Solar Radiation in Solar Still, *Solar Energy*, 12(3), 333–46.
- [20] Vasarevicius, D. & Martavicius, R. (2011). Solar Irradiance Model for Solar Electric Panels and Solar Thermal Collectors in Lithuania. *Electronics and Electrical Engineering*, 108(2), 3-6.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Çinko Üretimi Atık Kekinin Fosfat Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi

### Investigation of Phosphate Adsorption Properties of Zinc Production Residue Cakes

Harun Çiftçi<sup>1</sup>, Hasan Arslanoğlu<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 11/02/2021*

*Revize / Revised: 13/05/2021*

*Kabul / Accepted: 26/05/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada Kayseri’de bulunan Çinkur işletmelerinde, çinko üretimi sırasında meydana gelen kurşunlu kek olarak adlandırılan, yüksek oranda kurşunun yanında çinko ve demir içeren artığın sulu ortamdan fosfat uzaklaştırılma şartları araştırılmıştır. Bu amaçla bu kekle sulu ortamdan fosfat giderilmesi üzerine, kek dozu, süre, ortam pH’sı ve sıcaklığı ve fosfat konsantrasyonu gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak adsorpsiyon izotermi elde edilmiş ve bazı termodinamik büyüklükler hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde fosfat giderme veriminin önemli ölçüde pH’ya ve kurşun keki dozuna bağlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca fosfat uzaklaştırılmasının Langmuir ve Freundlich izotermine uyduğu, 120 dakikalık bir sürenin sonunda dengenin kurulduğu gözlenmiştir. Orijinal pH’sı 7.69 olan 100 mg-P/L konsantrasyonundaki ortofosfat çözeltisinin, 30 g/L dozunda kurşun kekiyle karıştırılıp 120 dakika temas ettirilmesiyle çözeltideki fosfatın yaklaşık %75’i giderilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler-** *Çinko Ekstraksiyon Atıkları, Kurşun Kekler, Fosfat Giderimi, Adsorpsiyon*

#### ABSTRACT

In this study, the conditions for removing phosphate from the aqueous environment of the residue containing zinc and iron in addition to lead, which is called as lead cake and formed during zinc production in çinkur plants in Kayseri was investigated. For this purpose, the effects of parameters such as cake dose, time, and environment pH and temperature and phosphate concentration on the removal of phosphate from aqueous environment with this cake were investigated. Using the obtained results, adsorption isotherms were obtained and some thermodynamic quantities were calculated. In the experiments, it was found that the phosphate removal efficiency is highly dependent on the pH and the lead cake dose. In addition, it was observed that phosphate removal complied with the Langmuir and Freundlich isotherm, and the equilibrium was established at the end of a period of 120 minutes. Approximately 75% of the phosphate in the solution can be removed by mixing the orthophosphate solution with a concentration of 100 mg-P /L with an original pH of 7.69 with lead cake at a dose of 30 g /L and contacting it for 120 minutes.

**Keywords-** *Zinc Extraction Wastes, Lead Cakes, Phosphate Removal, Adsorption*

<sup>1</sup>İletişim: [harunciftci@yahoo.com](mailto:harunciftci@yahoo.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3210-5566>)

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, 40100, Kırşehir

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [hasan.arslanoglu@ahievran.edu.tr](mailto:hasan.arslanoglu@ahievran.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3132-4468>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 40100, Kırşehir.



## I.GİRİŞ

Ötrofikasyon suların besi maddeleriyle zenginleşmesi ve bitki hayatının hareketli bir şekilde gelişmesi sonucu kalitenin kötüleşmesi ve suların ekolojik dengeyi kötü yönde etkilemesi olarak tanımlanabilir. Çoğu tatlı su göl ve nehir rezervlerinde sınırlayıcı nütrient fosfor (P) ve antropojenik kaynaklardan bu elementlerin sulara geçişi, göllerin tabi yaşlanması süresinde oldukça yavaş yürüyen ötrofikasyon olayını hızlandırır. Göl ortamında meydana gelen bu olay neticesinde oluşan algler tarafından var olan çözülmüş oksijen önemli ölçüde tüketilir. Çözülmüş oksijenin tüketilmesi balık ölümlerine yol açabilir ve bazı mavi yeşil algler balıkların ve bazen çiftlik hayvanlarının zehirlenmesine yol açabilir [1-6].

Fosfatların sularda meydana getirdiği bu kötü etkiler göz önüne alındığında, bunların sulara geçişini mümkün mertebe önleme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bunun için de öncelikle sular için fosfat kaynaklarının iyi bir şekilde belirlenmesi ve bu kaynaklardan yüzey sularına deşarj edilmeden önce fosfatların önemli ölçüde giderilmesi gerekir. Fosfat bileşikleri başta gübre endüstrisi olmak üzere, gıda, tekstil, metal kaplama, boya, deri ve deterjan endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerek fosfat bileşiklerinin üretimi proseslerinde ve gerekse bu endüstriyel ürünlerin kullanılması sırasında alıcı ortamlara önemli miktarlarda fosfat karışmaktadır. Sularda kompleks anyonik yapıda bulunan fosfatlar, su ortamına genellikle polivalent metal tuzları ilave edilerek çözülmeyen türden fosfat bileşiklerine dönüştürülerek giderilir [7-9].

Yüzeysel sulara fosfatın geçişini sağlayan önemli kaynaklar tarımsal alanlardan ve çiftlik bölgelerinden gelen sızıntılar, evsel ve endüstriyel atık sular ve kentsel drenaj sızıntıdır. Fosfatların önemli bir kısmı evsel ve endüstriyel akımlar gibi noktasal kaynaklardan geçer. Bu kaynaklar noktasal olmayan kaynaklara göre daha kolay kontrol edilebilirler [10-12].

Yapılan araştırmalar evsel orjinli atıksularda fosfor konsantrasyonunun 5-30 mg/L seviyelerinde olduğunu göstermiştir. Hali hazırda kullanılan arıtım teknikleri, bu konsantrasyon sınırlarına sahip atıksuların arıtımı için uygundur. Ancak özellikle kazan suyu ve bazı gıda endüstrisi atıksuları gibi yüksek fosfat içeren suların arıtımı özel tekniklere ihtiyaç duymaktadır. Normal seviyelerde fosfat içeren atıksuların arıtımı için pek çok araştırma yapılmıştır. Fosfat içeriği yüksek, özel atıksular için ekonomik arıtım proseslerine ihtiyaç vardır. Kullanılan mevcut fosfat arıtım teknolojilerinde genellikle mamül kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Oysa arıtımda başka bir endüstrinin ekonomik değeri düşük bir atığının kullanılması maliyet yönünden prosesi cazip hale getirebilir [13-17].

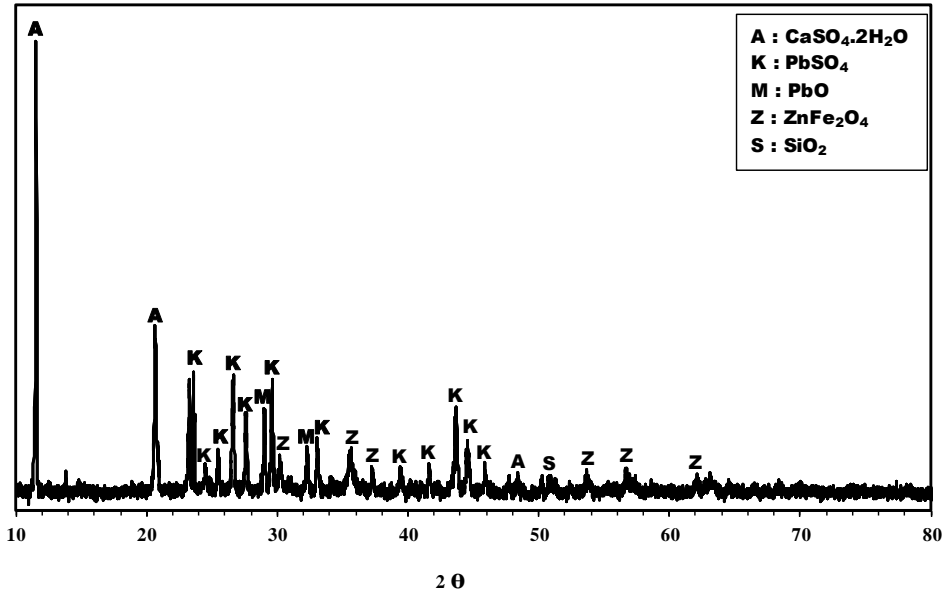
Çalışmada Kayseri’de bulunan Çinkur tesislerinde çinkoüretimi sırasında döner filtre keki olarak adlandırılan ve oldukça büyük miktarlarda elde edilen artık maddenin yüksek konsantrasyonlarda fosfat içeren atık suların arıtımında kullanılabilme imkanları araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, bu kekin adsorbant olarak kullanılmasıyla sulardan fosfat adsorpsiyonuna pH, süre, konsantrasyon ve sıcaklık gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar adsorpsiyon izotermine uygulanarak bazı termodinamik parametreler belirlenmiştir.

## II. MATERYAL VE METOT

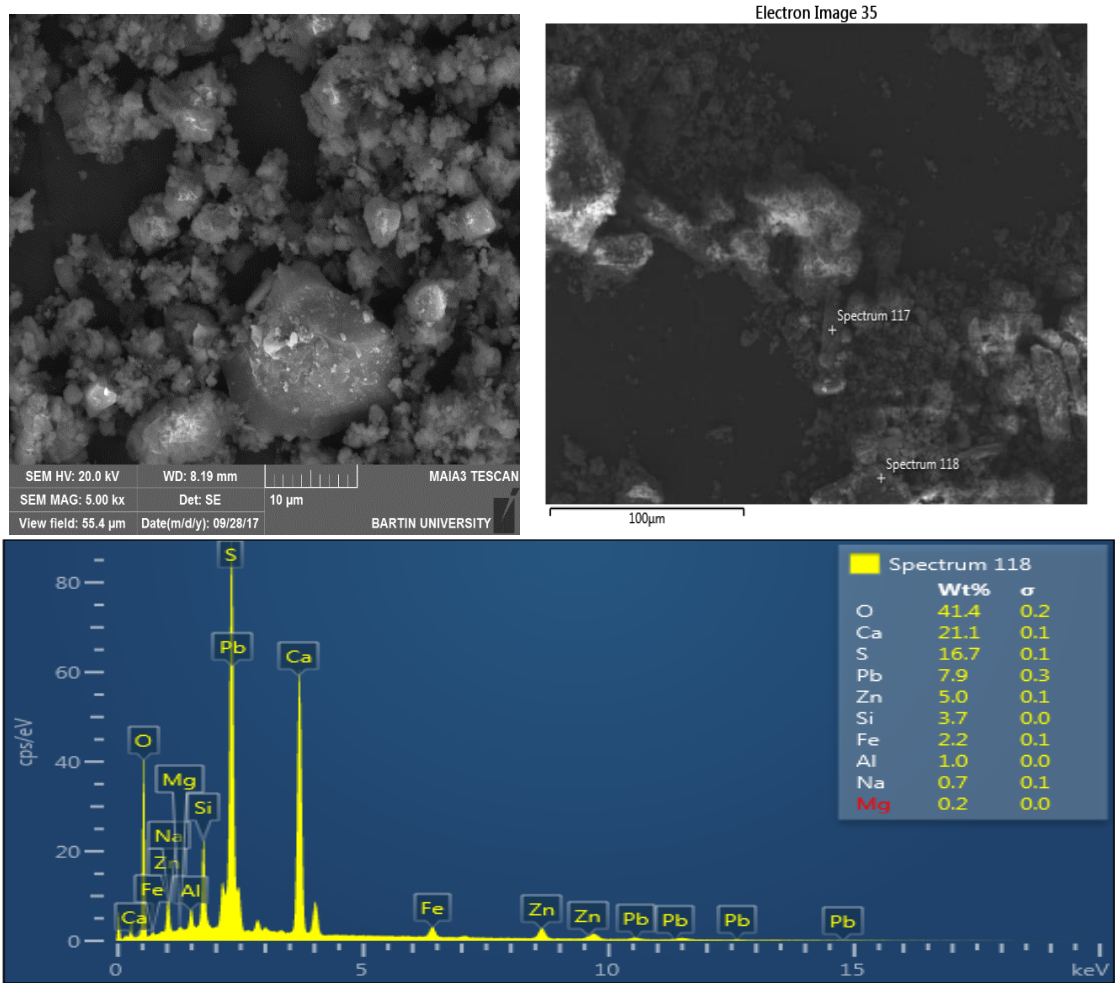
### A. Kurşun Kekinin Temini ve Hazırlanması

Deneysel, Kayseri Çinkur tesislerinden temin edilen çinko üretim artığı kurşun keki kullanıldı. Liç işlemi sonrasında meydana gelen bu kek önce, çözünerek ortama geçebilecek metal sülfatların uzaklaştırılması amacıyla 5 defa destile su ile yıkandı. Kısmen oda sıcaklığında daha sonra ise 105°C’deki etüvde kurutuldu, -200 mesh’lik elekten geçirildi ve ağzı kapaklı plastik şişelerde muhafaza edildi. Yapılan XRD ve SEM-EDX sonuçları Şekil 1 ve 2’de verilmiştir.

Çinko ekstraksiyon artığının kimyasal analizleri LiBO<sub>2</sub> eritisi-HNO<sub>3</sub> çözünürleştirilmesi yöntemi ile gerçekleştirildi [8, 9].



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kurşun kekinin XRD diyagramı.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan kurşun kekinin SEM görüntüsü ve EDX değerlendirmesi.

### **B. Fosfat Çözeltilisinin Hazırlanması**

Deneyisel çalışmada kullanılan fosfat çözeltileri  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  tuzundan hazırlandı. Bu amaçla 14.314 g, %80 saflıktaki  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  tuzu tartıldı, bir miktar suda çözüldü ve daha sonra hacmi 500 ml'ye tamamlandı. Bu şekilde hazırlanan 5000 mg-P/L'lik konsantrasyonundaki standart stok çözelti uygun şekilde seyreltilerek deneylerde kullanıldı. Seyreltmeler destile su ile yapıldı.

### **C. Deneyisel Çalışma**

Çalışmada önce adsorbent miktarının ve sürenin fosfat giderme üzerindeki verimi üzerine etkileri incelendi. Bunun için standart stok çözeltisinden 100 mg-P/L konsantrasyonunda fosfat çözeltileri hazırlandı.

Bu çözeltilerin 100 mL'si 150 mL'lik erlenlere konuldu, bunlara 5-50 g arasında değişen miktarlarda kurşun keki ilave edilerek ağızları kapatıldı ve sıcaklığı  $25^\circ\text{C}$ 'deki çalkalayıcı inkübatör (ZHCHENG ZHWY-200 D) içerisine yerleştirildi. Örnekler, 10-240 dakika arasında değişen sürelerde, 400 rpm hızla çalkalandı. Çalkalama işleminden sonra karışımlar mavi bant filtre kağıdından süzüldü. Süzüntülerde pH ölçümü, fosfor, çinko, kurşun, mangan, demir, kadmiyum ve kobalt analizleri yapıldı. Fosfor konsantrasyonu dikkate alınarak giderme yüzdeleri hesaplandı.

Fosfat konsantrasyonlarının etkisini belirlemek için başlangıç konsantrasyonları 100, 125, 150 mg-P/L olan fosfat çözeltileri ile değişen sürelerde fosfat giderme deneyleri yapıldı.

Daha sonra başlangıç pH'sının fosfat giderilmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla, pH'sı 3-12 arasında değişen 100 mg-P/L konsantrasyonundaki fosfat çözeltileri ile deneyler yapıldı.

Son olarak, konsantrasyonları 25-125 mg-P/L arasında değişen fosfat çözeltileriyle, daha önceki deneylerle belirlenen uygun pH ve dengeleme süresinde izoterm çalışması yapıldı.

Tüm deneyler ikiye paralel örnekte gerçekleştirildi ve  $\pm$  %5 uyum içerisindeki sonuçlar doğru kabul edilerek ortalaması alındı.

### **D. Fosfat Analizleri**

Deneyler sırasında elde edilen süzüntülerde fosfat analizleri Askorbik Asit yöntemine göre spektrofotometrik olarak yapıldı [18].

### **E. Metal Analizleri**

Bütün metal analizleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Perkin Elmer Analyst 400) ile gerçekleştirildi. Uygun standartlar kullanılarak ve tayin aralığına seyreltilerek yapılan analizler sonucu, belirlenen metal konsantrasyonlarından geri hesap yapılarak metallerin çinko ekstaksiyon artığından liç yüzdeleri hesaplandı.

## **III. SONUÇ VE TARTIŞMA**

Fosfat adsorpsiyonunda adsorbent olarak kullanılan kurşun kekinin bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi kullanılan örnek, % 15.81 Pb, % 8.52 Zn ve % 5.39 oranında Fe içermektedir. Bu bileşime göre içerdiği polivalent metal iyonlarından dolayı atık sulardaki bazı anyonik yapıdaki kompleks iyonları uzaklaştırabileceği fikrini doğrulamaktadır. Bu çalışmada da sulu ortamdan kurşun keki kullanılarak fosfatın uzaklaştırılması araştırılmıştır.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan kurşun kekinin kimyasal bileşimi

Bileşen	Bileşim
Pb	% 15.81
Zn	% 8.52
Fe	% 5.39
Ca	% 1.34
Mn	2150 mg/kg
Cd	317 mg/kg
Cu	2289 mg/kg
Ni	472 mg/kg
Cr	245 mg/kg

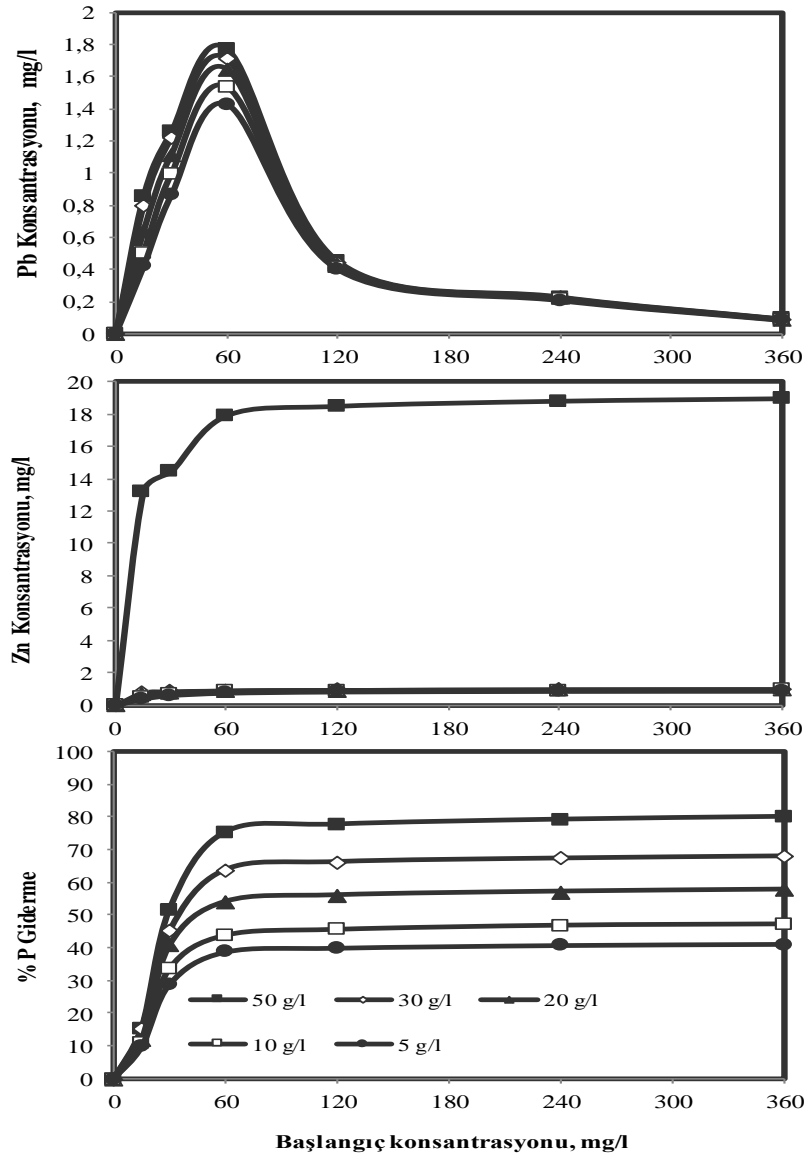
Yapılan bazı ön çalışmalarda, kurşun kekinin sulu ortamlardan düşük konsantrasyonlardaki fosfatı etkin bir şekilde uzaklaştırdığı tespit edildi. Bu nedenle kurşun kekiyle, sulu ortamda bulunan yüksek konsantrasyondaki fosfatın uzaklaştırılmasının daha avantajlı olacağı düşünülmüştür. Bu düşünce doğrultusunda ilk deneyler kurşun keki miktarının süreye bağlı olarak fosfor gidermede etkisini ortaya koymak amacıyla 100 mg-P/L konsantrasyonundaki fosfat çözeltileri ile yapıldı. 100 ml fosfat çözeltisi, 5-50 g arsında değişen miktarlarda kurşun keki ile karıştırılarak, 10-240 dakika arasında değişen sürelerde çalkalandı. Analiz ve ölçümlerden hesaplanan fosfor giderme yüzdesi ve kek bünyesinden çözünerek çözeltiliye geçen metal iyonu konsantrasyonları Şekil 3’de verilmiştir.

Artan kurşun keki miktarı ve süreyle, genel olarak fosfor giderme etkinliğinin arttığı ve tüm kek miktarları için yaklaşık olarak 120 dakika reaksiyon süresi sonunda bir dengeleme süresine erişildiği söylenebilir. Şekil 3’den çözelti ortamına kurşun kekinden çözünerek geçen metal iyonu konsantrasyonunun da kek miktarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Fosfor giderme yüzdesi dikkate alındığında 50 g/L kurşun keki dozunun 100 mg/L konsantrasyonundaki fosforu uzaklaştırmak için uygun olduğu söylenebilir [19]. Ancak bir arıtım işleminin uygulanabilir olması için, söz konusu arıtımın en etkin bir şekilde yapılması yanı sıra proseste başka bir kirliliğin gelmemesi istenir. İşte bu nedenle kurşun kekinde çözeltiliye geçen metal iyonu konsantrasyonlarının dikkate alınması gerekir.

Şekil 3 incelendiğinde, 50 g/L kurşun keki dozu kullanıldığında çözeltiliye çok daha yüksek miktarlarda Zn ve Pb geçtiği görülmektedir. Örneğin, dengelenme süresi sonunda fosfor giderme yüzdesinin yine nispeten yüksek olduğu 30 g/L kurşun keki dozu ile yapılan deneyde çözeltiliye 0.82 mg/L kurşun ve 1.02 mg/L çinko geçerken, 50 g/L dozu ile 0.92 mg/L kurşun ve 18.22 mg/L çinkonun geçtiği görülmektedir. Başka bir kirlenmeye neden olmamak amacıyla, 100 mg/L konsantrasyonundaki fosforu uzaklaştırmak için 30 g/L dozunda kurşun kekinin kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

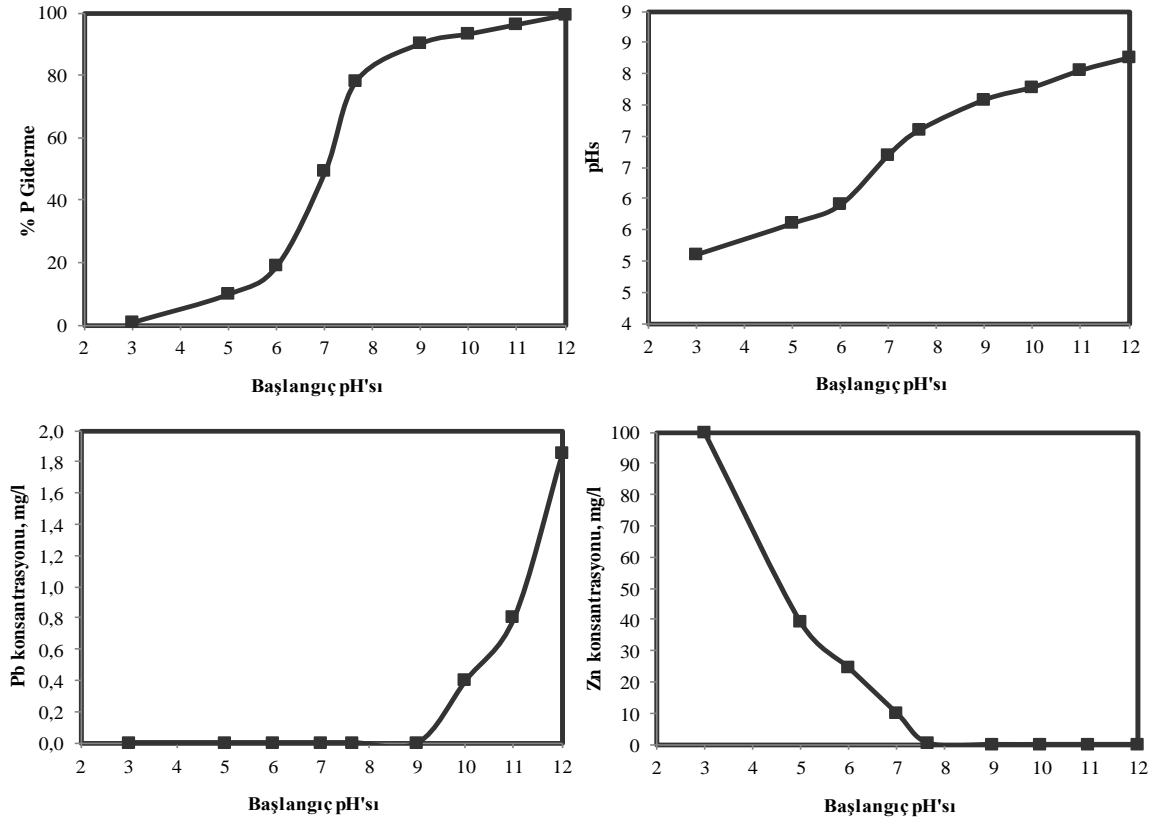
İkinci aşamada, ortam pH’sının fosfat gidermedeki etkisi incelendi. Bunun için başlangıç pH’sı NaOH ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak 3-12 arasında ayarlanan 100 mg/L konsantrasyonundaki fosfat çözeltilerine 30 g/L dozunda kurşun keki kullanılarak 120 dakika çalkalandı. Elde edilen sonuçlar Şekil 4’de görülmektedir.

Başlangıç pH’sındaki artışa bağlı olarak fosfat giderme yüzdesi önemli ölçüde artmıştır. pH<6 bölgesinde toplam fosforun %2-20’si giderilebilirken, pH>9’da toplam fosforun %80’inden fazlası uzaklaştırılabilmektedir. Çözeltinin kendi orijinal pH’sı olan 7.69’da ise fosforun yaklaşık %75’nin giderildiği görülmektedir [19]. Diğer taraftan kekten çözünerek çözeltiliye geçen Pb iyonu konsantrasyonunun pH’nın artmasıyla arttığı görülmektedir. Çinko ise çözeltiliye düşük pH’larda daha fazla geçmektedir.



Şekil 3. Farklı kurşun keki dozu ile değişik sürelerde yapılan deneylerin sonuçları. [100 ml; 100mg-P/L; pH: 7.69; 25°C]

Çok düşük ve yüksek pH'ların gerek asit ve baz sarfiyatı ve gerekse suların nötral özelliğinin bozulması yüzünden pratik bir uygulanabilirliği yoktur. Şekil 4'ten en etkin fosfor gidermenin pH>10'da olduğu görülmektedir. Ancak, bu durumda çözeltiliye konsantrasyon limitlerinin çok üzerinde Pb ve Zn'nin geçtiği görülmektedir. Bu tür bir ikincil kirliliği önlemek ve alkali sarfiyatının ortadan kaldırmak amacıyla işlemin kendi pH'sında yapılmasının, proses ekonomisi ve uygulanabilirlik açısından daha uygun olduğu söylenebilir. Bu nedenle diğer parametrelerin fosfat adsorpsiyonu üzerine etkisinin incelendiği deneyler, çözeltinin orijinal pH'ında yürütüldü.

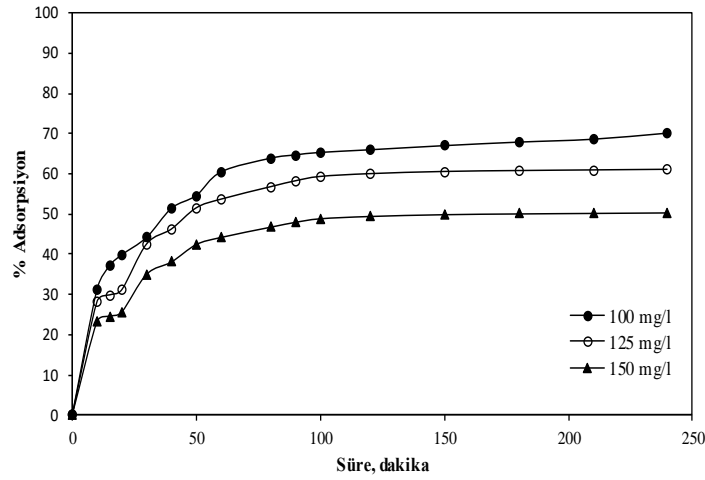


Şekil 4. Kurşun keki ile fosfat adsorpsiyonu üzerine başlangıç pH'sının etkisinin incelendiği deney sonuçları. [100 ml; 100mg-P/L; 30 g/L kurşun keki; 120 dakika temas süresi; 25°C].

Şekil 5'de fosfat adsorpsiyonu üzerine başlangıç fosfat konsantrasyonunun etkisi verilmiştir. Fosfat konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak giderme yüzdesi düşmekte, ancak birim adsorbent (kurşun keki) başına uzaklaşan fosfat miktarı artmaktadır. Ayrıca yaklaşık 100-120 dakikalık sürenin sonunda tüm konsantrasyonlar için bir dengelenme süresine erişilmektedir. Örneğin 100 mg-P/L konsantrasyonundaki fosfat çözeltilerinde, dengelenmenin olduğu 120 dakika sonunda yaklaşık %74.98'lik bir adsorpsiyon meydana gelirken, bu değer 125 ve 150 mg-P/L konsantrasyonları için sırasıyla %66.17 ve %48.98 olmaktadır [20].

Başlangıç konsantrasyonları farklı olan fosfat çözeltilerinin 30 g/L dozunda, optimum pH'da ve 120 dakika süreyle kurşun keki ile temas ettirilmesi sonucunda elde edilen veriler Langmuir ve Freundlich izotermine uygulandı (Eşitlik (1) ve (2)) [19, 20].

Farklı sıcaklıklarda yapılan fosfat adsorpsiyonu sonrasında elde edilen Langmuir izotermi şekil 6'da verilmiştir. Lineer regresyon kullanılarak izotermilerin eğim ve kaymasından b ve  $Q^0$  değerleri hesaplandı. Eşitlik (3)'e göre  $\ln b$  değerlerinin  $1/T$  değerlerine karşı grafiğe geçirilmesiyle adsorpsiyon entalpisi -11.5941 kJ/mol olarak bulundu. Eşitlik (4) ve (5) kullanılarak farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon serbest entalpisi ve entropi değişimleri hesaplandı. Sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir.



Şekil 5. Kurşun keki ile fosfat adsorpsiyonu üzerine başlangıç fosfor konsantrasyonunun etkisi. [100 mL; 30 g/L kurşun keki; pH: 7.69; 25°C].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (1)$$

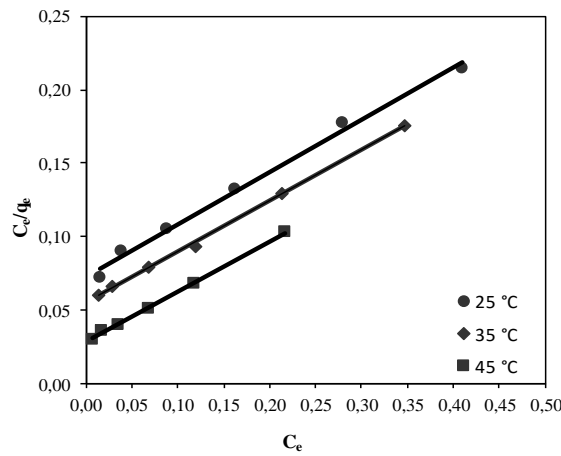
$$\ln(x/m) = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2)$$

$$\ln b = \ln b' - \Delta H/RT \quad (3)$$

$$\ln(1/b) = \Delta G/RT \quad (4)$$

$$\Delta G = \Delta H^\circ - T \Delta S \quad (5)$$

Eşitliklerde  $x$ : Adsorplanan madde miktarı (mg),  $m$ : Adsorbent miktarı (g),  $C_e$ : Adsorplananın çözeltideki denge konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.  $K_f$  (mg/g) adsorpsiyon kapasitesinin bir ölçüsü olan Freundlich sabitidir. Diğer Freundlich sabiti  $n$  ise boyutsuzdur.  $q_{\max}$ : Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, (mg/g),  $b$ : adsorpsiyon enerjisi ile ilgili bir sabit, (L/mg).  $T$ , mutlak sıcaklık (K) ve  $R$  universal gaz sabitidir ( $8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ). Adsorpsiyon prosesinin serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi ( $\Delta S^\circ$ ) değişimi gibi termodinamik parametreleri yukarıdaki eşitliklerle hesaplanabilir.



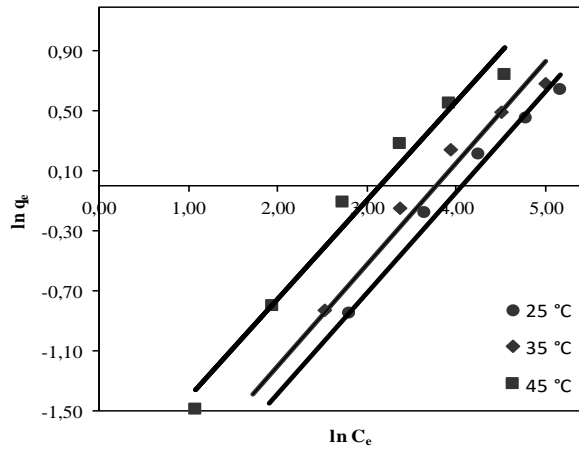
Şekil 6. Kurşun keki ile fosfat adsorpsiyonu için Langmuir izotermi. [100 ml; 25-125 mg-P/L; 30 g/L kurşun keki; pH: 7.69; 120 dakika temas süresi]

Fosfat adsorpsiyonu için hesaplanan adsorpsiyon entalpisinin negatif işaretli oluşu adsorpsiyon olayının ekzotermik olduğunu göstermektedir. Ayrıca izotermelerin eldesi esnasında yapılan sıcaklık çalışmalarında artan sıcaklıkla fosfat giderme yüzdesinin düşmesi de olayın ekzotermik olduğunu kanıtlamaktadır. Tablo 2’de kurşun keki ile fosfatadsorpsiyonunun serbest entalpi değişiminin negatif olduğu görülmektedir. Bu durum fosfatın keke adsorpsiyonunun kendiliğinden meydana gelen bir olay olduğunu göstermektedir [19-21].

**Tablo 2.** Langmuir sabitleri ve termodinamik sabitler

Sıcaklık °C	Langmuir		$\Delta G$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol)
	b	$q_{max}$		
25	0.3371	2.6441	5.479	
35	0.2312	2.3463	5.433	0.02
45	0.1049	2.2104	5.109	

Her sıcaklık için elde edilen izoterm verileri Freundlich eşitliğine uygulanmıştır.  $\ln(x/m)$  değerlerinin  $\ln C_e$  değerlerine karşı grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrular, sonuçların Freundlich izotermine uygulanabilir olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Sıcaklığa bağlı olarak elde edilen Freundlich sabitleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi adsorpsiyon kapasitesinin bir ölçüsü olan Freundlich sabiti  $K_f$ , artan sıcaklıkla azalmaktadır.



**Şekil 7.** Kurşun keki ile fosfat adsorpsiyonu için Freundlich izotermi. [100 mL; 25-125 mg-P/L; 30 g/L kurşun keki; pH: 7.69; 120 dakika temas süresi]

**Tablo 3.** Freundlich sabitleri

Sıcaklık, °C	n	1/n	$K_f$
25	2.404	0.416	0.654
35	3.176	0.315	0.682
45	2.632	0.380	0.436

Langmuir izotermelerinden elde edilen maksimum tek tabaka kapasitesi 25°C’de 25-125 mg-P/L başlangıç konsantrasyonu aralığında ve 30 g/L dozunda 2.644 mg/g olmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon kapasitesi düşmekte ve 45°C’deki şartlarda fosfat adsorpsiyon kapasitesi 2.210 mg/g olmaktadır.

Çok sayıda çalışma, fosfatı gidermek için adsorbanları kullandı ve hem kinetik hem de denge ile ilgili çalışma parametrelerini elde etti. Tablo 4 adsorpsiyon çalışmalarında elde edilen adsorpsiyon kapasitelerini



göstermektedir. Fosfatı gidermek için kullanılan çinko atık keki Tablo 4’deki çoğu malzemegibi uygunadsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Çinko atık kekinin sulu çözeltilerden fosfatın çıkarılması için kullanılabileceğini göstermektedir.

**Table 4.** Literatürde bildirilen bazı malzemelerin adsorpsiyon kapasiteleri.

Adsorbent	Adsorpsiyon kapasitesi mg g <sup>-1</sup> (q <sub>m</sub> , mg/g)	Referans
Sentetik magnetit	11.78	[22]
Bentonite	8.33	[23]
Sentetik demir oksit	5.03	[24]
Biochar	12.8	[25]
Zenginleştirilmiş Magnetit	6.41	[26]
Bazik oksijen fırın cürufu adsorpsiyonunun özellikleri ve mekanizmaları	3.71	[27]
Çinko atık keki	2.65	Bu çalışma

#### IV. SONUÇLAR

Karbonatlı cevherlerden çinko ekstrakte edildikten sonra kalan kurşunlu keklerin fosfat adsorpsiyon özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada genel olarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Ortofosfattan hazırlanan 100 mg-P/L konsantrasyonundaki çözeltilerle, 30 g/L kurşun keki dozunda ve 25°C’de yapılan dengeleme süresi çalışmasında 120 dakika sonra dengenin sağlandığı bulunmuştur. Bu şartlarda ortamdaki fosfatın yaklaşık %75’i giderilmektedir.

Değişik pH’larda yapılan deneylerin sonucunda, pH’nın yükselmesiyle kurşun kekinin daha fazla fosfat uzaklaştırdığı bulunmuştur. Fosfat giderme etkinliği kuvvetli alkali ortamlarda (pH 10-12) daha yüksektir. Ancak bunun pratik bir önemi yoktur.

Farklı sıcaklıklarda ve değişik başlangıç fosfat konsantrasyonlarındaki çözeltilerle yapılan deneyler sonucunda, fosfat giderilmesi 25-125 mg-P/L konsantrasyon aralığında Langmuir ve Freundlich izotermine uymaktadır. Buna ilişkin yapılan hesaplamalarda; Langmuir tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi 25°C’de, 2.6441 mg/g adsorbent olarak bulunmuştur. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon etkinliği düşmektedir. Adsorpsiyon entalpisinin negatif oluşu olayın ekzotermik olduğunu göstermektedir. Serbest entalpi değişimlerinin negatif oluşu olayın ortofosfatın kurşun kekine adsorpsiyonunun kendiliğinden meydana gelen bir olay olduğunu göstermektedir.

Nihai bir sonuç olarak, ortofosfatın kurşun kekine etkin bir şekilde adsorbe olduğu söylenebilir. Ancak önceden yıkanarak çözünebilir çinko ve kurşun kalıntılarının giderilmiş olmasına rağmen, kurşun kekenden çözültü ortamına çinko ve kurşun iyonu geçebilir. Nitekim sonuçlar bunu göstermektedir.

Bu nedenle bu materyal, atıksulardan fosfat uzaklaştırılmasında kullanılamaz. Zira bu defa da bu ikincil kirleticilerin uzaklaştırılmasına ihtiyaç vardır. Ortamda kurşun ve çinko iyonlarının bulunmasının mahsur teşkil etmediği durumlarda fosfat uzaklaştırılmasında göz önüne alınabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Kuroki, V., Bosco, G. E., Fadini, P. S., Mozeto, A. A., Cestari, A. R. & Carvalho, W. A. (2014). Use of a La (III)-modified bentonite for effective phosphate removal from aqueous media. *Journal of hazardous materials*, 274, 124-131.
- [2] Diao, J., Shao, L., Liu, D., Qiao, Y., Tan, W., Wu, L. & Xie, B. (2018). Removal of phosphorus from leach liquor of steel slag: Adsorption dephosphorization with activated alumina. *JOM*, 70(10), 2027-2032.
- [3] Xiong, J., He, Z., Mahmood, Q., Liu, D., Yang, X. & Islam, E. (2008). Phosphate removal from solution using steel slag through magnetic separation. *Journal of hazardous materials*, 152(1), 211-215.

- [4] Kondalkar, M., Fegade, U., Attarde, S. & Ingle, S. (2019). Phosphate removal, mechanism, and adsorption properties of Fe-Mn-Zn oxide trimetal alloy nanocomposite fabricated via co-precipitation method. *Separation Science and Technology*, 54(16), 2682-2694.
- [5] Fan, R., Chen, C. L., Lin, J. Y., Tzeng, J. H., Huang, C. P., Dong, C. & Huang, C. P. (2019). Adsorption characteristics of ammonium ion onto hydrous biochars in dilute aqueous solutions. *Bioresource technology*, 272, 465-472.
- [6] Jang, J. & Lee, D. S. (2019). Effective phosphorus removal using chitosan/Ca-organically modified montmorillonite beads in batch and fixed-bed column studies. *Journal of hazardous materials*, 375, 9-18.
- [7] Yoshida, H. & Galinada, W. A. (2002). Equilibria for adsorption of phosphates on OH<sup>-</sup> type strongly basic ion exchanger. *AIChE Journal*, 48(10), 2193-2202.
- [8] Altundoğan, H. S. & Tümen, F. (2002). Removal of phosphates from aqueous solutions by using bauxite. I: Effect of pH on the adsorption of various phosphates. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 77(1), 77-85.
- [9] Altundoğan, H. S. & Tümen, F. (2003). Removal of phosphates from aqueous solutions by using bauxite II: the activation study. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 78(7), 824-833.
- [10] Li, Y., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Zhu, C., Chen, Z. & Jia, Z. (2006). Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash. *Journal of hazardous materials*, 137(1), 374-383.
- [11] Liu, Y., Sheng, X., Dong, Y. & Ma, Y. (2012). Removal of high-concentration phosphate by calcite: effect of sulfate and pH. *Desalination*, 289, 66-71.
- [12] Karageorgiou, K., Paschalis, M. & Anastassakis, G. N. (2007). Removal of phosphate species from solution by adsorption onto calcite used as natural adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 139(3), 447-452.
- [13] Li, M., Liu, J., Xu, Y. & Qian, G. (2016). Phosphate adsorption on metal oxides and metal hydroxides: A comparative review. *Environmental Reviews*, 24(3), 319-332.
- [14] Liu, H., Sun, X., Yin, C. & Hu, C. (2008). Removal of phosphate by mesoporous ZrO<sub>2</sub>. *Journal of hazardous materials*, 151(2-3), 616-622.
- [15] Huang, W., Wang, S., Zhu, Z., Li, L., Yao, X., Rudolph, V. & Haghseresht, F. (2008). Phosphate removal from wastewater using red mud. *Journal of hazardous materials*, 158(1), 35-42.
- [16] Yin, H., Yun, Y., Zhang, Y. & Fan, C. (2011). Phosphate removal from wastewaters by a naturally occurring, calcium-rich sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 362-369.
- [17] Nguyen, T. A. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Zhang, J., Liang, S., Lee, D. J. & Bui, X. T. (2014). Modification of agricultural waste/by-products for enhanced phosphate removal and recovery: potential and obstacles. *Bioresource technology*, 169, 750-762.
- [18] APHA-AWWA/WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- [19] Arslanoğlu, H. (2021). Production of low-cost adsorbent with small particle size from calcium carbonate rich residue carbonation cake and their high performance phosphate adsorption applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 428-447.
- [20] Eren, M. Ş., Arslanoğlu, H. & Çiftçi, H. (2020). Production of microporous Cu-doped BTC (Cu-BTC) metal-organic framework composite materials, superior adsorbents for the removal of methylene blue (Basic Blue 9). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104247.
- [21] Arslanoğlu, H., Kaya, S. & Tümen, F. (2020). Cr (VI) adsorption on low-cost activated carbon developed from grape marc-vinasse mixture. *Particulate Science and Technology*, 38(6), 768-781.
- [22] Shahid, M. K., Kim, Y. & Choi, Y. G. (2019). Magnetite synthesis using iron oxide waste and its application for phosphate adsorption with column and batch reactors. *Chemical Engineering Research and Design*, 148, 169-179.
- [23] Yaghoobi-Rahni, S., Rezaei, B. & Mirghaffari, N. (2017). Bentonite surface modification and characterization for high selective phosphate adsorption from aqueous media and its application for wastewater treatments. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(2), 175-186.
- [24] Yoon, S. Y., Lee, C. G., Park, J. A., Kim, J. H., Kim, S. B., Lee, S. H. & Choi, J. W. (2014). Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for phosphate adsorption to magnetic iron oxide nanoparticles. *Chemical engineering journal*, 236, 341-347.
- [25] Trazzi, P. A., Leahy, J. J., Hayes, M. H. & Kwapinski, W. (2016). Adsorption and desorption of phosphate on biochars. *Journal of environmental chemical engineering*, 4(1), 37-46.
- [26] Shahid, M. K., Kim, Y. & Choi, Y. G. (2019). Adsorption of phosphate on magnetite-enriched particles (MEP) separated from the mill scale. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 13(5), 1-12.

- [27] Xue, Y., Hou, H. & Zhu, S. (2009). Characteristics and mechanisms of phosphate adsorption onto basic oxygen furnace slag. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 973-980.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Determination of the Variations on Battery Consumption According to Temperature and Relative Humidity of Silicon Labs Si7021 Wireless Sensor Systems in Greenhouse

## Serada Silicon Labs Si7021 Kablosuz Sensör Sistemlerinin Sıcaklık ve Neme Göre Pil Tüketimindeki Değişimlerinin Belirlenmesi

Celil Serhan Tezcan<sup>1</sup>, Kemal Sulhi Gündoğdu<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 15/02/2021*

*Revize / Revised: 22/05/2021*

*Kabul / Accepted: 22/05/2021*

### ABSTRACT

Climatic parameters need to be measured and necessary arrangements should be made according to these observations in order to be suitable for greenhouse climatic conditions in agricultural production. In agricultural production, it is important to know the temporal change of climatic values belonging to different locations of the greenhouse in order to ensure the comfort of plant growing environment. Today, the use of sensors determining various climatic parameters is becoming widespread. The design of the sensor system to include battery and wireless communication technology makes it easier to position the sensor in the desired position in the greenhouse. In this study, it was tried to determine the daily battery consumption of Silicon Labs Si7021 sensors used to determine temperature and humidity values in a greenhouse according to temperature and humidity values. In this study, 18 sensors were used and placed in different locations in the greenhouse. Temperature, relative humidity and sensor battery voltage measurements were carried out for twelve months between 2016-2017 in five minute intervals. From these values, daily average temperature, relative humidity and battery voltage changes were determined. Data were tested by ANOVA, regression and correlation analyzes. According to the results, it was investigated whether there was a significant relationship between the daily battery level change in the sensors used and the daily average temperature and humidity values. It is concluded that there is no strong relationship to create regression model between daily battery voltage change and two environmental parameters for all sensors.

**Keywords-** *Temperature, Relative Humidity, Silicon Labs Si7021 Wireless Sensor, Battery Consumption, Greenhouse*

### ÖZ

Tarımsal üretimde sera iklim şartlarına uygun olması için iklimsel parametrelerin ölçülmesi ve bu gözlemlere göre gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Tarımsal üretimde, bitki yetiştirme ortamının konforunu sağlamak için seranın farklı yerlerine ait iklim değerlerinin zamansal değişimini bilmek önemlidir. Günümüzde çeşitli iklim parametrelerini belirleyen sensörlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Sensör sisteminin pil ve kablosuz iletişim teknolojisini içerecek şekilde tasarlanması, sensörün serada istenilen konuma konumlandırılması

<sup>1</sup>İletişim: [cstezcan@gmail.com](mailto:cstezcan@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3423-9402>)

Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü 34469-İstanbul

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [kemalg@uludag.edu.tr](mailto:kemalg@uludag.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5591-4788>)

Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Görükle Kampüsü 16059-Bursa

kolaylaştırır. Bu çalışmada, bir serada sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenmesinde kullanılan Silicon Labs Si7021 sensörlerinin günlük pil tüketiminin sıcaklık ve nem değerlerine göre belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada 18 adet sensor kullanılmış ve serada farklı yerlere yerleştirilmiştir. 2016-2017 yılları arasında on iki ay boyunca beş dakikalık aralıklarla sıcaklık, bağıl nem ve sensor pil voltajı ölçümleri yapılmıştır. Bu değerlerden günlük ortalama sıcaklık, bağıl nem ve akü voltaj değişimi belirlenmiştir. Veriler ANOVA, regresyon ve korelasyon analizleri ile test edildi. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, kullanılan sensörlerde günlük pil seviyesi değişimi ile günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Tüm sensörler için günlük pil voltajı değişimi ile iki çevresel parametere arasında regresyon modeli oluşturmak için güçlü bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.

**AnahtarKelimeler-** *Sıcaklık, Bağıl Nem, Silion Labs Si7021 Kablosuz Sensörü, Pil Tüketimi, Sera*

## I. INTRODUCTION

Due to use of open-source sensor systems, price advantage, easy installation and usage, flexibility that wireless deployment provide sit has become widespread in different sectors in recent years. A sensor network enables information to be easily accessed anytime and anywhere. It performs this function by collecting, processing, analyzing, and spreading data. Thus, the network plays an active role in creating an intelligent environment [1].

Wireless connection is a flexible communication system that transmits data over the air by electromagnetic waves to minimize problems caused by wired communication difficulties in the area to be used. Despite the constraints such as physical dependence in the use of wired systems, the need for energy and the size of the physical dimensions of the hardware structures, practical, cost-effective, and efficient systems can be implemented with wireless sensor network technology [2].

Wireless Sensor Networks are created by randomly placing many short-range, low-capacity transmitters, low-cost and powerful sensors in environments that are not easily accessible and unreliable. In the sensor networks, the data perceived from the physical environment with various sensors are transmitted wirelessly to the information processing network with the targets by connection with each other. A sensor node is a node in a sensor network that is capable of performing some processing, gathering sensory information and communicating with other connected nodes in the network. Their number can be very high depending on their application. Being small in terms of usability is a physical requirement. These nodes recognize each other by being randomly left to the physical environment to be observed. Nodes can cooperate and perform measurements in a wide area [3].

The energy constraint is one of the most significant difficulties of the sensor network systems, dispersed in a wide geographical area. For the stored energy to be used for a long time, protocols that optimize energy usage are required [4]. Due to battery life limitations, they are operated in "sleep" mode for low power consumption in the sensor nodes at times, not measurement. Thus, wireless sensor networks perform far beyond traditional sensor systems using large, expensive macro sensors, and required wiring to the user [5].

Because wireless sensors are powered by commercially available batteries, battery performance will directly affect the performance of the entire network. Batteries contain two electrodes, an anode (negative end) and a cathode (positive end). An electric current flows between the two electrodes, mainly due to the voltage difference between the anode and cathode. Voltage passes through a chemical called an electrolyte (which can be liquid or solid). A battery consists of plates made of reactive chemicals separated by barriers. All electrons are collected on one side and after a battery is polarized, it is negatively charged. Meanwhile, the other side becomes positively charged. Connecting a device to the terminals of the battery creates a current in which electrons flow from the device to the positive side. An electrochemical reaction takes place inside batteries to regenerate electrons. The effect is a chemical process that generates electrical energy, but as with many chemical reactions, the process is affected by temperature. When an increase in temperature occurs, the electrons become active. On the other hand, a decrease in temperature can hinder electron activities. If a device containing batteries is exposed to extreme temperatures for any period of time, there will be an adverse effect on the batteries. Also, a rapid temperature change can lead to condensation, posing a potential hazard to a battery and associated devices [6]. Especially the changes in air humidity can cause condensation, which can be detrimental to batteries [7].

In wireless sensor networks, the implementation of energy efficiency protocols will reduce energy consumption. Environmental factors are thought to impact battery consumption, as data measurement takes place under entirely natural conditions. In order to determine the battery consumption influenced by temperature and humidity in a greenhouse where an open-source wireless sensor system is installed, this study aims to determine the daily battery voltage change in temperature and humidity sensors that measured at different locations in the greenhouse, according to the temperature and relative humidity value. Temperature and relative humidity values in the greenhouse can take extreme values depending on the seasons and the agricultural activities applied. In the study, the effect of temperature and relative humidity changes on the battery voltage will be determined. In particular, it will be determined whether two environmental factors cause extreme drops in the battery voltage level. Because the wireless sensors can make accurate measurements within the battery voltage range specified in the datasheet.

## II. MATERIAL AND METHOD

As the wireless sensor network system in greenhouse, Silicon Labs Si7021 humidity and temperature (% RH and °C) sensors are used. The sensors are mounted on the redesigned board using the Arduino Uno R3 board with the I2C interface. CRC compatible Nordic nRF24L01 + chips were used as radio for sending data to the collection and routing station. The system is primarily designed for low power consumption, not for data transmissions to long distances. Thus, the ArduinoUnoR3 design was simplified and a voltage divider was used on the circuit board to monitor the processor, radio, sensor and battery status. The nRF24L01 + regular radios used in data transmission are connected to the Atmega328P processor via SPI (Serial Hardware Interface). The sensors are powered by batteries only. Totally 18 Silicon Labs Si7021 sensor systems were used in the study. Silicon Labs Si7021 operating voltage is between 1.9 V-3.6 V [8]. In order to avoid any kind of effects on battery's chemical structured, an internal voltage calibration feature in the Si7021 sensor was used in the study. The greenhouse in which the study was conducted is 8m\*20m in size. The positions of the sensors placed inside and outside the greenhouse are given in Table 1. One corner of the greenhouse is the origin, the short side of the greenhouse is given as X and the long side as Y.

Table 1. Locations of the sensors

Sensor Number	X m	Y m	Height m
304	8	0	1
311	8	3.5	0.5
314	8	12	2
320	8	0	1
325	0	10	0.5
326	8	0	1
327	8	10	0.5
346	6	18	1.5
363	8	0	1
385	0	18	0.5
389*	0	18	0.5
391	8	6.5	1.5
393*	0	18	0.5
394*	0	26	2
398*	0	18	1
401	8	3.5	1.5
405	8	4.5	0.5
406	0	6	1.5

\* Outside of Greenhouse

The greenhouse wireless sensor system has relatively low power consumption, as it is already aimed to maintain the system for years without the need for battery replacements. For this reason, it has been tried to select appropriate materials with the lowest battery consumption. Temperature, relative humidity and sensor battery voltage measurements were carried out for twelve months between 2016-2017 in five minute intervals. The nRF24L01 + radio in data communication is encoded to send data in 2420 MHz, 2440 MHz, 2460 MHz and 2480 MHz ISM bands.

For the analysis of the obtained data, a Python Script was used to get the sensors' information and formatting this accumulated data since the data file exceeds the Gigabyte size. Daily average temperature and

relative humidity values with daily maximum-minimum battery voltage were determined for each sensor. Regression and correlation analyzes were performed as a statistical evaluation process for the obtained results. Data were tested by using a two-way Analyses of Variance (ANOVA) (two factors; (i) temperature and (ii) relative humidity) with SPSS 15.0 statistical package for windows, SPSS Inc., Chicago.

### III. RESULTS

The collected data are saved in a .txt file. The collected data are date, time, sensor number, sensor type, temperature, relative humidity, battery level, and the number of accumulated data as cycle (Table 2).

**Table 2.** Example of data file structure

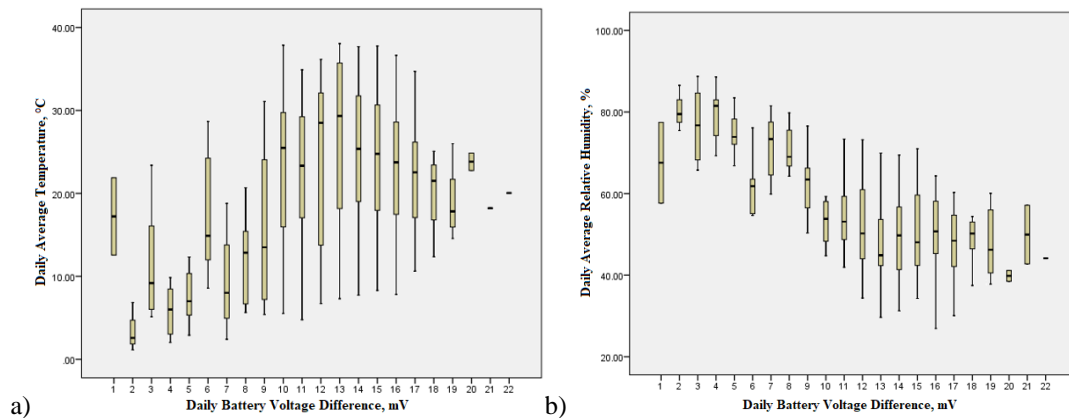
Date	Time	Sensor Number	Sensor Type	Temperature, °C (/100)	Relative Humidity % (/100)	Battery Level, V (/1000)	Cycle
31.07.2016	06:42:13	314	R	1978	7264	991	2908
31.07.2016	06:42:30	398	R	2231	6507	991	1102
31.07.2016	06:42:51	405	R	2243	6428	1023	1342
31.07.2016	06:43:08	401	R	2258	6588	1016	1990
31.07.2016	06:43:11	363	R	2260	6460	944	2106
31.07.2016	06:43:11	393	R	2275	6276	994	1141
31.07.2016	06:43:28	325	R	2343	6263	924	2092
31.07.2016	06:43:37	394	R	2081	7303	977	2068

From the data in this file, the data of each sensor have been transferred in to individual files. The daily average temperature, relative humidity and battery level change values in the resulting files were calculated (Table 3). The values obtained were subjected to statistical analysis separately and together for each sensor.

**Table 3.** Daily battery voltage change, temperature and relative humidity

Daily Battery Level Change mV	Daily Average Temperature °C	Daily Average Humidity %
3	10.27	87.01
3	6.70	82.29
5	6.59	73.91
9	7.39	69.80
14	9.63	68.69
11	6.66	67.70
14	7.87	62.69
13	7.30	61.77

Boxplot graph of temperature and battery voltage level change of one randomly selected sensor was prepared to see the temperature and battery level change intervals (Figure 1a). As can be seen in Figure 1a, temperature values varied in a wide range between 2-38 °C against the change of daily battery level change in the range of 1-20 mV. In this sensor, extreme values, such as >20 mV were obtained in battery level change. Since these values are out of general, they are not evaluated. When the daily average temperature-daily battery level change values of all sensors were evaluated together, it was observed that the temperature changes in a wide range at the same battery level value. A boxplot graph of the humidity and battery level change of one randomly selected sensor was prepared to see the relative humidity and battery level change intervals (Figure 1b). As can be seen in Figure 1b, the daily battery level change ranged from 1-19 mV, humidity values ranged from 25-90%. Relative humidity values corresponding to the same battery level change are tended to approach an average value, unlike temperature. As can be seen in Figure 1b, the daily battery level change ranged from 1-19 mV, relative humidity values ranged from 25-90%. Relative humidity values corresponding to the same battery level change are tended to approach an average value, unlike temperature.



**Figure 1.** Daily Average temperature (a) and Humidity (b) with daily battery voltage level difference

Correlation analysis was made between daily battery voltage differences, average daily temperature and relative humidity values. Table 4 shows the correlation coefficient between daily battery voltage differences and the other two parameters. According to the result of the correlation analysis, there is a relationship at significance level of  $p \leq 0.01$  between the greenhouse temperature and the difference in the daily battery voltage level in 10 sensors (5 of them are positive, 5 of them are negative), other one has a positive relationship at the significance level of  $p \leq 0.05$ , and the others do not have. There is a relationship between daily battery voltage level difference and daily average relative humidity at  $p \leq 0.01$  significant level at 14 sensors (positive relationship in 3 sensors and negative in 11 sensors), while the other four sensors do not.

**Table 4.** Correlation Coefficients between Daily Battery Voltage Differences, Average Daily Temperature and Relative Humidity

Sensor Number	Temperature	Relative Humidity
304	-.200**	-.076
311	-.067	-.030
314	.346**	-.443**
320	-.019	-.482**
325	.480**	-.612**
326	.097	-.265**
327	.449**	-.653**
346	.099	-.176**
363	.119*	-.463**
385	0.14	-.154**
389	.119	.131
391	.102	-.242**
393	-.153**	.137**
394	.493**	-.526**
398	-.195**	.209**
401	.460**	-.632**
405	-.267**	.004
406	-.197**	.136**

\*\* ( $p \leq 0.01$ ), \* ( $p \leq 0.05$ )

Regression and ANOVA analysis was done separately and together between daily battery voltage differences and average daily temperature and relative humidity values. The regression coefficients obtained as a result of the regression analysis are given in Table 5. In addition, ANOVA significance level values ( $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ ) obtained as a result of ANOVA analysis are shown on the regression coefficients.



According to the regression analysis results, the regression coefficient was obtained very low for all sensors. According to the results of ANOVA analysis, it was seen that the relationship between daily temperature and relative humidity values and the change of battery voltage is statistically significant at  $p \leq 0.01$  level in most sensors. When temperature and relative humidity were evaluated together, it was seen that the relationship was statistically significant at  $p \leq 0.01$  level in all sensors.

**Table 5.** Regression analysis of temperature, relative humidity and temperature combined with relative humidity

Sensor Number	Temperature	Relative Humidity	Temperature + Relative Humidity
	$r^2$	$r^2$	$r^2$
304	<b>0.040**</b>	0.006	<b>0.100**</b>
311	0.040	<b>0.010**</b>	<b>0.025**</b>
314	<b>0.120**</b>	<b>0.196**</b>	<b>0.197**</b>
320	0	<b>0.232**</b>	<b>0.311**</b>
325	<b>0.230**</b>	<b>0.412**</b>	<b>0.430**</b>
326	0.009	<b>0.070**</b>	<b>0.093**</b>
327	<b>0.201**</b>	<b>0.427**</b>	<b>0.442**</b>
346	0.010	<b>0.031**</b>	<b>0.035**</b>
363	<b>0.014*</b>	<b>0.214**</b>	<b>0.278**</b>
385	0	<b>0.024**</b>	<b>0.059**</b>
389	0.014	0.017	<b>0.118**</b>
391	0.010	<b>0.059**</b>	<b>0.090**</b>
393	<b>0.024**</b>	<b>0.019**</b>	<b>0.025**</b>
394	<b>0.243**</b>	<b>0.277**</b>	<b>0.304**</b>
398	<b>0.038**</b>	<b>0.044**</b>	<b>0.046**</b>
401	0.016	<b>0.035**</b>	<b>0.037**</b>
405	<b>0.071**</b>	0	<b>0.214**</b>
406	<b>0.039**</b>	<b>0.019**</b>	<b>0.040**</b>

\*\* ( $p \leq 0.01$ ), \* ( $p \leq 0.05$ )

#### IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

In the study, the same feature material and battery were used in all sensors. However, in the sensors measuring at different points, the batteries' reactions to the temperature and relative humidity were not in the same direction. When the daily average temperature-daily battery level change values of all sensors were evaluated together, it was observed that the temperature changes in a wide range at the same battery level value.

As one of the environmental factors, the effect of temperature on battery discharge characteristics in wireless sensor networks was investigated in [9]. It was determined that the batteries used in the wireless sensor networks, continuous exposure to high temperature cause increased charge loss, shortens the battery life, and exposure to low temperature decreases the battery capacity due to the increase of the battery's internal resistance.

In another study, it was stated that the thermal effect in wireless sensor network systems could accelerate the rate of chemical reactions in the battery, which can provide higher adequate capacity at higher temperatures. They stated that the model they developed could be used to estimate battery behavior and battery life at different operating temperatures [10]. On the other hand, some researchers gave the results of the model they prepared to determine the relationship between temperature and battery capacity drop. They noticed that the model they used in their studies was verified in systems with high energy consumption, high discharge current ( $> 100$  mA), but in systems, such as WSN with low current draw, no accurate results were obtained [11].

Relative humidity values corresponding to the same battery voltage change are tended to approach an average value, unlike temperature. There are positive and negative relationships in equal number of sensors for significance level  $p \leq 0.01$ , between the average daily temperature value and the average battery voltage level change. There is a negative relationship in most sensors for same significance level between the average daily relative humidity value and the average battery voltage level change.

When collected results were evaluated together, it was observed that the changes in daily battery levels of 18 sensors with the same features did not have similarity concerning temperature and relative humidity values.

Each sensor system was evaluated according to the temperature and relative humidity at its location. Similarities were not observed in the results obtained from sensors that were close to each other. Therefore, the possible influence of the location on the heterogeneity of the results was neglected. As seen in Figure 1, the daily battery voltage difference range was between 0-22 mV in other sensors also. According to the operating voltage of the Si7021 sensor (between 1.9V-3.6V), the amount of daily voltage variation depending on the average daily temperature and relative humidity conditions were remaining at a very low level during 12 months.

In all sensor values that were statistically significant between battery level changes and temperature and humidity values, the  $r^2$  value was lower than 0.5. Accordingly, it is not possible to estimate the battery level change using only temperature and humidity values. A regression equation cannot be created using these parameters. In another study, it was mentioned that the batteries used in wireless sensor systems were affected by extreme pressure, temperature and humidity conditions. It is concluded that temperature is more pronounced among these climate parameters [12].

Systems that are planned to include only the elements suitable for the purpose, as in our study, can serve more than one year without requiring battery replacement. The effect of temperature and humidity changes that will occur in extreme conditions on batteries used in wireless sensor systems has not been statistically proven yet. The use of battery-powered, wireless sensor systems in greenhouse-like environments with high daily, seasonal temperature and humidity changes will not be a problem in temperature and humidity. Possible effects of other environmental factors on daily change in battery level are topics that can be explored in future studies.

#### TEŞEKKÜR

This study was carried out within the scope of project numbered BAP OUAP (Z) -2015/10, supported by the Scientific Research Projects Unit of Bursa Uludağ University. We thank Bursa Uludağ University Scientific Research Projects Unit for its support.

#### REFERENCES

- [1] Kalaycı, T. E. (2009). Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 11-13 Şubat 2009 Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [2] Tekin, Ç., Demirel, A.B. & Örün, Ç. (2011). Tarımda Kablosuz Ağlar, Akademik Bilişim 2011, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [3] Sarpay, A. (2016). İnternet Kullanımının Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [4] Suri, A., Iyengar, S. S. & Cho, E. (2006). Ecoinformatics using wireless sensor networks: An overview, *Ecological Informatics*, 1, 287-293.
- [5] Odabaşı, S. & Tozan, Ş. D. (2009). Kablosuz Sensör Ağlar ve Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Tüketimi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, Ankara.
- [6] Guo, W., Healy, W. M. & Zhou, M. (2013). Experimental study of the thermal impacts on wireless sensor batteries, 2013 10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 430-435, doi: 10.1109/ICNSC.2013.6548777.
- [7] Anonymous (2021). <https://www.panasonic-batteries.com/en/cold-weather-batteries>, (Date of access: 10.05.2021).
- [8] Anonymous (2021). Silicon Lab Si7021 datasheet, <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>, (Date of access: 13.05.2021).
- [9] Park, C., Lahiri, K. & Raghunathan, A. (2005). Battery discharge characteristics of wireless sensor nodes: an experimental analysis. 2005 Second Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2005. IEEE SECON 2005., Santa Clara, CA, USA.
- [10] Rodrigues, L. M., Montez, C., Moraes, R., Portugal, P. & Vasques, F. (2017). A temperature-dependent battery model for wireless sensor networks, *Sensors*, 17(2), 422.
- [11] Erdinç, O., Vural, B. & Uzunoğlu, M. (2009). A dynamic lithium-ion battery model considering the effects of temperature and capacity fading, International Conference on Clean Electrical Power, Capri, Italy, 383-386.
- [12] Rodrigues, L., Leao, E., Montez, C., Moraes, R., Portugal, P. & Vasques, F. (2018). An Advanced Battery Model for WSN Simulation in Environments with Temperature Variations. *IEEE Sensors Journal*, 18(19), 8179-8191.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## **Bir Mekanik Montaj Sisteminde Tolerans Yığılması ve Tolerans Alanının Genişletilmesi**

### **Tolerance Stacking and Expansion of the Tolerance Area in a Mechanical Assembly System**

Fikret Sönmez<sup>1</sup>, Şehmus Baday<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 19/02/2021*

*Revize / Revised: 13/04/2021*

*Kabul / Accepted: 20/04/2021*

#### **ÖZ**

Birbiri ile beraber çalışan makine parçalarına tolerans verilmesi gerek fonksiyonellik gerekse maliyet açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle talaşlı imalat ile üretilen makine parçaların için dar tolerans aralıklarının belirlenmesi yüksek maliyet artışlarına neden olmaktadır. Bu nedenle birbiri ile çalışacak makine parçalarının montajının yapılabilmesi ve mümkün olan en geniş tolerans aralığı ile üretilmesi istenmektedir. Bu çalışmada, bir mil üzerine standart makine elemanlarının birleştirilmesi ile oluşan bir montaj sistemi analiz edilmiştir. Standart makine elemanları üreticiler tarafından belirli bir tolerans değeri aralığında üretilmektedir. Bu doğrultuda, standart makine elemanlarının toleransları temel alınarak bir mil için toleranslandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu birleştirme işleme en kötü durum senaryosu ile başlanmış ve tolerans aralığının genişletilmesi için Monte Carlo simülasyonu ile devam edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en kötü durum senaryosunda elde edilen  $\pm 0,015$  mm tolerans değeri Monte Carlo simülasyonu ile  $\pm 0,27$  mm değerine kadar genişletilmiştir. Böylelikle aynı montaj sisteminde çok daha geniş bir tolerans aralığının kullanılmasına ve aynı zamanda maliyetin azaltılması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** *Toleranslandırma, Mekanik Montaj, En Kötü Durum Senaryosu, Monte Carlo Simülasyon*

#### **ABSTRACT**

The tolerance of machine parts working together is of great importance in terms of both functionality and cost. Especially, determining narrow tolerance ranges for machine parts produced by machining causes high cost increases. For this reason, it is desired to be able to assemble machine parts that will work with each other and to be produced with the widest possible tolerance range. In this study, an assembly system formed by combining standard machine elements on a shaft is analyzed. The manufacturers produce standard machine elements within a certain tolerance value range. In this direction, tolerances for a shaft were performed based on the tolerances of standard machine elements. This merging process started with the worst-case scenario and continued with Monte Carlo simulation to extend the tolerance range. As a result of the analysis, the tolerance value of  $\pm 0.015$  mm obtained in the worst-case scenario was expanded up to  $\pm 0.27$  mm with Monte Carlo simulation. In this way, it is possible to use a much wider tolerance range in the same mounting system and at the same time gain a benefit in cost.

**Keywords-** *Tolerancing, Mechanical Assembly, Worst-Case Scenario, Monte Carlo Simulation*

<sup>1</sup>İletişim: [sonmezfikret@gmail.com](mailto:sonmezfikret@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-1718-892X>)

*Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa, Türkiye*

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [sehmus.baday@batman.edu.tr](mailto:sehmus.baday@batman.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-4208-8779>)

*Makine Mühendisliği Bölümü, Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Batman, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Makine parçaları, bir montaj sistemi içerisinde birbiri ile hem uyumlu hem de ilişkili bir şekilde çalışmaktadır. Montajı oluşturan tüm parçaların birbiri ile olan ilişkileri belirlendikten sonra parçaların imalatı için kullanılacak imalat yöntemi seçilir. Özellikle birbiri arasında dar çalışma boşlukları olan parçalarda ve hassasiyet istenen durumlarda talaşlı imalat sıklıkla tercih edilir [1]. Bundan dolayı, birçok makine parçası, istenilen tolerans aralıklarında talaşlı imalat yöntemi ile üretilmesi mümkündür. Bu parçalara ait üretim maliyeti; iş parçası malzemesi, operasyon türü, kullanılan kesici takımlar gibi birçok faktörden etkilense de çoğunlukla asıl belirleyici faktör parçaların tolerans değeridir. Parçalara ait tolerans değerinin büyük olması kolay ve ekonomik bir imalat imkânı sunmaktadır. Bununla birlikte dar tolerans değerleri hassas tezgâh kullanımı, nitelikli operatör ihtiyacı ve hassas kalite kontrol gibi birçok gerekliliği ortaya çıkartmaktadır. Bu nedenle makine parçalarına tolerans verilirken hem parçaların birbiri ile çalışması sağlayacak hem de mümkün olan en geniş tolerans aralığının kullanılması istenilmektedir. Bu amaçla birçok toleranslandırma tekniği geliştirilmiştir [2, 3].

Bu toleranslandırma yöntemleri arasından kullanılabilir ilk temel yöntem en kötü durum senaryosudur. Bu senaryoda bütün hesaplamalar en kötü duruma göre yapılır ve her koşulda montajın yapılması garanti altına alınmış olunur [4, 5]. Fakat bu durum çok dar bir tolerans aralığının oluşmasına sebep olur. Dar bir toleranslandırma aralığı da parça imalatında büyük maliyetlere yol açmaktadır. Bir diğer yöntem ortalama karelerin karekökü (RSS) yöntemidir. RSS yönteminde üretilen parçaların boyutsal değişiminin genellikle normal bir dağılım gösterdiği ve bu parçaların çoğunlukla nominal değere yakın üretileceği prensibini temel almaktadır. Talaşlı imalat süreci ile üretilen parçaların büyük çoğunluğu normal bir dağılım gösterdiği bilinmektedir [2, 6]. RSS yöntemi ile tolerans verilecek parçalar için boyutsal olarak aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri kullanılmaktadır. Bu durum daha geniş bir tolerans aralığının belirlenmesine sağlarken belli bir hata oranının da kabullenilmesine olanak vermektedir. RSS yöntemine benzer şekilde belirli kurallara bağlı olarak toleranslandırma yapabilecek bir diğer yöntem de Monte Carlo simülasyonu yöntemidir [5]. Monte Carlo yöntemi, RSS yönteminden farklı olarak normal dağılım dışında daha geniş ve farklı bir dağılım aralığında sonuçlar almak mümkündür. Monte Carlo simülasyonu istenen değerleri gerçekleştirmek için verilen aralıkta rasgele değerler üretmektedir. Böylelikle oluşabilecek birçok farklı sonuç senaryoları ortaya çıkarılmış olunur [7]. Her ne kadar birçok çalışmada en kötü durum senaryosu, RSS ve Monte Carlo simülasyonu kullanılsa da toleranslandırma çalışmalarda araştırmacılar tarafından birçok farklı yöntem de uygulanmaya konulmuştur [8]. Araştırmacılar tarafından yapılan bütün toleranslandırma çalışmaları ile parçaların montajı ve bu montajı sağlayacak tolerans değerlerinin tespiti önemli bir konu oluşturmıştır. Yapılan bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

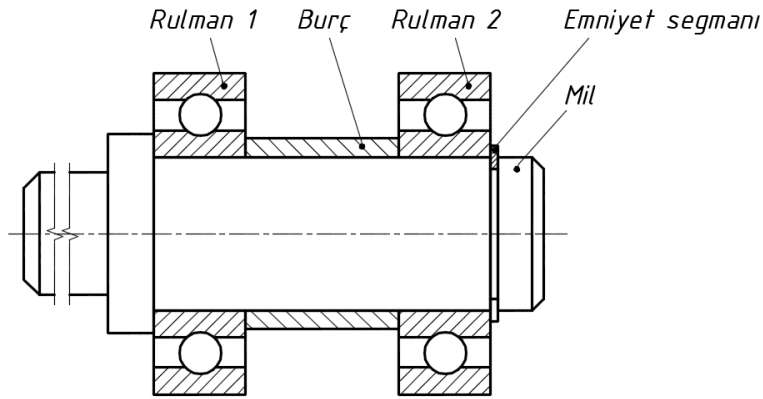
Samtaş ve Gülesin yaptıkları çalışmada [9] geliştirdikleri bir bilgisayar yazılımı ile en kötü durum senaryosunu temel alan bir montaj analizi gerçekleştirmişlerdir. Böylelikle mekanik montajların hızlı ve hatasız tolerans verilmesi sağlamışlardır. Toroslu ve Börklü yaptıkları çalışmada [3] genetik algoritma yöntemini kullanarak bir montaj sisteminin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla montajın gerçekleşmesini sağlayan ve en düşük maliyeti sağlayabilecek tolerans değerlerinin tahminini gerçekleştirmişlerdir. Bayram ve Acar [7] Kriging vekil modeller yaklaşımını Monte Carlo simülasyonu ile birlikte kullanarak bir tolerans analizi çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada bir kavrama montajı ile yöntemin etkinliğini analiz etmişlerdir. Chen ve arkadaşları [10] üç-boyutlu bir toleranslandırma probleminin çözümü üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar toleranslandırma analizinde kullanılabilir birçok yöntemi deneyerek en uygun yöntemin tespitini amaçlamışlardır. Hallmann ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada bir mekanik montajda ortaya çıkan boşluk değerlerinin maliyet esaslı değerlendirilmesi yapılmıştır. Araştırmacılar bu amaçla aşırı sınırlandırılmış bir kaplin montajı üzerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Kondic ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada bir mekanik montaj sisteminin tolerans analizini en kötü durum senaryosu, RSS ve Monte Carlo yöntemi ile analiz etmişlerdir. Denemiş oldukları kavrama montajında RSS ve Monte Carlo yöntemlerinin tolerans aralığını genişlettiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ise standart makine parçaları kullanılarak oluşturulan bir montaj sisteminde yer alan bir mil için toleranslandırma analizi yapılmıştır. Bu amaçla en kötü durum senaryosu ve Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen tolerans değerleri imalat maliyetleri ve imalat standartları temel alınarak değerlendirilmiştir.

## II. MATERYAL VE METOD

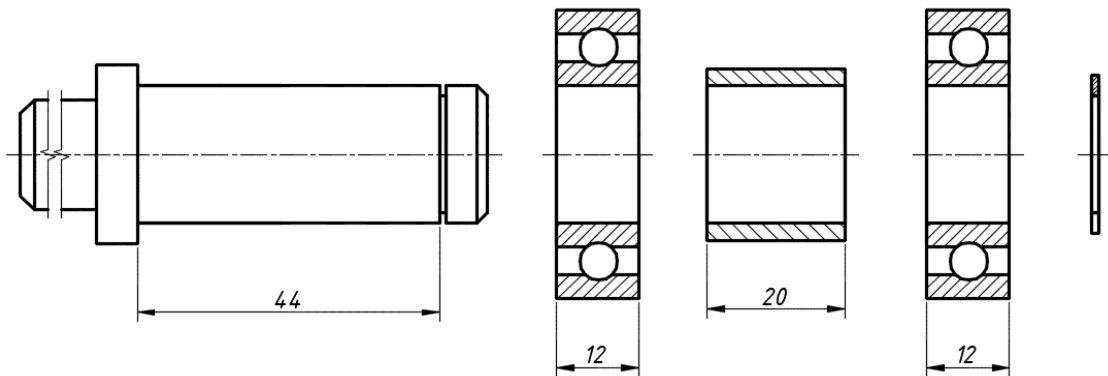
### A. Montaj Sistemi

Bu çalışmada, Şekil 1’de görülen montaj sistemi için bir tolerans analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’deki sistem incelendiğinde, mil üzerine iki adet rulman ve bir adet burç kullanılarak bir yataklama yapıldığı görülmektedir. Rulmanların ve burcun konumları bir taraftan mil flanşı diğer taraftan ise emniyet segmanı ile güvenceye alınmıştır. Bu sistem için bir tolerans analizi gerçekleştirilmiş ve iki farklı yöntemle mil için uygun tolerans değerleri analiz edilmiştir.



Şekil 1. Montaj sistemi

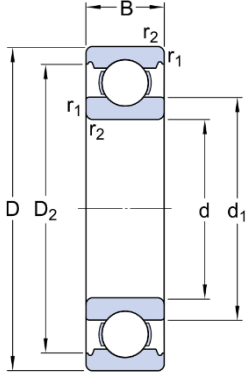
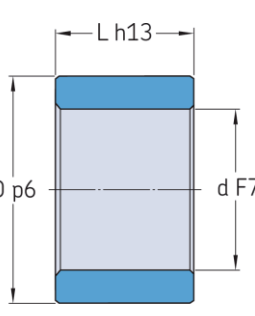
Rulman ve burç standart makine elemanları olduklarından dolayı bu konstrüksiyonda mil ölçülerine tolerans verilmesi gerekmektedir. Öncelikle kullanılan elemanların çalışma ve montaj şekillerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Şekil 2’de bu konstrüksiyonda kullanılan standart elemanlar, montaj sırası ve yataklamanın yapılacağı mil görülmektedir. İlk etapta mil flanşı ile emniyet segmanı arasındaki boşluğun Rulman 1, Burç ve Rulman 2 isimli elemanlarının boyutsal toplamı kadar olması gerektiği düşünülebilir. Kullanılacak standart elemanlardan rulmanların genişliği 12 mm, burcun genişliği ise 20 mm’dir (Şekil 2). Bu nedenle milin flanş kısmı ile emniyet segmanı arasındaki bulunan boşluğun nominal ölçüsünün 44 mm olması gerekmektedir. Bununla birlikte hiçbir makine parçası istenilen tam ölçü ile üretilmesi mümkün olmadığından dolayı standart elemanlarının her birinin boyutsal ölçülerinin de toleransları mutlaka değerlendirilmelidir. Rulmanlar ve Burç için tolerans kavramı düşünüldüğünde ilk akla gelen alıştırma toleranslarıdır. Ayrıca bu standart makine elemanlarının genişlik ölçülerinin de tolerans değerleri önemlidir. Tüm üretim ve montaj işlemlerinde belirlenmiş tolerans değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle mile tolerans verilmesine öncelikle standart elemanlarının toleransları araştırılarak başlanılmıştır.



Şekil 2. Parçaların ölçüleri ve montaj sırası

Rulmanlar birçok farklı sınıfta üretilmekte ve her sınıfın kendine özel bir toleransı bulunmaktadır. Bu çalışmada ise en yaygın kullanıma sahip DIN 625 (TS 6269) standardında 6004 serisi standart (normal sınıf) rulman tercih edilmiştir. Bu rulmana ait boyutsal tolerans değerleri ISO 492 standartta göz önünde bulundurularak alınmıştır. Kullanılan Burç ise 20 mm iç çap ölçüsünde ISO 2795 standardına uygun sinterlenmiş bronz Burç (PSM 202520 A51) kullanılmıştır. Üretici firmalardan alınan katalog bilgilerine göre rulman ve burç için genişlik toleransları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Standart makine elemanların nominal ölçüleri

Rulman [13]		Burç [14]			
	<b>d (mm)</b>	20 mm		<b>d (mm)</b>	20
	<b>D (mm)</b>	42 mm		<b>D (mm)</b>	25
	<b>B (mm)</b>	12 mm		<b>B (mm)</b>	20
	<b>d<sub>1</sub> (mm)</b>	≈ 27,2 mm		<b>Tolerans L</b>	Üst sapma 0
	<b>r<sub>1,2</sub> (mm)</b>	min. 0,6 mm		<b>h13 (µm)</b>	Alt sapma -330
	<b>Tolerans B (µm)</b>	Üst sapma 0 Alt sapma -120			

Tablo 1’de verilen ölçüler mil flanşı ile segman arasındaki genişliği belirlemektedir. Bu nedenle standart elemanların alt ve üst sapma değerlerine göz önünde bulundurularak limit değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

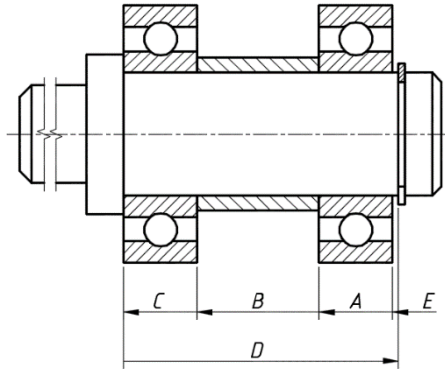
**Tablo 2.** Standart elemanların limit ölçüleri

Standart eleman	Tolerans değeri (µm)		Ölçü Değerleri (mm)	
	- (Negatif)	+ (Pozitif)	Minimum	Maksimum
<b>Rulman 1</b>	- 120	+ 0	11,880	12,000
<b>Burç</b>	- 330	+ 0	19,670	20,000
<b>Rulman 2</b>	- 120	+ 0	11,880	12,000

Montajın gerçekleştirilebilmesi için emniyet segmanı ile rulman arasında sınırlı bir boşluk bulunmalıdır. Bu amaçla minimum boşluk değeri 0 mm olarak belirlenirken, maksimum boşluk değeri talaşlı imalat yolu ile kolayca elde edilebilecek bir değer olan 0,6 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan montaj işleminin gerçekleştirilmesini garanti altına almak için ve belirlenen bu boşluk aralığının (0 mm- 0,6 mm) elde edilebilmesi için en kötü durum senaryosu ve Monte Carlo simülasyonu metotları kullanılmıştır.

### B. En Kötü Durum Senaryosu

Montajda bulunan standart elemanların montaja uygun şekilde mile yerleştirilebilmesi amacıyla tolerans yığılması yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla tolerans yığılması hesaplamalarında sıklıkla kullanılan [5, 9] en kötü durum senaryosu ve kapalı zincir hesaplama (Loop diagram) yöntemi tercih edilmiştir [2]. Bu yöntem her koşulda montajı garanti ettiği ve kolay hesaplanabilir yapısı nedeniyle tercih edilmiştir. Bu yaklaşımda montajı oluşturan elemanlar kapalı bir zincir oluşacak şekilde yerleştirilerek (Şekil 3) gerekli hesaplamalar yapılmaktadır.



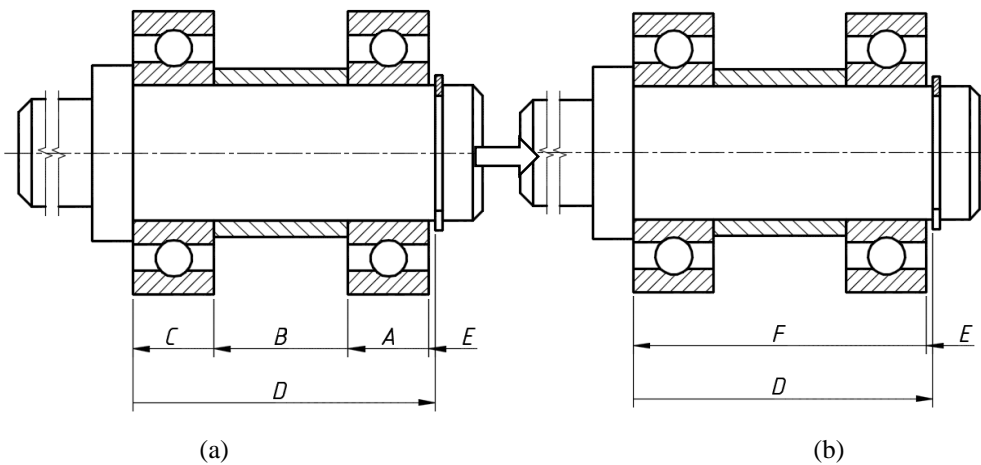
Şekil 3. Kapalı Zincir metodu (Loop Diagram) ile tolerans kontrolü

Rulman ile emniyet segmanı arasındaki boşluk mesafesinin en az 0 mm en çok 0,6 mm olması istenmiş ve belirlenen bu boşluk miktarına göre mil için gerekli olan Şekil 3'te görülen "D" ölçüsü araştırılmıştır. Zincir hesaplama yönteminde makine parçalarının toleranslar değerleri nominal ölçüye göre eşit dağıtılmaktadır. Böylelikle hesaplama kolaylığı elde edilmektedir. Örneğin rulman ölçüsü 12,000 mm (+0,-0,120 mm) olduğundan 11,880 mm ile 12,000 mm arası boyutlandırılması gerekmektedir. Hesaplama kolaylığı için rulman genişliğinin aritmetik ortalaması alınarak (11,940 mm) tolerans değeri  $\pm 0,060$  mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Toleransların simetrik hale getirilmesi

Parça	Kod	Minimum ölçü (mm)	Maksimum ölçü (mm)	Ortalama ölçü (mm)	Tolerans (mm)
Rulman	A	11,880	12,000	11,940	0,06
Burç	B	19,670	20,000	19,835	0,165
Rulman	C	11,880	12,000	11,940	0,06
Mil	D	?	?	?	?
Boşluk	E	0	0,600	0,300	0,300

Tablo 3'te verilen değerler referans alınarak mil için tolerans hesaplamaları yapılabilir. Bununla birlikte yapının daha kolay analiz edilebilmesi için birbiri arasında boşluk olmayan elemanlar gruplandırılmıştır. Gerçekleştirilen gruplandırma Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Parçaların gruplandırılması

Sistem boyulandırması yapılırken işlem kolaylığı amacıyla Şekil 4a'da gösterilen birinci rulman (A), burç (B) ve ikinci rulman (C) bir grup haline getirilmiştir. Böylelikle Şekil 3b'de görülen üç nesneli bir yapı elde

edilmiştir. Bu gruba ait ölçüler ve toleranslar her üç elemanın boyutsal anma ölçüleri ve toleransları toplanarak bulunmuş ve Tablo 4’de sunulmuştur.

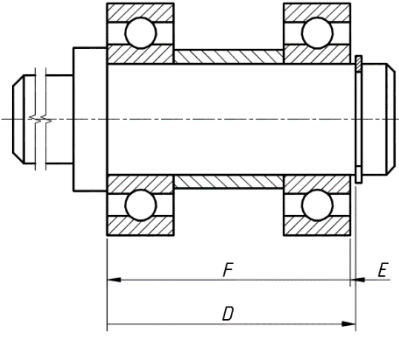
**Tablo 4.** Oluşturulan gruba ait değerler

Parça	Kod	Minimum ölçü (mm)	Maksimum ölçü (mm)	Ortalama ölçü (mm)	Tolerans (mm)
Grup	F	43,430	44,000	43,715	0,285
Mil	D	?	?	?	?
Boşluk	E	0	0,600	0,300	0,300

Gruplandırma işleminden sonra tolerans yığılması işlemi için ilk olarak zincir metodunun ilerleyeceği pozitif yön seçilmiştir. Pozitif yön soldan sağa olarak belirlenmiş (- yön  $\leftarrow$   $\rightarrow$  + yön) ve bu durumda mil ölçüsünün değeri araştırılmıştır. En kötü durum senaryosu her koşulda montajı garanti altına almaktadır. Montajı oluşturan tüm parçaların maksimum ölçüleri toplandığında 44,000 mm değeri bulunmaktadır (Tablo 4). Bu durumda en kötü durum senaryosuna göre mil için belirlenebilecek ölçü değerinin en az 44,000 olması gerekmektedir. Bu değer istenen boşluğu üretecek şekilde tolerans verildiğinde mil boyutu 44,000 mm-44,030 mm değerleri arasında olması gerektiği görülmektedir. Tolerans hesaplamalarında kullanılan eşit tolerans dağıtımı yapıldıktan sonra mil için  $44,015 \pm 0,015$  mm ölçüsü tespit edilmiştir. Bu hesaplama farklı yoldan da yapılabilir. Grubun tolerans değeri 0,285 mm olduğundan toplam tolerans değerini 0,300 mm ölçüsüne çıkartacak olan 0,015 mm değeri benimsenebilir. Bu işlemin teyidi amacı ile tolerans yığılması değerleri ve bu değerlerin kontrolü Tablo 5’te görülmektedir.

**Tablo 5.** Boşluk değerinin tespiti

Parça	Tanım	+ Yön (mm)	- Yön (mm)	Tolerans ( $\mu$ m)
Mil	D	44,015		$\pm 15$
Boşluk	E		?	?
Grup	F		43,715	$\pm 285$
Toplam		44,215	43,715	+300



$$\text{Nominal Ölçü} = E = \text{Pozitif ölçüler} - \text{Negatif Ölçüler} \quad (1)$$

$$\text{Nominal Ölçü} = E = 44,015 - 43,715 = 0,300 \quad (2)$$

$$\text{Tolerans} = 300 \mu\text{m} (0,3 \text{ mm}) \rightarrow \text{Ölçü} = 0,300 \pm 0,300 \text{ mm} \text{ olmaktadır.} \quad (3)$$

$$\text{Bu durumda Minimum boşluk} = 0,0 \text{ mm Maksimum boşluk} = 0,6 \text{ mm} \text{ olarak hesaplanabilir.} \quad (4)$$

Tablo 5 ve Eşitlik 1-4’teki hesaplamalardan anlaşılacağı gibi her durumda montajı sağlayan ve en fazla 0,6 mm boşluk kalması durumunu içeren en kötü durum senaryosu altında gerekli olan ölçüler 44,000 mm ile 44,030 mm aralığındadır. Bu ölçüye tolerans verildiğinde ise mil ölçüsü  $44,015 \pm 0,015$  mm olarak hesaplanmıştır.

İmalat işlemlerinde toleransların daralması maliyet artışına neden olmaktadır. Bu nedenle istenen şartlara uygun olan en geniş tolerans aralığının tercih edilmesi gereklidir. En kötü durum senaryosunda parçanın imalatı için oldukça dar bir tolerans aralığının belirlendiği ve bunun sonucunda mil maliyetinin de büyük oranda arttıracağı anlaşılmaktadır.

Bir ürünün üretilmesinde tasarımcılar tarafından tolerans verilmediği durumlarda da genel bir tolerans aralığı (ISO 2768) belirlenmektedir. Bu durum yapım resimlerinde mutlaka belirtilmelidir. ISO 2768 standardında artan tolerans aralıkları ile f, m, c ve v olmak üzere 4 tolerans sınıfı belirtilmiştir (Tablo 6).



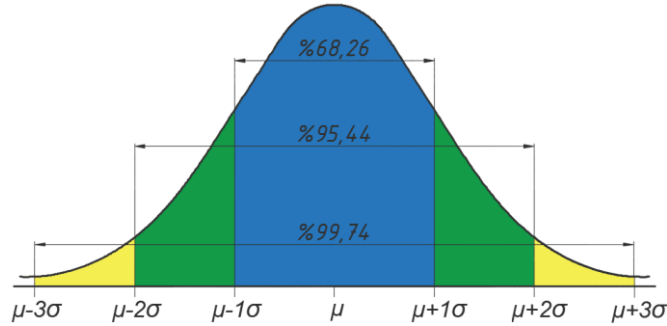
**Tablo 6.** ISO 2768 ölçü toleransları

Tolerans sınıfı		Müsaade edilen sapma miktarları (mm)				
		0,5-3 mm arası	3-6 mm arası	6-30 mm arası	30-120 mm arası	120-400 mm arası
<b>f</b>	<b>İnce (fine)</b>	±0,05	0,05	±0,1	±0,15	±0,2
<b>m</b>	<b>Orta (medium)</b>	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5
<b>c</b>	<b>Kaba (coarse)</b>	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2
<b>v</b>	<b>Çok kaba (very coarse)</b>	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5

ISO 2768 genel olarak parçalara verilen tolerans değerlerinden daha büyük aralıklara sahip olduğundan ürün imalatı için ISO 2768 tercih edilen bir tolerans alanı oluşturmaktadır. Bununla birlikte en kötü durum senaryosuna bağlı olarak gerçekleştirilen bu analiz sonucunda elde edilen  $44,015 \pm 0,015$  mm değeri en dar sınıf olan ISO 2768f sınıfına bile girememektedir ve çok dar bir tolerans sınıfı oluşturmaktadır. Bu durumda büyük maliyetlere katlanılması ya da tolerans aralığının genişletilmesi gerekmektedir.

### C. Monte Carlo Simülasyonu

En kötü durum senaryosunda elde edilen tolerans aralığının darlığı büyük maliyet kayıplarına neden olmaktadır. Bunun için hem istenen fonksiyonu gerçekleştirebilen hem de daha geniş tolerans değer aralıklarını oluşturabilecek bir yöntem arayışına gidilmiştir. Monte Carlo Simülasyonu istatistik temelli bir analizdir [2]. Özellikle seri üretim uygulamalarında istatistiki yaklaşımlar etkin olarak kullanılabilir. Monte Carlo simülasyonu her durumda montajı garanti etmez fakat belirli bir ret oranı ile kabul oranının analizde etkin olarak kullanılabilir. Bu analizde istatistiki açıdan birçok farklı dağılım türünü uygun olaylara uygulanabilir. Şekil 5'te bir normal dağılım grafiği verilmiştir. Şekil 5'teki Normal dağılım grafiği incelendiğinde, olayların ortalaması olan mod değeri ve medyan değerinin birbirine eşit olduğunu ve eğrinin aritmetik ortalamaya göre simetrik olduğunu gösteren bir dağılım türüdür. Talaşlı imalat üzerine yapılan incelemelerde normal dağılım görülmektedir. Normal dağılım matematiksel olarak Eşitlik 1'de görüldüğü gibi ifade edilmektedir.



**Şekil 5.** Normal dağılım

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{(2\sigma)^2}} \quad (5)$$

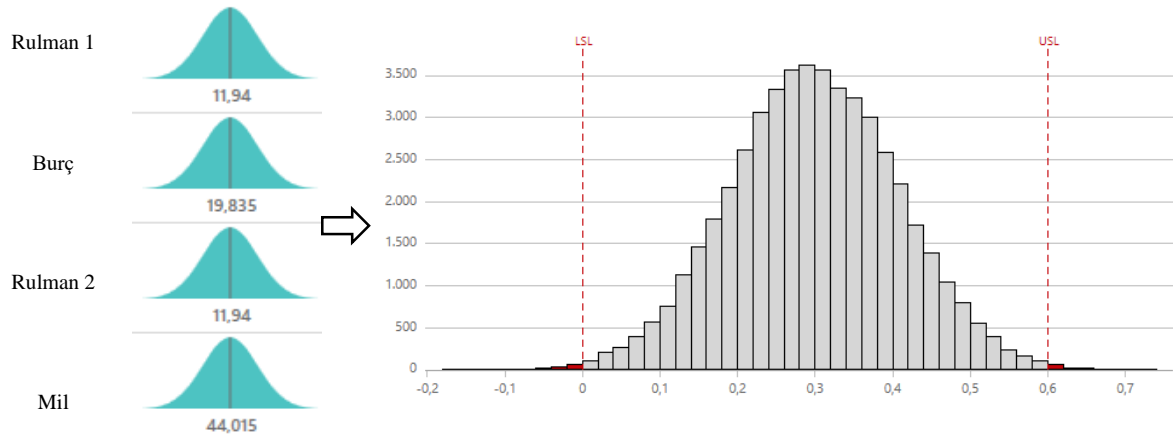
Bu formülde  $\sigma$  standart sapmayı,  $\mu$  ise aritmetik ortalamayı göstermektedir.

Monte Carlo simülasyonu olasılık teorisine bağlı olarak olasılık kümesinden rastgele sayılar seçme tekniğidir. Birçok problem türünde etkin olarak kullanılabilir bir metottur. Bu metodun uygulanmasında Minitab Workspace yazılımı kullanılmıştır. Monte Carlo simülasyonu ile daha geniş bir tolerans aralığı belirlenerek ve belirli bir hata oranı kabul edilerek bu geniş toleransı sağlayan olasılıklar değerlendirilmiştir. Bu amaçla tüm ölçülerin standart dağılım gösterdiği kabul edilmiş, %99,7 güven aralığı ile tolerans değerleri 6 ya bölünerek  $\sigma$  (standart sapma) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.**  $\sigma$  (Standart sapma) değerlerinin hesaplanması

Parça	Tanım	Ortalama Ölçü (mm)	Tolerans değeri (mm)	$\sigma$ Değeri
Rulman 1	A	11,940	0,120	0,020
Burç	B	19,835	0,330	0,055
Rulman 2	C	11,940	0,120	0,020
Mil	D	44,015	0,030	0,005
Boşluk	E	0,300	0,600	0,100

Standart makine elemanları için hesaplanan  $\sigma$  değerleri kullanılmıştır. Bununla birlikte mil için daha geniş bir tolerans oluşturacak şekilde standart  $\sigma$  değeri yerine kullanılacak  $\sigma$  değeri 0,09 mm olarak tercih edilmiştir. Hesaplama için 50.000 tekrar sayısı kullanılmış ve 50.000 tekrar sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 6'daki dağılım grafiği ile değerlendirilmiştir.



**Şekil 6.** Rasgele örneklerin dağılımı

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde, tüm montaj ihtimalleri için ret (hata) oranı %0,55 (Cpk:0,9301) olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle geniş bir tolerans aralığı belirlenmesi durumunda %0,55 oranında bir hata ile karşılaşılacaktır. Bu durumda %0,55 ret oranı hata karşılığında standart sapma değeri artarak  $\sigma = 0,09$  mm ve Tolerans değeri 0,54 mm olacaktır. Bu durumda, mil için nominal ölçünün tolerans değeri 44,015  $\pm$ 0,27 mm belirlenmiş böylelikle de mile ait üst ve alt limit değerleri sırası ile 43,745 mm ve 44,285 mm olarak tespit edilmiştir. Bu değerler en kötü durum senaryosu ile karşılaştırıldığında çok daha geniş tolerans aralığı ile çalışmak mümkün hale gelecek ve üretim maliyeti çok aşağı çekilebilecektir. Böylelikle 30 mm-120 mm arası ISO 2768m standarttı değeri olan  $\pm$ 0,2 mm çok rahat bir şekilde kullanılabilir.

### III. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada endüstriyel anlamda büyük öneme sahip olan toleranslandırma konusu araştırılmıştır. Bu amaçla bir mil ve dört adet standart makine parçasından oluşan bir montaj sistemi analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde standart elemanların tolerans değerleri değiştirilemeyeceği için mile tolerans verilmesi en kötü durum senaryosu ve Monte Carlo Simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- En kötü durum senaryosuna göre mil sistemi analiz edildiğinde, montajı sağlayacak en yüksek tolerans değeri  $\pm 0,015$  mm olarak elde edilmiştir.
- Monte Carlo simülasyonu ile yapılan analiz sonucunda %0,55 ret oranı kabul edilerek, oldukça yüksek bir tolerans değeri olan 0,27 mm değeri belirlenmiştir. Böylelikle standart üretim sistemleri ISO 2768m sınıfına uygun ve üretimi kolaylıkla sağlanabilen bir tolerans sınıfı elde edilmiştir.

- Her iki yöntem karşılaştırıldığında Monte Carlo yöntemi ile çok geniş tolerans aralıklarına ulaşılabileceği anlaşılmıştır. Böylelikle aynı montaj sisteminde ciddi maliyet kazancı elde edilmesi sağlanmıştır.

Sonraki çalışmalarda tolerans aralıklarının geliştirmesi amacıyla farklı yöntemlerin kullanımı incelenebilir. Ayrıca yaylanma özelliğine sahip standart elemanlarla (wave spring) tolerans aralıkları genişletilmesi araştırılabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Groover, M. P. (2020). Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. John Wiley & Sons, New York, 816.
- [2] Fischer, B. R. (2011). Mechanical tolerance stackup and analysis. CRC Press, USA, 508.
- [3] Toroslu, A. G. & Börklü, H. R. (2009). Gerçekleştirilebilir Toleransların Genetik Algoritma Metodu İle Belirlenmesi. TÜBAV Bilim Dergisi, 2(2), 185-198.
- [4] Gültekin, A. & Börklü, H. R. (2001). Tolerans Analiz Yaklaşımları–I: Genel Metodlar, Tolerans Diyagramı ve Graf Teori. Politeknik Dergisi, 4(4), 11-24.
- [5] Dantan, J. Y. & Qureshi, A. J. (2009). Worst-case and statistical tolerance analysis based on quantified constraint satisfaction problems and Monte Carlo simulation. Computer-Aided Design, 41(1), 1-12.
- [6] Drake Jr, P. (1999). Dimensioning and tolerancing handbook. McGraw-Hill Education.
- [7] Bayram, U. & Acar, E. (2015). Tolerance analysis with multiple surrogate models. Acta Phys. Polonica A, 128(2), 447-449.
- [8] Saivaew, N. & Butdee, S. (2020). Decision making for effective assembly machined parts selection using fuzzy AHP and fuzzy logic. Materials Today: Proceedings, 26, 2265-2271.
- [9] Samtaş, G. & Gülesin, M. (2006). Tolerans Analizinde Yeni Bir Yaklaşım. Politeknik Dergisi, 9(2), 105-112.
- [10] Chen, H., Jin, S., Li, Z. & Lai, X. (2014). A comprehensive study of three dimensional tolerance analysis methods. Computer-Aided Design, 53, 1-13.
- [11] Hallmann, M., Schleich, B. & Wartzack, S. (2020). How to consider Over-constrained Assemblies with Gaps in Tolerance-Cost Optimization?. Procedia CIRP, 92, 88-93.
- [12] Kondić, Ž., Tunjić, Đ. & Maglić, L. (2020). Tolerance Analysis of Mechanical Parts. Tehnički glasnik, 14(3), 265-272.
- [13] SKF Group (2021). Deep groove ball bearings. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
- [14] SKF Group (2021). Bushings. <https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/bushings>.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# İşbirlikçi Filtreleme Algoritmalarının Çok-Beğenilen Ürünlere Yönelik Yanlılığı

## Collaborative Filtering Algorithms' Bias Towards Highly-liked Items

Emre Yalçın<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 22/02/2021*

*Revize / Revised: 20/03/2021*

*Kabul / Accepted: 26/03/2021*

### ÖZ

Öneri sistemleri, bireysel kullanıcılara herhangi bir kişisel çaba gerektirmeden geçmişteki tercihlerine ve özelliklerine göre uygun ürünleri/hizmetleri öneren otomatikleştirilmiş araçlardır. Bu sistemlerde, işbirlikçi filtreleme algoritmaları, ürünler için bireysel tahminler veya kullanıcılar için tercih edilir ürünlerin sıralı bir listesini üretmek için en çok kullanılan yaklaşımlardır. Bu tür algoritmaların verimliliği genellikle sağlanan önerilerin doğruluğu ile değerlendirilse de, ürün kataloğu kapsamı gibi doğruluk-üstü değerlendirmeler de nitelikli önerilerde kritik faktörler olarak kabul edilir. Ancak, son zamanlarda yapılan birçok çalışma, bu algoritmaların, belirli özellikleri (örn. popülerlik) nedeniyle bazı ürünleri üretilen sıralı listelerde diğerlerinden daha çok öne çıkarma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, ürün profillerini farklı bir bakış açısıyla, beğenilme dereceleriyle irdeliyor ve işbirlikçi filtreleme algoritmalarının çok beğenilen ürünlere yönelik bir yanlılığının olup olmadığını araştırıyoruz. Bu amaçla, üç farklı kategoriden dokuz önemli işbirlikçi filtreleme algoritmasını kullanıyoruz ve iki gerçek-dünya veri kümesi üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştiriyoruz. Deneysel sonuçlar, hemen hemen tüm algoritmaların çok beğenilen ürünlere yönelik güçlü bir yanlılığının olduğunu ve SVD ile SVD++ gibi matris çarpanlarına ayırma tabanlı algoritmaların yüksek kalitede öneriler üretmede diğerlerinden daha başarılı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Öneri Sistemleri, İşbirlikçi Filtreleme, Algoritmik Yanlılık, Ürün Profili, Katalog Kapsamı*

### ABSTRACT

Recommender systems are automated tools that suggest appropriate products/services to individual users based on their preferences in the past and characteristics without requiring any personal effort. In these systems, collaborative filtering algorithms are the most utilized approaches to produce individual predictions or a ranked list of preferable items for users. Although such algorithms' efficiency is generally assessed with the accuracy of provided recommendations, beyond-accuracy evaluations such as item catalog coverage are also considered critical factors in qualified recommendations. However, many recent studies demonstrate that these algorithms tend to feature certain items than others in the produced ranked lists because of their specific properties (e.g., popularity). In this study, we scrutinize item profiles with a different point of view, the degrees of being liked, and investigate whether there is any bias of collaborative filtering algorithms towards highly-liked items or not. To this end, we adopt nine prominent collaborative filtering algorithms in three different categories and perform various experiments on two real-world datasets. The experimental results demonstrate that almost all algorithms

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [evalcin@cumhuriyet.edu.tr](mailto:evalcin@cumhuriyet.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-3818-6712>)  
*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sivas, Türkiye*

are strongly biased towards highly-liked items, and matrix factorization based algorithms such as SVD and SVD++ are more successful than others in producing high-quality recommendations.

**Keywords- Recommender Systems, Collaborative Filtering, Algorithmic Bias, Item Profile, Catalog Coverage**

## I. GİRİŞ

Günümüzde, hızla artan İnternet kullanımına bağlı olarak, bireylerin alışveriş yapmak, film izlemek, müzik dinlemek, haber takip etmek, konaklama rezervasyonu yapmak gibi çeşitli günlük aktiviteyi gerçekleştirebilecekleri birçok faydalı çevrimiçi sistem geliştirilmiştir. İnternet gelişimine paralel şekilde sürekli geliştirilen ve çeşitlendirilen bu sistemler kullanıcılarına çeşitli kolaylıklar sağlasa da bazı zorlukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu zorluklardan en önemlisi, hızlı artan İnternet kullanımına bağlı olarak işlenmesi ve depolanması gereken verilerin miktarının dramatik bir şekilde artmasıdır. Veri miktarındaki bu artış, aşırı bilgi yükleme sorunu olarak bilinen soruna neden olarak, bireylerin ihtiyaç duyduğu hizmetlere/ürünlere erişiminin zorlaşmasına ve karar verme süreçlerinin daha karmaşık bir hale gelmesine neden olur [1]. Öneri sistemleri, kullanıcıların İnternet ortamında erişmeye çalıştıkları ilgili ve değerli bilgileri keşfedip onların karar verme süreçlerini destekleyerek aşırı bilgi yükleme sorununun üstesinden gelinmesine yardımcı olan yazılım araçlarıdır [2]. Bu sistemler, günümüzde birçok çevrimiçi sistemde e-ticaret (eBay, Amazon vb.), film (Netflix, Amazon Prime Video vb.), müzik (Spotify, iTunes vb.), video (YouTube, Instagram vb.), haber (Google News vb.) ve konaklama (Booking vb.) gibi farklı amaçlar doğrultusunda etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Geleneksel öneri sistemlerinde temel amaç, kullanıcıların geçmişte çeşitli hizmetler/ürünler için yapmış olduğu tercihlerden yola çıkarak onların ilgisini çekebilecek ancak henüz deneyimlemedikleri hizmetleri/ürünleri kapsayan kişiselleştirilmiş tavsiyeler üretebilmektedir [3]. Bu amaç doğrultusunda birçok çevrimiçi sistem, İşbirlikçi Filtreleme (İF) olarak adlandırılan ve bireysel tavsiye üretme sürecinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayan algoritmaları kullanmaktadır [4]. Bu algoritmalar temel olarak, geçmişte benzer tercihler yapan kullanıcıların gelecekte de benzer tercihler yapma eğiliminde olduğu varsayımına dayanmaktadır ve kullandığı yaklaşımlar temelinde hafıza-tabanlı, model-tabanlı ve bunların birlikte kullanıldığı melez yaklaşımlar olarak üç kategoride değerlendirilmektedir [5]. Tipik bir İF algoritması,  $m$  adet kullanıcının  $n$  adet ürün için sağladığı derecelendirmeleri içeren  $m \times n$  boyutunda, genellikle oldukça büyük ve boşluklu bir yapıda olan *kullanıcı*  $\times$  *ürün* matrisi üzerinde işlem yaparak kullanıcıların henüz deneyimlemedikleri ürünler için tahmin değerleri hesaplamaya veya ilgisini çekebilecek ürünleri içeren sıralı öneri listeleri üretmeye odaklanmaktadır [6].

İF algoritmaları *kullanıcı*  $\times$  *ürün* derecelendirme matrisi üzerinde eğitildikleri için, içerisinde bulunan tercihlerin karakteristik özelliklerinden etkilenerek ürünler açısından adil olmayan önerilerin üretilmesine neden olabilmektedir [7]. Bu durumun temel nedeni, bu matrislerin doğası gereği ürünler arasında eşit olmayan bir şekilde dağılmış kullanıcı tercihlerini içermesidir. Örneğin, bazı popüler ürünler yüksek sayıda kullanıcı tarafından değerlendirilirken, diğer ürünler yalnızca birkaç derecelendirme almaktadır. Derecelendirme dağılımındaki bu tür bir eşitsizlik, İF algoritmalarının ürettiği önerilerde, popüler ürünlerin diğerlerine (uzun-kuyruktaki ürünlere) kıyasla daha fazla öne çıkmasına neden olmaktadır [8-10]. Böylece, popüler olan ürünler üretilen öneri listelerinde daha fazla görünürlük kazanmakta ve bu da ilgili ürünlerin tüketilme oranlarını daha da arttırmaktadır. Öte yandan, uzun-kuyrukta yer alan ürünler, özellikle sisteme yakın zamanda eklenenler, ilgi çekici olsalar bile üretilen önerilerde hak ettikleri ilgiyi görememektedir. Böyle bir yanlılığın farkında olunması, ayrıca, sağlayıcıların kendi ürünlerini öne çıkarmak amacıyla kullanıcılara derecelendirme sağlamaları için çeşitli rüşvetler vermelerine bile neden olabilmektedir [11]. İF algoritmalarının bu tür içsel yanlılıkları literatürde popülerlik-yanlılığı olarak adlandırılan soruna neden olarak “zengin daha zenginleşir” etkisine yol açmaktadır [12].

Her ne kadar İF algoritmalarının başarısı genellikle ürettikleri önerilerin doğruluğu ile analiz edilse de, son birkaç yılda, önerilen ürünlerin yeni olup olmadığı ve ürün kataloğunu iyi kapsayıp kapsamadığı gibi doğruluk-ötesi diğer unsurların, genel öneri kalitesi üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu gösterilmiştir [13]. Dolayısıyla, ürünlerin popülerlikleri dışında, derecelendirme profillerindeki özellikler daha ayrıntılı bir biçimde ele alınarak, öneri sonuçlarında neden olabilecekleri muhtemel ayrımcılıklar üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bazı ürünlerin diğer ürünlere kıyasla kullanıcılar tarafından daha çok beğenildiği gerçeği göz önünde bulundurularak, bu çalışmada, bir ürünün kullanıcılar tarafından aldığı derecelendirmelerin ortalamaları, yani kullanıcılar tarafından beğenilme oranlarının, önerilen sıralı ürün listelerinde bir yanlılığa neden olup olmadığı analiz edilmektedir. Diğer bir deyişle, bu çalışmanın temel motivasyonu, öneri algoritmalarının ürettiği

sıralı ürün listelerinde çok beğenilen ürünler lehinde herhangi bir yanlılığın olup olmadığının araştırılmasıdır. Bu çalışmanın literatüre sağladığı temel katkılar aşağıda özetlenmiştir.

1. Öneri sistemlerinde ortaya çıkan farklı yanlılık türlerinin derin bir analizi sunulmaktadır.
2. Öneri sistemleri çalışmalarında sıklıkla kullanılan film alanındaki iki popüler veri kümesinde ürünlerin beğenilme oranları bağlamında bir eşitsizliğin olup olmadığı keşfedilmektedir.
3. Literatürde öne çıkan dokuz popüler İF algoritması ile üretilen sıralı öneri listelerinde, yüksek beğeniye sahip ürünlere karşı bir yanlılığın olup olmadığı analiz edilmektedir. Ayrıca, bu algoritmaların performansları, çeşitli doğruluk metrikleri ile değerlendirilerek analiz edilmektedir.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Sonraki bölümde, bireysel öneri üretme sürecinde ortaya çıkan yanlılık türleri açıklanarak literatürde öne çıkan çalışmaları özetlenmektedir. Bölüm 3'te bu çalışmanın kapsamını ortaya koyan motivasyon örneği ve çalışmanın yöntemi anlatılmaktadır. Bölüm 4'de ise gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Son olarak Bölüm 5'te elde edilen bulgular tartışılarak gelecekte yapılacak çalışmalar açıklanmıştır.

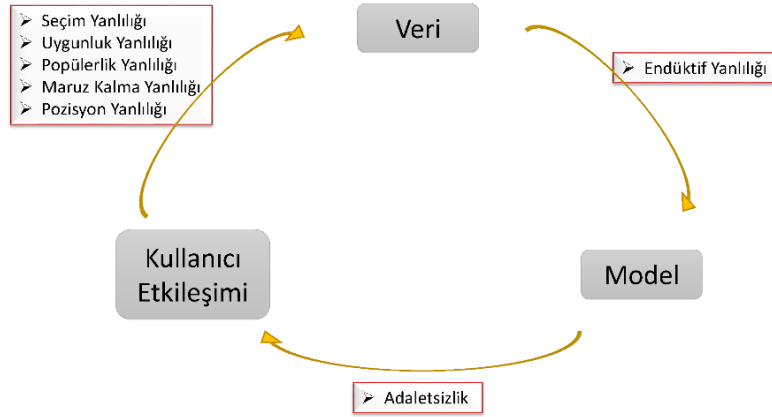
## II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, öneri sürecinde ortaya çıkan yanlılık türlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için iki alt-bölüme ayrılmıştır. İlk alt-bölümde bir öneri mekanizmasının kullanıcılara öneri üretme sürecinde gerçekleştirdiği temel işlem adımlarını içeren geri bildirim döngüsü açıklanmıştır. İkinci alt-bölümde ise, öneri üretme sürecinde ortaya çıkan yanlılıklar ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve literatürde bu yanlılıkları ele alan çalışmalara yer verilmiştir.

### A. Önerilerde Geri Bildirim Döngüsü

Bir öneri sisteminde, kullanıcılar için tavsiyelerin üretilme süreci, üç temel bileşen, *Kullanıcı*, *Veri* ve *Model*, arasında bir geri bildirim döngüsü olarak düşünülebilir [10]. Şekil 1'de gösterildiği gibi, bu geri bildirim döngüsü üç temel aşamadan oluşur:

- *Kullanıcı* → *Veri*: Bu aşama, kullanıcı-ürün etkileşimleri ve diğer yan bilgiler (örneğin, kullanıcı profili ve ürün özellikleri) dâhil olmak üzere kullanıcılardan veri toplama adıımıdır. Kullanıcı ve ürün kümeleri arasında toplanan bu etkileşimler genellikle bir kullanıcı × ürün matrisi aracılığı ile saklanmaktadır. Toplanan veriler genellikle iki kategoride değerlendirilir: kullanıcıların ürünler için doğrudan sağladığı sayısal derecelendirme değerleri (yani, açık geribildirimler) ve kullanıcıların ürünler ile etkileşimlerinden çıkarılan satın alma, tıklama, görüntüleme gibi diğer bilgiler (yani, örtük geribildirimler).
- *Veri* → *Model*: Toplanan verilere dayalı olarak öneri modellerinin öğrenilmesi aşamasıdır. Bu adım, kullanıcı tercihlerini geçmiş etkileşimlerden türetmek ve bir kullanıcının bir hedef ürünü beğenme olasılığını tahmin etme aşamasıdır. Bu amaçla, geçtiğimiz yıllar boyunca birçok araştırma yapılmış ve çeşitli öneri algoritmaları geliştirilmiştir.
- *Model* → *Kullanıcı*: Kullanıcıların bilgi ihtiyacını karşılamak için öneri sonuçlarının onlara döndürülmesi adıımıdır. Bu aşama, kullanıcıların gelecekteki davranışlarını ve kararlarını önemli ölçüde etkilemektedir.



Şekil 1. Farklı aşamalarında çeşitli yanlılıkların meydana geldiği öneri geri bildirim döngüsü

### B. Önerilerde Yanlılık

Öneri sistemleri, çeşitli alanlardaki birçok uygulamada büyük etkiler oluştursa da, üstesinden gelinmesi zor olan ve öneri etkinliğini bozabilecek birçok yanlılık sorunuyla karşı karşıyadır. Son yıllarda, öneri algoritmalarının sebep olduğu bu tür yanlılıkların nedenleri, öneri kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri ve bu etkilerin hafifletilmesi konuları giderek önem kazanmış ve bu alanda yapılan birçok araştırmanın ilgi odağı olmuştur [7]. Şekil 1’de gösterildiği gibi, geri bildirim döngüsünün farklı aşamalarında ortaya çıkabilecek bazı yanlılık türleri tanımlanmıştır. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, bu çalışmanın temel motivasyonu, ürünlere sağlanan derecelendirme değerlerinin ortalaması göz önünde bulundurularak, çok beğenilen ürünlere yönelik bir yanlılığın olup olmadığını araştırılmasıdır. Böyle bir yanlılık esasında derecelendirme verilerinden kaynaklanacağı için, bu bölümde, verideki yanlılık türleri analiz edilerek literatürde öne çıkan çalışmalar özetlenmektedir.

Kullanıcı etkileşimlerinin verileri deneysel olmaktan çok gözlemsel olduğundan, bu verilerde çeşitli eşitsizlikler/yanlılıklar görülmesi olasıdır. Bu yanlılıklar, tipik olarak farklı veri alt gruplarından kaynaklanmaktadır ve öneri modellerinin sistematik bir ırkçılık yapmasına veya niteliksiz öneriler üretmesine neden olurlar [11]. Verideki yanlılıklar genel olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Bunlar, açık geribildirimde *Seçim*, *Uygunluk* ve *Popülerlik* yanlılığı, örtük geribildirimde ise *Maruz Kalma* ve *Pozisyon* yanlılığıdır [10].

*Seçim Yanlılığı*, kullanıcıların hangi ürünleri derecelendireceklerini seçmekte özgür olması nedeniyle, toplanan derecelendirmelerin tüm derecelendirmelerin temsili bir örneği olmadığı için gerçekleşir. [14]’de araştırmacılar, kullanıcı derecelendirmelerini rastgele seçilen bazı ürünler açısından ele alarak kullanıcı-tabanlı bir inceleme yapmışlar ve iki temel bulguya ulaşmışlardır: (i) kullanıcılar beğendikleri ürünleri seçme ve derecelendirme eğilimindedir ve (ii) kullanıcıların özellikle kötü veya iyi ürünleri derecelendirme olasılığı daha yüksektir. Bu sonuç, gözlemlenen derecelendirme verilerinin dağılımının tüm derecelendirmelerin dağılımından farklı olduğunu göstermiştir [15, 16]. Ayrıca, bu sorunun öneri kalitesi üzerindeki etkisini hafifletmek amacıyla, son yıllarda eğilim puanı [17], veri isnat etme [18, 19] ve yarı öğrenme [20] gibi yöntemler geliştirilmiştir.

*Uygunluk Yanlılığı*, bir gruptaki kullanıcıların kendi yargılarına aykırı olsa bile gruptaki diğer bireylere benzer şekilde derecelendirme eğilimi içerisinde olması olarak tanımlanır. Bu durum, toplanan derecelendirme değerlerinin her zaman kullanıcının gerçek tercihini yansıtmamasına neden olur. Örneğin, bir ürünle ilgili kamuya açık yorumların yüksek derecelendirmesinden etkilenen bir kullanıcının, muhalif olmaktan kaçınarak düşük derecelendirmesini değiştirme olasılığı yüksektir [21, 22]. Bu tür bir uygunluk olgusu yaygındır ve kullanıcı derecelendirmelerinde yanlılığa sebep olur. [23]’de araştırmacılar, kullanıcıların derecelendirme dağılımlarının kamuoyunun görüşüne maruz kalmadan önceki ve sonraki hallerinde önemli ölçüde farklılık olduğunu göstermiştir. Ayrıca, uygunluk yanlılığı, sosyal faktörlerden dolayı kullanıcıların arkadaşlarıyla benzer şekilde davranma eğiliminde olduğu durumlarda da sıklıkla ortaya çıkabilmektedir [24, 25]. Bu sorun genellikle kullanıcıların derecelendirme değerlerini, kullanıcı tercihi ve sosyal etkilerin sentetik sonuçları göz önünde bulundurularak ele alınması ile giderilmektedir [25, 26].

*Popülerlik Yanlılığı*, mevcut ürünlerin küçük bir kısmının hak etmeseler bile diğer birçok ürüne kıyasla gerektiğinden fazla derecelendirmeye sahip olmasıdır. Uzun-kuyruk fenomeni olarak da bilinen bu sorun, öneri sistemleri literatüründe en yaygın bilinen yanlılık türüdür [9, 27]. Esasında, toplanan derecelendirme verisinden kaynaklanan bu eşitsizlik durumu, modelin eğitimi sırasında popüler ürünlere popüler olmayanlara kıyasla ideal değerlerinden daha yüksek derecelendirmeler üretilmesine yol açar ve daha çok tüketilmesine neden olur [8]. Bu durumun öneri kalitesi üzerindeki etkileri genellikle kullanıcı verilerinin değiştirilmesi [28], model adımında kullanılan algoritmanın modifiye edilmesi [12] ve üretilen öneri listelerinin yeniden sıralanması [27] gibi yöntemler kullanılarak giderilmiştir.

Kullanıcıların satın alma, görüntüleme ve tıklama gibi doğal davranışlarını yansıtan geri bildirimler açıkça bildirilen derecelendirmelere ek olarak öneri üretme sürecinde yaygın olarak kullanılır. Sayısal derecelendirmeler sunan açık geribildirimlerden farklı olarak örtük geribildirimler kullanıcıların tercihleri bağlamında kısmi bir bilgi sunar; bu nedenle, *Maruz Kalma* ve *Konum* gibi yanlılıklar bu tür tek-sınıf verilerden kaynaklanmaktadır. *Maruz Kalma Yanlılığı*, kullanıcıların yalnızca belirli ürünlerin bir kısmına maruz kalması nedeniyle oluşur, dolayısıyla gözlemlenmeyen etkileşimler her zaman olumsuz bir tercih olduğu manasına gelmez. Bir kullanıcı ile bir ürün arasındaki gözlemlenmemiş bir etkileşim, iki olası nedene bağlanabilir: (i) ürün, kullanıcının ilgisiyle eşleşmemektedir ve (ii) kullanıcı, ürünün farkında değildir [29]. Bu nedenle, gözlemlenmemiş etkileşimlerin yorumlanmasında belirsizlik ortaya çıkar. Gerçek olumsuz etkileşimleri (örneğin, maruz kalan ancak ilgisiz) potansiyel olarak olumlu olanlardan (örneğin, maruz kalmayan) ayırt edememek ciddi yanlılıklara neden olmaktadır. Son olarak *Pozisyon Yanlılığı*, kullanıcıların gerçek alakalı düzeyine bakmaksızın öneri listesinin daha üst konumunda bulunan ürünlerle etkileşim kurma eğilimi olduğunda gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, kullanıcıların etkileşim sağladığı ürünler onların gerçekten ilgisini çeken ürünler olmayabilir [30, 31].

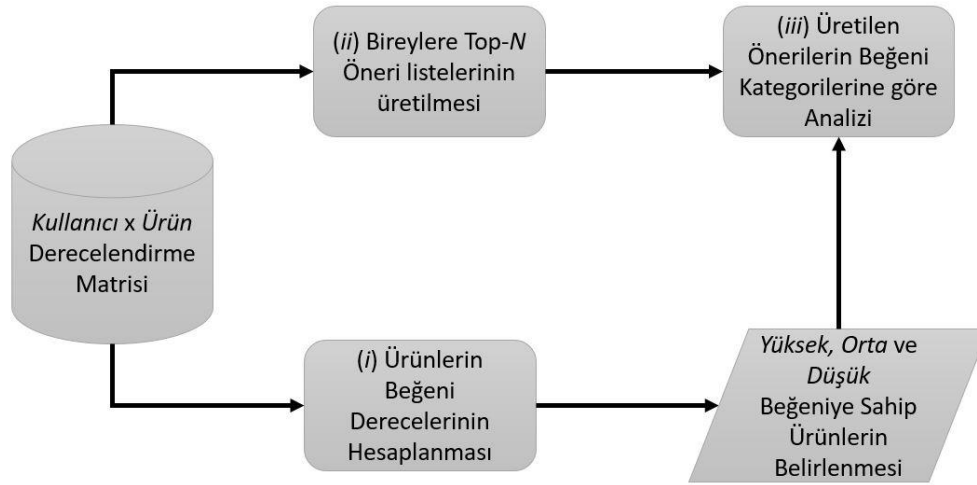
Bu bölümde sunulan literatür özeti göz önünde bulundurulduğunda, veri toplama aşamasında ortaya çıkabilecek ve öneri kalitesini doğrudan etkileyebilecek yanlılık türleri son yıllarda yapılan birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Açık geribildirim olarak toplanan derecelendirmelerin farklı birçok karakteristik özelliği olduğu düşünüldüğünde, ürünlerin beğenilme oranlarındaki dağılımında da popülerlikleri gibi eşit olmayacağı öngörülebilir. Dolayısıyla, ürünlere sağlanan derecelendirmelerin bu tür özellikleri analiz edilerek, derecelendirme verileri üzerinde eğitilen algoritmalar tarafından üretilen önerilerde bir yanlılığa neden olup olmadığı hususunda daha kapsamlı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

### III. MOTİVASYON ÖRNEĞİ VE YÖNTEM

Öneri algoritmaları, daha önce Giriş Bölümü'nde belirtildiği gibi kullanıcıların ürünler için sağladığı derecelendirmeleri içeren derecelendirme matrisi üzerinde eğitilerek kullanıcılar için tavsiyeler üretirler. Derecelendirmelerin dağılımlarındaki bazı karakteristik özellikler bu algoritmaların performansını etkileyerek öneri çıktılarında adil olmayan sonuçların oluşmasına neden olabilirler. Bu durumun literatürde en yaygın örneği, bazı ürünlerin diğerlerinden daha popüler olması (kullanıcılar tarafından daha çok derecelendirilmesi) ve üretilen önerilerde bu ürünlerin lehine bir yanlılığın oluşmasıdır. Ürünlerin kullanıcılar tarafından farklı oranlarda beğenileceği gerçeğine dayanarak bu çalışmada ürünlere sağlanan derecelendirmeler farklı bir bakış açısıyla ele alınmış ve beğenilme oranları açısından bir eşitsizliğin olup olmadığı araştırılmıştır. Bununla birlikte, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile beğeni derecesinin üretilen önerilerde bir yanlılığa sebep olup olmadığı kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.

Bu amaçla kullanılan yöntemin işlem adımları Şekil 2'de gösterilmektedir. İlk olarak, (i) işlem adımında, ürünler, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanan stratejiye dayanarak yüksek, orta ve düşük beğeniye sahip ürünler olmak üzere üç farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu işlem adımında ayrıca literatürde popüler olarak kullanılan ve ayrıntılı bilgileri IV. Bölüm'de sunulan iki farklı veri kümesinde beğeni kategorilerine göre ürünlerin dağılımları analiz edilmiştir. Ardından, (ii) işlem adımında IV. Bölüm'ün başında ayrıntılı olarak açıklanan öneri algoritmaları yardımıyla kullanıcılar için Top-N sıralı ürün listeleri üretilmiştir. Son olarak, (iii) işlem adımında, üretilen önerilerdeki ürünlerin, beğeni kategorilerine göre kapsamlı bir analizi gerçekleştirilerek beğeni derecesinin neden olabileceği potansiyel yanlılık sorunları gözlemlenmiştir.





Şekil 2. Kullanılan yöntemin blok şeması

Bir öneri sisteminde kullanıcı kümesinin  $\{K = k_1, k_2, \dots, k_m\}$  ile, ürün kümesinin  $\{I = i_1, i_2, \dots, i_n\}$  ile temsil edildiği durumda, tipik bir kullanıcı  $\times$  ürün matrisi, kullanıcıların ürünler için yapmış oldukları derecelendirmeleri  $d_{ki} \{k \in K, i \in I\}$  içermektedir. Bir  $i$  ürünün kullanıcılar tarafından beğenilme oranı  $b_i$  ise, Denklem 1’de gösterildiği gibi aldığı derecelendirme değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanabilir.

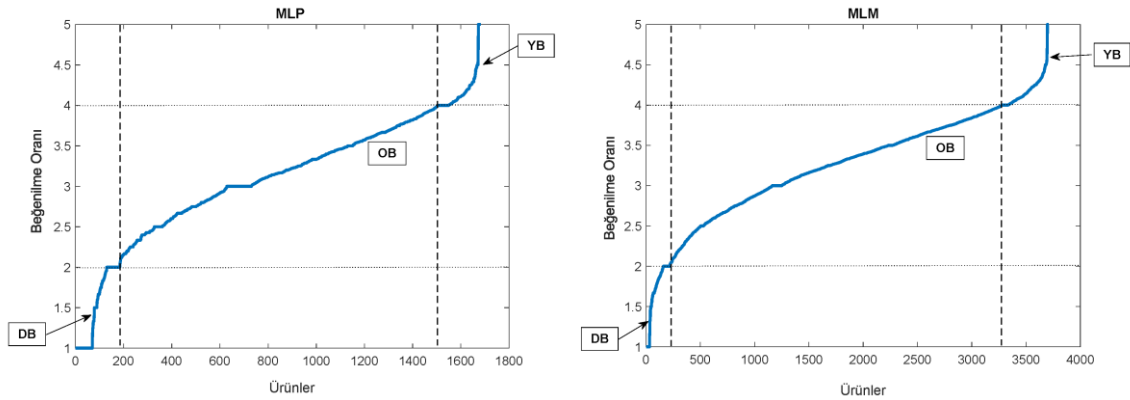
$$b_i = \frac{\sum_{k \in K'} d_{ki}}{|K'|} \quad (1)$$

Burada,  $K'$ ,  $i$  ürünü için derecelendirme sağlayan kullanıcıların alt kümesini,  $|K'|$  ise bu alt kümede bulunan kullanıcı sayısını ifade etmektedir.

Bununla birlikte, tipik bir [1,5] derecelendirme ölçeğine sahip öneri sisteminde, ürünler, onlar için hesaplanan  $b$  değerlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [13]:

- Eğer  $b_i \geq 4$  ise,  $i$  ürünü Yüksek Beğeniye (YB),
- Eğer  $2 < b_i < 4$  ise,  $i$  ürünü Orta Beğeniye (OB),
- Eğer  $b_i \leq 2$  ise,  $i$  ürünü Düşük Beğeniye (DB) sahiptir.

Bu çalışmada ilk olarak, öneri sistemi çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve kullanıcıların çeşitli filmler için sağladığı [1,5] değerlendirme ölçeğindeki derecelendirmelerini içeren ve ayrıntıları özellikleri Tablo 1’de sunulan popüler MLP ve MLM veri kümelerinde her bir ürünün beğenilme oranı hesaplanarak hangi beğeni kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Ardından, her iki veri kümesinde de ürünler beğeni oranlarına göre artan şekilde sıralanarak Şekil 3’de gösterildiği dağılımları analiz edilmiştir. Verilen şekilde, ürün dağılımları, beğeni kategorileri bağlamında üç farklı bölgeye ayrılmıştır. Sunulan şekilden açıkça görülebileceği gibi her iki kümesinde de, ürünlerin beğenilme oranlarına göre dağılımı benzerdir ve OB kategorisindeki ürünlerin sayısı hem YB hem de DB kategorisindeki ürünlere göre önemli ölçüde fazladır; OB kategorisindeki ürünlerin sayısının tüm ürünlerin sayısına oranı MLP veri kümesinde yaklaşık %79 iken MLM veri kümesinde %82’dir. Bu bulgu, ürünlerin beğeni oranlarının dağılımları bağlamında her iki veri kümesinde de önemli bir eşitsizlik olduğunu göstermektedir. Öte yandan, YB ve DB kategorisindeki ürünlerin sayısının tüm ürünlerin sayısına oranı her iki veri kümesi için de birbirine benzer olduğu ve OB ürünlerine kıyasla oldukça düşük olduğu söylenebilir. Spesifik olarak DB ve YB ürünlerin MLP veri kümesindeki oranı sırasıyla %11 ve %10 iken, MLM veri kümesindeki oranı %6 ve %12’dir.



Şekil 3. MLP ve MLM veri kümelerindeki ürünlerin beğenilme oranları (X ekseninde ürünler beğenilme oranlarına göre artan bir şekilde sıralanarak temsil edilmektedir.)

#### IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, öneri sistemi literatüründe öne çıkan çeşitli öneri algoritmaları ile bireyler için üretilen sıralı öneri listelerinde önceki bölümde ayrıntılı olarak açıklanan farklı beğeni kategorileri bağlamında bir eşitsizlik/yanlılık oluşup oluşmadığı ve bu listelerin doğrulukları analiz edilmektedir. Bu kapsamda ilk olarak deneylerde kullanılan dokuz popüler işbirlikçi filtreleme algoritması, veri kümeleri, değerlendirme ölçütleri ve deney metodolojisi açıklanmıştır. Ardından, deney sonuçları sunulurken elde edilen bulgular tartışılmıştır.

##### A. Kullanılan İşbirlikçi Filtreleme Algoritmaları

DeneySEL çalışmalarda, üç farklı kategoride öne çıkan, etkinliği ve verimliliği ile bilinen dokuz farklı işbirlikçi filtreleme (İF) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar ve parametreleri aşağıda açıklanmaktadır.

##### Komşuluk-tabanlı algoritmalar [32]:

- *User-kNN*: Popüler hafıza tabanlı İF algoritmalarından birisi olan bu algoritma aktif kullanıcı ile diğer kullanıcılar arasındaki benzerlikleri dikkate alarak en benzer  $k$  kullanıcıdan oluşan komşular oluşturur. Belirlenen komşuların hedef ürün için sağladığı derecelendirmeler üzerinden aktif kullanıcı için bireysel tahmin değerlerinin üretilmesini sağlamaktadır.
- *Item-kNN*: Bu algoritmada komşulukla, hedef ürüne en benzer ürünler göz önünde bulundurularak oluşturulur. Bireysel tahmin üretme süreci bu komşuluklar üzerinden hesaplanmaktadır.
- *User-kNNBase*: Bazı kullanıcılar sistematik olarak diğerlerinden daha yüksek derecelendirme sağlama eğiliminde olurlar. Bu algoritmanın *User-kNN* algoritmasından farkı, kullanıcıların bu tür eğilimlerinin üretilen bireysel tahmin değerleri içerisinde kapsüllenmesidir.
- *Item-kNNBase*: Benzer şekilde bazı ürünler genel olarak diğer ürünlerden daha çok beğenilir ve daha yüksek derecelendirmeler alırlar. Bu yöntemde, ürünlerin derecelendirmelerindeki bu tür özellikler üretilen bireysel tahmin değerlerinde kapsüllenir. Not olarak, açıklanan tüm  $kNN$  temelli algoritmalarda kullanıcılar/ürünler benzerlikler, en başarılı benzerlik metriklerinden birisi olan Pearson Korelasyonu Katsayısı ile hesaplanmıştır. Ayrıca, bu algoritmalar uygulanırken maksimum komşuluk değeri 40 olarak seçilmiştir; çünkü beş farklı komşuluk değeri (yani, 10, 20, 40, 60 ve 80) ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, en yüksek doğruluğa sahip sıralı öneri listeleri bu ayarlama ile elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu ayarlamaların,  $kNN$  temelli algoritmalar açısından doğruluğu yüksek tahminlerin üretilmesinde ideal bir konfigürasyon olduğu önceki çalışmalarda gösterilmiştir [33].
- *SlopeOne*: *Item-kNN* ailesinden gelen bu algoritma, ürünlerin derecelendirme vektörleri arasındaki ilişkileri daha basit regresyon biçiminde tanımlayarak aşırı yüklenme sorununun olumsuz etkilerini hafifletmeyi sağlayan bir algoritmadır [34].

### Matris Çarpımlara ayırma tabanlı algoritmalar [35]:

- *SVD*: Kullanıcılar ve ürünler arasındaki gizli ilişkileri sağlanan açık geribildirimleri kullanarak tespit ederek genellikle büyük ve oldukça boşluklu yapıda olan derecelendirme matrisini daha küçük boyuta indirgeyerek ölçeklenebilirlik sorununun üstesinden gelmeye yardımcı olan bir model-tabanlı algoritmadır.
- *SVD++*: *SVD* algoritmasının gelişmiş bir versiyonu olan bu yöntemde kullanıcılar ve ürünler arasındaki etkileşimler yalnızca mevcut açık geribildirimlerden değil aynı zamanda beğeniler, satın almalar, tıklanma sayıları gibi çeşitli örtük geribildirimler kullanılarak belirlenir.
- *NMF*: Negatif olmayan matris ayrıştırması tabanlı bu algoritmada indirgenmiş matrisin oluşturma sürecinde, açık geribildirimlerdeki negatif derecelendirmeler dikkate alınmaz. Diğer bir deyişle yalnızca pozitif derecelendirmeler dikkate alınarak kullanıcılar/ürünler arasındaki etkileşimler belirlenmektedir.

### Kümeleme tabanlı algoritmalar:

- *Co-clustering*: Bu algoritma, derecelendirme matrisi üzerinde kümeleme yöntemleri kullanarak çeşitli özet istatistikler çıkarımı yapar. Elde edilen bu istatistikler daha sonra bireysel tahmin üretme sürecinde kullanılır [36].

### B. Veri Kümeleri

Önceki bölümde bilgileri verilen algoritmaları, ürettikleri öneri listelerinde ürünlerin beğenilerine göre herhangi bir yanlılığa neden olup olmadığını analiz etmek için öneri sistemleri literatüründe yaygın olarak kullanılan iki farklı veri kümesi kullanılmıştır; MovieLens-100K (MLP) ve MovieLens-1M (MLM) [4]. Her iki veri kümesinde de kullanıcıların çeşitli filmler için sağladığı derecelendirmeler, ayrık tipte ve [1,5] derecelendirme yelpazesindedir. Bu veri kümelerinin ayrıntılı özellikleri Tablo 1’de sunulmaktadır. Bununla birlikte, bu veri kümelerinin, öneri sistemleri literatüründeki potansiyel yanlılık sorunları üzerine yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılması nedeniyle bu çalışmanın amacına uygun olduğu söylenebilir [8, 12, 37].

Tablo 1. Veri kümelerinin özellikleri

Veri Kümesi	Kullanıcı Sayısı	Ürün Sayısı	Derecelendirme Sayısı	Yoğunluk Oranı
MLP	943	1.682	100.000	%6,3
MLM	6.040	3.952	1.000.000	%4,25

### C. Değerlendirme Ölçütleri ve Deney Metodolojisi

Bireyler için üretilen top-*N* öneri listelerinin doğruluğunu analiz etmek için literatürde yaygın biçimde kullanılan ve formülleri sırasıyla Denklem 2, 3 ve 4’te sunulan Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve F1-Skoru (F1-Score) değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır [4]. Spesifik olarak, Precision, önerilen uygun ürünlerin sayısının önerilen tüm ürünlerin sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır. Diğer yandan, Recall, önerilen uygun ürünlerin sayısının kullanıcının profilindeki bütün uygun ürünlerin sayısına oranı olarak hesaplanır. Son olarak F1-Score, hesaplanan Precision ve Recall değerlerinin harmonik ortalaması hesaplanarak belirlenir. Not olarak, bu ölçümler hesaplanırken bir ürünün uygun olup olmadığını belirlemek için eşik değeri 3.5 olarak seçilmiştir; çünkü [1, 5] değerlendirme ölçüğünde pozitif derecelendirmeler 4 ve 5’e karşılık gelmektedir [13].

$$Precision@N = \frac{\sum_{i \in N} \mathbb{1}(i \in p_k)}{|N|} \quad (2)$$

$$Recall@N = \frac{\sum_{i \in N} \mathbb{1}(i \in p_k)}{|p_k|} \quad (3)$$

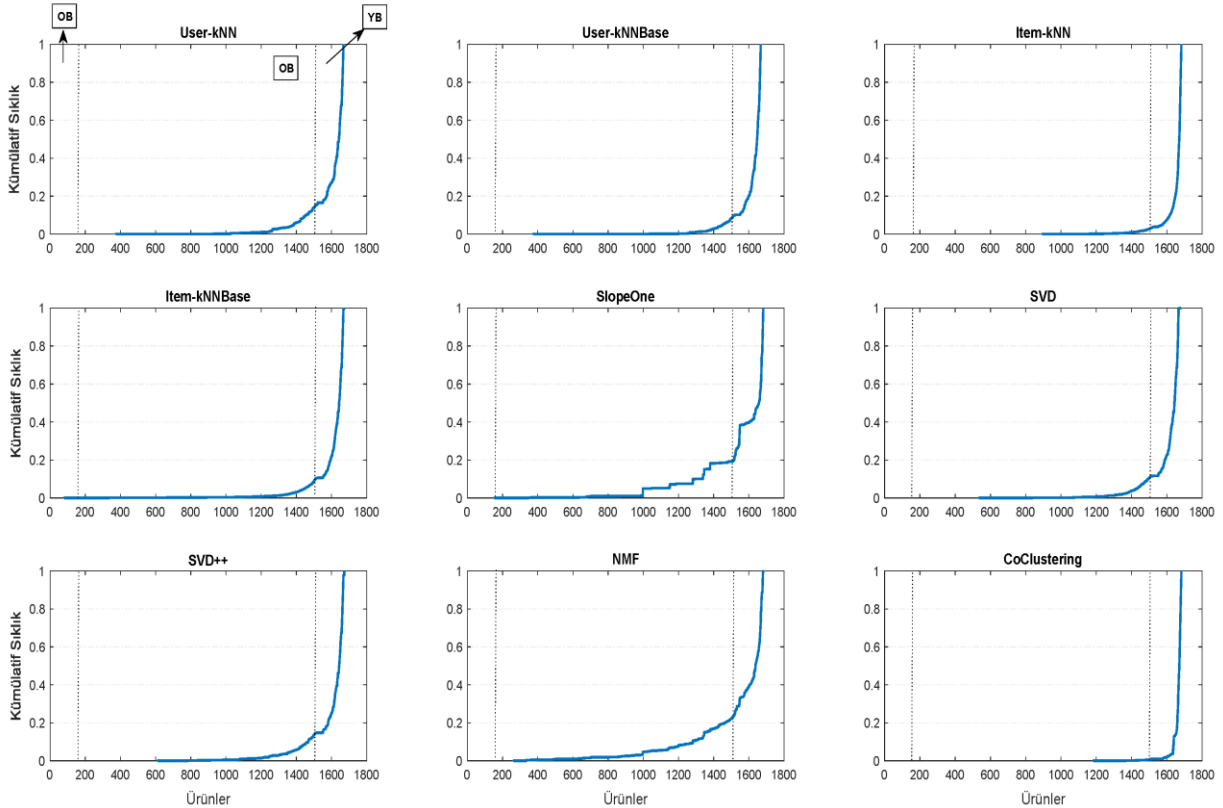
$$F1@N = 2 \times \frac{Precision@N \times Recall@N}{Precision@N + Recall@N} \quad (4)$$

Burada  $p_k$ ,  $k$  kullanıcısının profilindeki uygun ürünlerin kümesini belirtir ve  $\mathbb{1}(\cdot)$ , bağımsız değişkeni doğrusu 1, aksi halde 0 döndüren gösterge fonksiyonunu temsil etmektedir.

Gerçekleştirilen deneylerde bireysel öneri listeleri tek-çıkışlı çapraz doğrulama (leave-one-out cross validation) deney metodolojisi kullanılarak üretilmiştir. Buna göre, bir aktif kullanıcı test kullanıcısı olarak seçilmiş ve ürünler için sağladığı derecelendirmeler boş kabul edilmiştir. Geriye kalan tüm kullanıcılar eğitim kümesi olarak kabul edilip, bu kümedeki veriler üzerinde önceki bölümde açıklanan algoritmalarından biri kullanılarak aktif kullanıcıya tüm ürünler için bireysel tahmin değerleri üretilmiştir. Bu işlem veri kümesindeki tüm kullanıcılar için gerçekleştirilmiştir. Ardından, kullanıcılara ürünler için üretilen bireysel tahmin değerleri azalan sırada sıralanarak, her bir kullanıcı için en yüksek tahmin değerine sahip  $N$  ürünü içeren top- $N$  öneri listeleri üretilmiştir. Son olarak, tüm kullanıcılar için üretilen tüm top- $N$  listelerinde DB, OB ve YB kategorisindeki ürünlerin görülme sıklıkları analiz edilmiştir. Ayrıca, her kullanıcı için üretilen top- $N$  ürün listesinin doğruluğu Precision, Recall ve F1-Score ile hesaplanarak ortalaması alınmıştır; böylece, ilgili algoritmanın genel doğruluk performansı hesaplanmıştır. Not olarak, gerçekleştirilen deneylerde top-20 öneri listeleri dikkate alınmıştır.

#### D. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde ilk olarak öneri algoritmalarının ürettikleri top- $N$  listelerinde bulunan ürünlerin Bölüm 3’de açıklanan DB, OB ve YB kategorileri bağlamında dağılımını analiz etmek için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları sunulmaktadır. Şekil 4 ve 5 sırasıyla MLP ve MLM veri kümesinde üretilen top-20 listelerindeki ürünlerin beğeni kategorilerine göre görülme durumlarını, kümülatif sıklık grafikleri aracılığı ile göstermektedir.

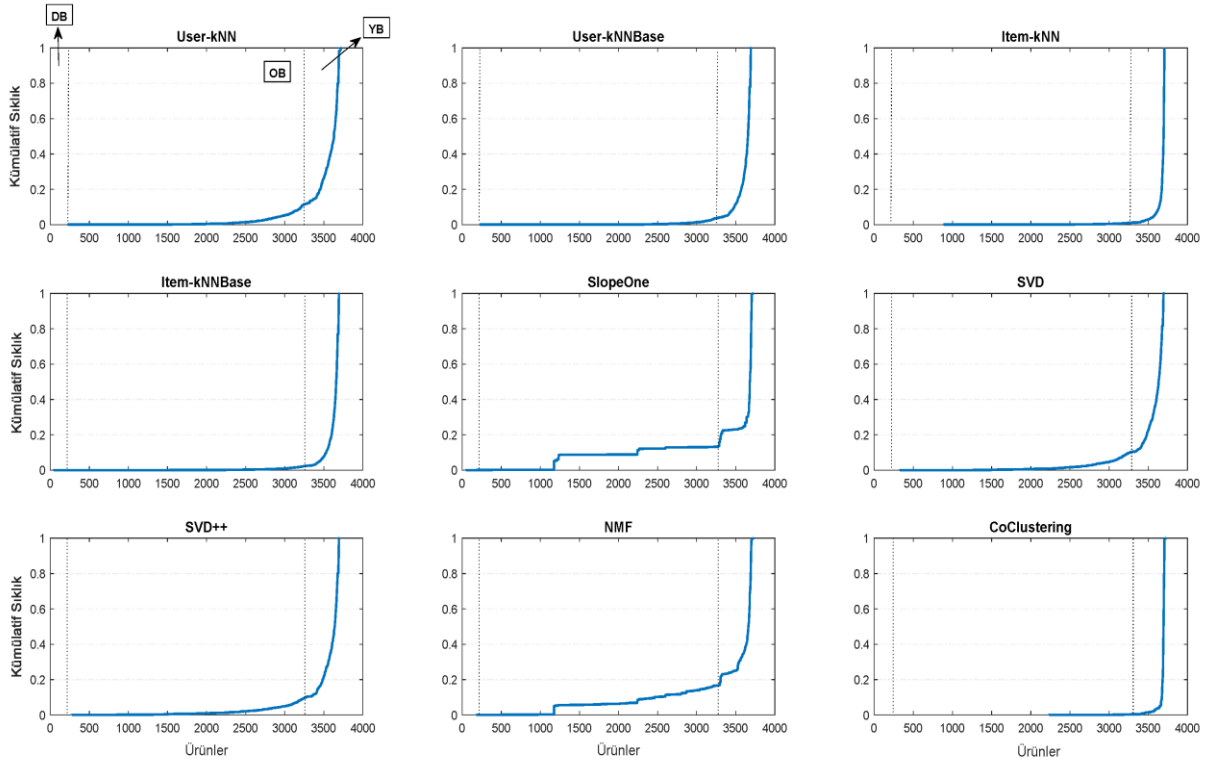


Şekil 4. MLP veri kümesinde algoritmaların ürettikleri top-20 öneri listelerinde DB, OB ve YB kategorilerindeki ürünlerin görülme sıklıkları (X ekseninde ürünler beğenilme oranlarına göre artan bir şekilde sıralanarak temsil edilmektedir.)

Daha önce Bölüm 3’de hem MLP hem de MLM veri kümesinde OB kategorisindeki ürünlerin sayısının YB ve DB kategorisindeki ürünlerin sayısına kıyasla oldukça fazla olduğu gösterilmişti. Buna rağmen, Şekil 4 ve 5’ten açıkça görüldüğü üzere her iki veri kümesi için de tüm algoritmalarla üretilen bireysel öneri listelerinde YB

kategorisindeki ürünlerin görülme sıklıklarının OB ve DB kategorisindeki ürünlere kıyasla oldukça fazla olduğu söylenebilir. Hatta MLP veri kümesinde seçilen algoritmanın *User-kNNBase*, *Item-kNN*, *Item-kNNBase*, *SVD* veya *Co-Clustering* olduğu durumda, üretilen öneri listelerindeki ürünlerin yaklaşık %90'ı YB kategorisindedir. Bu gözlem, MLM veri kümesi için gerçekleştirilen deneylerde de benzerdir. Diğer bir deyişle, üretilen öneri listelerinde OB ve DB kategorisindeki ürünler neredeyse hiç bulunmamaktadır. Bu bulgu, bu algoritmaların YB kategorisindeki ürünlerin lehine ciddi oranda bir ayrımcılık yaptığı, OB ve DB kategorisindeki ürünlere önerdikleri ürün listelerinde neredeyse hiç şans tanımadığını göstermektedir.

Seçilen algoritmanın *User-kNN*, *SlopeOne*, *SVD++* veya *NMF* olduğu durumda ise, YB kategorisindeki ürünlerin önerilen ürün listelerindeki oranı her iki veri kümesinde de yaklaşık %80'dir. Bu sonuç, matris çarpımlara ayırma tabanlı algoritmaların az da olsa diğer kategorideki algoritmalara kıyasla ürün çeşitliliği açısından daha başarılı öneriler üretebildiğini göstermiştir. Ancak yine de YB kategorisindeki ürünler bu algoritmalarla üretilen önerileri listelerinde OB ve DB kategorisindeki ürünlere kıyasla önemli ölçüde fazladır. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, hem MLP hem de MLM veri kümesinde tüm algoritmaların YB kategorisindeki ürünlere yönelik önemli bir yanlılığının olduğunu ve ürettikleri öneri listelerinde bu ürünlerin diğerlerine kıyasla oldukça daha sık gözükmesi nedeniyle ürün kataloğu kapsamı açısından niteliksiz önerilere yol açtığını göstermiştir.



**Şekil 5.** MLM veri kümesinde algoritmaların ürettikleri top-20 öneri listelerinde DB, OB ve YB kategorilerindeki ürünlerin görülme sıklıkları (X ekseninde ürünler beğenilme oranlarına göre artan bir şekilde sıralanarak temsil edilmektedir.)

Bu algoritmaların ürettikleri top-20 öneri listelerinin kalitesi ayrıca Tablo 2'de sonuçlarının gösterildiği gibi üç farklı doğruluk ölçütü ile analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına göre, hemen hemen tüm algoritmaların Precision değerleri MLM veri kümesinde daha yüksek iken, Recall değerleri MLP veri kümesinde daha yüksektir. Bu sonucun temel nedeni, MLM veri kümesinde bir kullanıcının profilindeki ortalama derecelendirme sayısının MLP veri kümesine kıyasla daha fazla olmasıdır. Bu durum, Denklem 3'te sunulan formül göz önünde bulundurulduğunda payda değerinin artmasına ve dolayısıyla hesaplanan Recall değerinin düşmesine neden olur. Öte yandan, kullanıcı profili başına düşen derecelendirme sayısının artması, üretilen öneri listelerinde uygun ürünlerin yakalanma ihtimalini artırarak Precision değerlerinin artmasına yol açmıştır.

Elde edilen deney sonuçlarına göre, en kötü doğruluk sonuçlarının *SlopeOne* algoritmasının seçildiği durumda gözlemlendiği söylenebilir. Ancak, *SlopeOne* önceki deneylerde gösterdiği üzere ürün kataloğu açısından en başarılı algoritmalarından birisidir. Bununla birlikte, matris çarpanlara ayırma tabanlı algoritmalar, özellikle *SVD* ve *SVD++*, diğer algoritmalarla kıyasla doğruluk açısından biraz daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmektedir. Önceki deneylerin sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda, bu iki algoritmanın ürün kataloğu açısından diğer algoritmalarla kıyasla hem daha nitelikli hem de doğruluk açısından genellikle makul bireysel öneri listelerinin üretilmesini sağladığı söylenebilir.

Tablo 2. MLP ve MLM veri kümesi için doğruluk sonuçları

	MLP			MLM		
	Precision	Recall	F1	Precision	Recall	F1
<i>UserkNN</i>	0.363	0.159	0.193	0.358	0.090	0.195
<i>UserkNN-Base</i>	0.360	0.154	0.186	0.322	0.087	0.189
<i>ItemkNN</i>	0.127	0.038	0.053	0.101	0.023	0.033
<i>ItemkNN-Base</i>	0.326	0.113	0.147	0.272	0.071	0.097
<i>SlopeOne</i>	0.020	0.006	0.008	0.033	0.007	0.011
<i>SVD</i>	0.351	0.162	0.194	0.303	0.095	0.193
<i>SVD++</i>	0.386	0.182	0.211	0.348	0.106	0.203
<i>NMF</i>	0.070	0.026	0.032	0.059	0.015	0.021
<i>Co-Clustering</i>	0.066	0.024	0.031	0.083	0.023	0.031

## V. SONUÇLAR

Öneri sistemleri, bireylerin herhangi bir kişisel çabası olmadan onların henüz deneyimlemedikleri ancak ilgilerini çeken ürünleri/hizmetleri tavsiye eden sistemler olarak tanımlanır. İnternet'in yaygın kullanımına paralel olarak birçok çevrimiçi platform tarafından etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Her ne kadar bu sistemlerin başarısı genellikle ürettikleri önerilerin doğruluğu ile analiz edilse de son yıllarda üretilen öneri listelerinin ürün kataloğunu hangi oranda kapsadığı ve içerdiği ürünlerin çeşitliliği servis sağlayıcıları açısından giderek önem kazanmıştır.

Son yıllarda araştırmacılar ürün profillerini analiz ederek üretilen öneri listelerinde bazı özellikteki ürünlere karşı kullanılan algoritmaların bazı pozitif ayrımcılıklar yaptığını göstermişlerdir. Örneğin, öneri algoritmalarının popüler ürünlere yönelik bir yanlılığının olduğu ve ürettikleri öneri listelerinde popüler ürünlerin diğerlerine kıyasla çok daha fazla gözüktüğü bilinen bir olgudur. Bu durum, diğer ürünlerin hak ettikleri ilgili görseller bile yeteri kadar tüketilmemesine neden olur. Bu çalışmada, ürün profilleri farklı bir bakış açısıyla ele alınarak, beğenilme oranları açısından analiz edilmektedir ve üretilen öneri listelerinde ürün kataloğu açısından bir adaletsizliğe yol açıp açmadığı keşfedilmektedir. Bu amaçla ilk olarak, üç farklı beğeni kategorisi tanımlanarak iki popüler veri kümesinde ürünlerin bu kategorilere göre dağılımları analiz edilmiştir. Ardından, öneri sistemi literatüründe öne çıkan dokuz farklı işbirlikçi filtreleme algoritmasının ürettikleri öneri listelerinde bulunan ürünler, tanımlanan beğeni kategorilerine göre ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Ayrıca, bu algoritmaların performansları üç farklı doğruluk ölçütü ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, hemen hemen bütün algoritmaların yüksek beğeniye (yani, yüksek derecelendirme ortalamasına) sahip ürünlere karşı bir yanlılığının olduğunu ve ürettikleri öneri listelerinde bu ürünlerin diğerlerine kıyasla daha sık görüldüğünü göstermektedir. Bu bulgu, algoritmaların doğruluk açısından makul öneriler üretebilmesine rağmen ürün kataloğu açısından niteliksiz önerilere neden olabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, *SVD* ve *SVD++* gibi matris çarpanlarına ayırma tabanlı algoritmaların hem makul doğrulukta hem de yüksek beğeniye olan yanlılık bağlamında diğer algoritmalarla kıyasla daha nitelikli öneriler ürettiği gözlemlenmiştir.

Gelecekte, algoritmaların yüksek beğeniye sahip ürünlere olan yanlılığı gidermek ve üretilen önerilerdeki etkisini hafifletmek amacıyla ürünleri yeniden sıralayan yeni yöntemlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, ürünlere sağlanan derecelendirmeler farklı özellikler (sapması, entropisi vb.) açısından daha ayrıntılı bir şekilde irdelenerek, üretilen önerilerde bir adaletsizliğe yol açıp açmadığının araştırılması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Lu, J., Wu, D., Mao, M., Wang, W. & Zhang, G. (2015). Recommender system application developments: a survey. *Decision Support Systems*, 74, 12-32.
- [2] Afoudi, Y., Lazaar, M. & Al Achhab, M. (2018). Collaborative filtering recommender system. *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development*, 332-345.
- [3] Batmaz, Z., Yurekli, A., Bilge, A. & Kaleli, C. (2019). A review on deep learning for recommender systems: challenges and remedies. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 1-37.
- [4] Su, X. & Khoshgoftaar, T. M. (2009). A survey of collaborative filtering techniques. *Advances in artificial intelligence*, 2009, 1-19.
- [5] Kaleli, C. (2014). An entropy-based neighbor selection approach for collaborative filtering. *Knowledge-Based Systems*, 56, 273-280.
- [6] Yalçın, E., İsmailoğlu, F. & Bilge, A. (2021). An entropy empowered hybridized aggregation technique for group recommender systems. *Expert Systems with Applications*, 166, 114111.
- [7] Abdollahpouri, H., Mansoury, M., Burke, R. & Mobasher, B. (2020). The Connection Between Popularity Bias, Calibration, and Fairness in Recommendation. *Fourteenth ACM Conference on Recommender Systems*, 726-731.
- [8] Abdollahpouri, H., Mansoury, M., Burke, R. & Mobasher, B. (2019). The unfairness of popularity bias in recommendation. *arXiv preprint arXiv*, 1907, 13286.
- [9] Boratto, L., Fenu, G. & Marras, M. (2019). The effect of algorithmic bias on recommender systems for massive open online courses. *European Conference on Information Retrieval*, 457-472.
- [10] Chen, J., Dong, H., Wang, X., Feng, F., Wang, M. & He, X. (2020). Bias and Debias in Recommender System: A Survey and Future Directions. *arXiv preprint arXiv*, 2010, 03240.
- [11] Ramos, G., Boratto, L. & Caleiro, C. (2020). On the negative impact of social influence in recommender systems: A study of bribery in collaborative hybrid algorithms. *Information Processing & Management*, 57(2), 102058.
- [12] Boratto, L., Fenu, G. & Marras, M. (2021). Connecting user and item perspectives in popularity debiasing for collaborative recommendation. *Information Processing & Management*, 58(1), 102387.
- [13] Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A. & Gutiérrez, A. (2013). Recommender systems survey. *Knowledge-based systems*, 46, 109-132.
- [14] Marlin, B., Zemel, R. S., Roweis, S. & Slaney, M. (2012). Collaborative filtering and the missing at random assumption. *arXiv preprint arXiv*, 1206. 5267.
- [15] Steck, H. (2013). Evaluation of recommendations: rating-prediction and ranking. *Proceedings of the 7th ACM conference on Recommender systems*, 213-220.
- [16] Hernández-Lobato, J. M., Houlisby, N. & Ghahramani, Z. (2014). Probabilistic matrix factorization with non-random missing data. *International Conference on Machine Learning*, 1512-1520.
- [17] Ge, Y., Zhao, S., Zhou, H., Pei, C., Sun, F., Ou, W. & Zhang, Y. (2020). Understanding echo chambers in e-commerce recommender systems. *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 2261-2270.
- [18] Steck, H. (2010). Training and testing of recommender systems on data missing not at random. *Proceedings of the 16th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 713-722.
- [19] Chen, J., Wang, C., Ester, M., Shi, Q., Feng, Y. & Chen, C. (2018). Social recommendation with missing not at random data. *2018 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 29-38.
- [20] Saito, Y. (2020). Asymmetric Tri-training for Debiasing Missing-Not-At-Random Explicit Feedback. *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 309-318.
- [21] Wang, T. & Wang, D. (2014). Why Amazon's ratings might mislead you: The story of herding effects. *Big data*, 2(4), 196-204.
- [22] Liu, Y., Cao, X. & Yu, Y. (2016). Are You Influenced by Others When Rating? Improve Rating Prediction by Conformity Modeling. *Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems*, 269-272.
- [23] Krishnan, S., Patel, J., Franklin, M. J. & Goldberg, K. (2014). A methodology for learning, analyzing, and mitigating social influence bias in recommender systems. *Proceedings of the 8th ACM Conference on Recommender systems*, 137-144.

- [24] Chaney, A. J., Blei, D. M. & Eliassi-Rad, T. (2015). A probabilistic model for using social networks in personalized item recommendation. *Proceedings of the 9th ACM Conference on Recommender Systems*, 43-50.
- [25] Wang, X., Hoi, S. C., Ester, M., Bu, J. & Chen, C. (2017). Learning personalized preference of strong and weak ties for social recommendation. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web*, 1601-1610.
- [26] Tang, J., Gao, H. & Liu, H. (2012). mTrust: Discerning multi-faceted trust in a connected world. *Proceedings of the fifth ACM international conference on Web search and data mining*, 93-102.
- [27] Abdollahpouri, H., Burke, R. & Mobasher, B. (2017). Controlling popularity bias in learning-to-rank recommendation. *Proceedings of the Eleventh ACM Conference on Recommender Systems*, 42-46.
- [28] Jannach, D., Kamehkhosh, I. & Bonnin, G. (2016). Biases in automated music playlist generation: A comparison of next-track recommending techniques. *Proceedings of the 2016 Conference on User Modeling Adaptation and Personalization*, 281-285.
- [29] Liu, D., Cheng, P., Dong, Z., He, X., Pan, W. & Ming, Z. (2020). A general knowledge distillation framework for counterfactual recommendation via uniform data. *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 831-840.
- [30] Joachims, T., Granka, L., Pan, B., Hembrooke, H. & Gay, G. (2017). Accurately interpreting clickthrough data as implicit feedback. *ACM SIGIR Forum*, 4-11.
- [31] Collins, A., Tkaczyk, D., Aizawa, A. & Beel, J. (2018). A study of position bias in digital library recommender systems. *arXiv preprint arXiv*, 1802.06565.
- [32] Koren, Y. (2010). Factor in the neighbors: Scalable and accurate collaborative filtering. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 4(1), 1-24.
- [33] Herlocker, J., Konstan, J.A. & Riedl, J. (2002). An Empirical Analysis of Design Choices in Neighborhood-Based Collaborative Filtering Algorithms. *Information Retrieval*, 5, 287-310.
- [34] Lemire, D. & Maclachlan, A. (2005). Slope one predictors for online rating-based collaborative filtering. *Proceedings of the 2005 SIAM International Conference on Data Mining*, 471-475.
- [35] Bokde, D., Girase, S. & Mukhopadhyay, D. (2015). Matrix factorization model in collaborative filtering algorithms: A survey. *Procedia Computer Science*, 49, 136-146.
- [36] George, T. & Merugu, S. (2005). A scalable collaborative filtering framework based on co-clustering. *Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'05)*, 4.
- [37] Khenissi, S. & Nasraoui, O. (2020). Modeling and counteracting exposure bias in recommender systems. *arXiv preprint arXiv*, 2001.04832.



*Araştırma Makalesi–Research Article*

## **Gelen Akım Arası Kısa Süreli Zaman Aralığını Modelleyebilmek Amacıyla Poisson Dağılım Fonksiyonu Modifikasyonu**

### **Poisson Distribution Function Modification to Model Short Time Intervals of Arrival Flow**

Ekinhan Erişkin<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 23/02/2021*

*Revize / Revised: 13/04/2021*

*Kabul / Accepted: 29/04/2021*

#### **ÖZ**

Poisson dağılımı genel olarak kullanılan bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Bu dağılım trafik akımının modellenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Fakat faktöriyel hesabı ile elde edilmesi sebebiyle süreksiz olasılık ailesine ait olan bu dağılımın, 1'den küçük ve katlarının hesabında kullanılması mümkün değildir. Bu çalışmada faktöriyel hesabı yerine  $n!$  değerinin  $\Gamma(n+1)$  eşitliğinden yararlanılarak gamma fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan bu dönüşüm ile süreksiz olasılık ailesine ait olan dağılım sürekli forma dönüştürülmüştür. Dönüşüm sonrası Isparta ili caddesi üzerinden akşam zirve saat dilimi sürecinde geçen akım, taşıtlar arası zaman cinsinden boşluk değerlerine göre modellenmiştir. Yapılan modelleme sonrası kısa süreli boşluk modellemelerinde gamma fonksiyonu ile dönüştürülen poisson olasılık fonksiyonu başarılı sonuç vermiştir. Ayrıca tam sayı değerlerde de her iki fonksiyonunda aynı değeri verdiği görülmüştür. Sonuç olarak modifiye edilmiş fonksiyonun kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

*Anahtar Kelimeler- Poisson Dağılımı, Gamma Fonksiyonu, Trafik Akımı, Benzetim*

#### **ABSTRACT**

The Poisson distribution is a commonly used probability density function. This distribution is also used to model the traffic flow. However, since it is obtained by factorial calculation, it is not possible to use this distribution, which belongs to the discontinuous probability family. In this study, instead of factorial calculation, the gamma function is used by making use of the  $n!$  equality to  $(n + 1)$ . Hence, the distribution belonging to the discontinuous probability family was transformed into continuous form. After the transformation, flow of a street in Isparta city street during the evening peak time was modeled according to the time gap values between vehicles. After the modeling, the Poisson probability transformed by gamma function yielded successful results in short-term gap modeling. In addition, it was seen that both functions gave the same value in integer values. As a result, the usability of the modified function was revealed.

*Keywords- Poisson Distribution, Gamma Function, Traffic Flow, Simulation*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [ekinhaneriskin@sdu.edu.tr](mailto:ekinhaneriskin@sdu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-0087-0933>)  
Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

## I. GİRİŞ

Ulaşım ağının tasarlanmasında trafik akımı önemli bir parametredir. Özellikle de birçok yolun başka birçok yol ile kesişmesi sonucunda çok sayıda kavşakların oluşması sağlanan şehir içi ulaşım ağı için. Bu kesişmeler sebebiyle kavşaklar şehir içi ulaşım ağının kritik geometrik parçalarındandır. Eğer bu kritik noktalar üzerinde herhangi bir kontrol mekanizması uygulanmaz ise kavşağa bağlanan kolların çıkış, birleşme ve kesişme yaşadığı noktalarda kritik noktalar oluşmaktadır. 3 kollu bir kavşak için bu kritik noktalarının sayısı denetimsiz bir kavşak için 9 iken bu sayı 4 ve 5 kollu denetimsiz kavşaklar için 32 ve 79'a kadar çıkabilmektedir [1]. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi, denetimsiz kavşaklarda kritik nokta sayısı kavşak kolunun kuvveti olarak artmaktadır. Denetimsiz kavşağın kol sayısındaki artış, oluşan kritik nokta sayısında da artışa neden olmaktadır.

Hakkert ve Mahalel [2], çalışmalarında kavşakların ne kadar kritik öneme sahip olduklarını göstermişlerdir. Yaptıkları çalışma ile ABD'de gerçekleşen kazaların istatistiksel analizi gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen analiz neticesinde kayıtlara geçen kazaların %50'sinin kavşaklarda meydana geldiğini göstererek kavşakların önemini ortaya koymuşlardır. Gelişen teknolojiye rağmen, 40 yıl sonra Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) [3] tarafından yayınlanan istatistikler, kavşakların hala daha önemini sürdürdüğünü göstermektedir. KGM tarafından gerçekleştirilen istatistiksel analiz kapsamında, Türkiye içerisinde kayıtlara geçen trafik kazalarının %37.7'lik kısmının kavşaklarda meydana geldiği ifade edilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelere rağmen kavşaklardaki güvenlik sorunları hala daha devam etmektedir.

Kavşaklarda var olan güvenlik sorunlarının çözülmesi doğru tasarlanmış denetim mekanizmaları ile gerçekleştirilebilir. Trafik sinyalizasyon sistemleri denetim için doğru bir yöntem olarak kabul edilebilir eğer doğru tasarlanmış olursa. Trafik sinyalizasyon sistemlerinin avantajı, kavşak kollarına geçiş üstünlüğünü net bir şekilde vermesidir. Fakat, sinyalizasyon sisteminin doğru ve optimum olarak tasarlanmamış olması durumunda kavşaklarda gecikme ve gereksiz kuyruk gibi sorunlar ortaya çıkmakta, sürücülerin sinyalizasyona karşı olan güveni sarsılmaktadır. Bu durum neticesinde de sürücülerin sinyalizasyon sistemlerine karşı olan dikkati azalmakta, kırmızı ışık ihlali ile kazaya karışma riskinin arttığı düşünülmektedir. Bu problemlerin önüne geçebilmek adına trafik sinyalizasyon süreleri doğru ve optimum olarak belirlenmelidir. Fakat sinyalizasyon ile denetlenen kavşak polinom olmayan bir problemi ortaya çıkarmaktadır. Ortaya çıkan problemin polinom olmayan problem olması sebebiyle de global optimum çözümün bulunması oldukça zorlaşmaktadır [4]. Optimum sinyalizasyon tasarımının gerçekleştirilebilmesi için öncelikli olarak mevcut trafik akımının doğru ve gerçeğe uygun olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu noktada trafik akımının tahmini için istatistiksel yöntemler [5-8] kullanılmaktadır.

### A. Problemin Tanımı

Trafik akımının sürekli olması ve bazı istatistiksel dağılımların süreksiz olması sebebiyle gerçeğe uygun veri modelleri yapılamamaktadır. Süreksiz dağılımlardan birisi de Poisson dağılımıdır. Fakat literatür çalışmalarında trafik akımının modellenmesi amacıyla poisson dağılımının kullanımı mevcuttur [9]. Genel olarak geniş zaman aralıklarında poisson dağılımı trafik akımını modelleyebilmek amacıyla kullanılabilir de dinamik bir sinyalizasyon sistemi oluşturulması gerektiğinde daha kısa aralıklarda modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Kavşağa yaklaşan akım içerisinde bulunan taşıtlar arası zaman cinsinden boşluk değerleri yoğun trafik durumunda kısa kalmaktadır. Taşıtlar arası kısa zaman dilimlerinde sadece tam sayı değerleri ile analiz gerçekleştirildiğinde girdi parametre verisi yetersiz kalacak, sonuçlar yeterli seviyede hassasiyete sahip olmayacaktır. Burada 1 saniyeden daha kısa taşıtlar arası zaman cinsinden boşluk değerlerinin poisson dağılımı ile hesaplanamaması çalışmanın problemi oluşturmaktadır.

### B. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yukarıda belirtilen probleme çözüm üretmek için yaygın olarak kullanılan poisson dağılımının [10, 11] daha yaygın olarak kullanılabilmesi çalışmanın amacıdır. Sadece tam sayı değerler yerine Reel sayılarda da analiz yapabilmesi amacıyla poisson dağılımı modifiye edilerek sürekli forma dönüştürülmüş ve gerçek akım için taşıtlar arası kısa süreli zaman aralığının, bu çalışma için 0-1 sn aralığı, modellenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu amacı karşılayabilmek için poisson dağılımının paydasında bulunan faktöriyel denklemini gamma eşitliği kullanılarak dönüştürülmüştür. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sırasıyla poisson dağılımı, faktöriyel ile gamma fonksiyonlarının eşitliği, örnek bir saha uygulaması ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

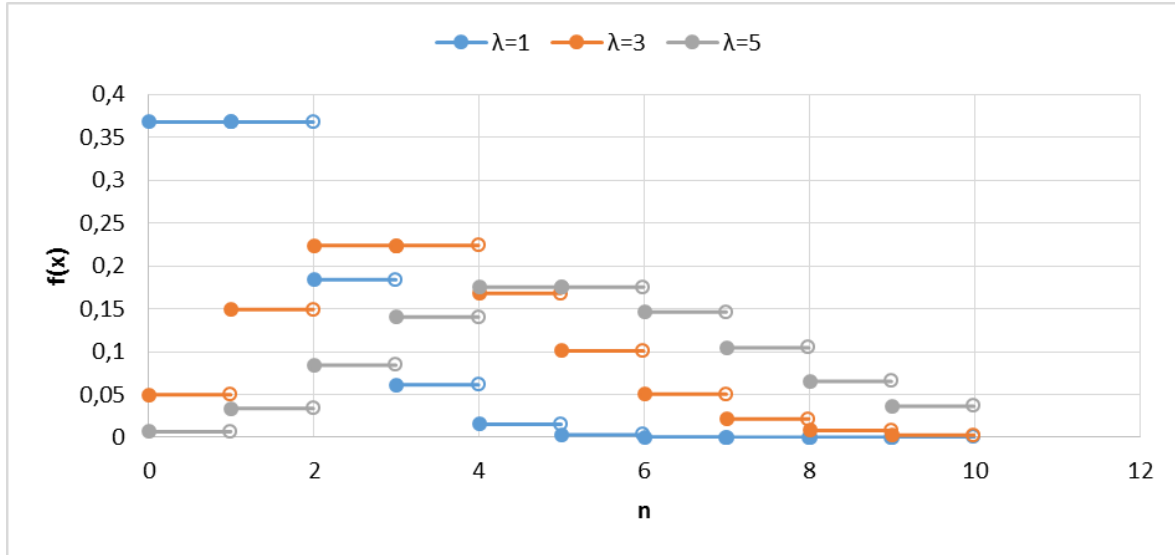
## II. POISSON DAĞILIMI

Poisson dağılımı bir veri setinin rastsallığını ölçen, deneysel verilerin teorik eğriye uydurulmasını sağlayan ve temel verilerden belirli tahminlerin yapılmasında kullanılan matematiksel bir bağıntıdır. Trafik mühendisliği alanında ise belirli bir noktaya ulaşma oranlarının analizi, taşıt boşluklarının incelenmesi, park alanının tespit edilmesi, kazaların analizi ve sola dönüş ceplerinin tasarımı amacıyla da kullanılabilir [12]. Poisson olasılık dağılım fonksiyonu (ODF) ve poisson kümülatif dağılım fonksiyonu (KDF) sırasıyla Denklem (1) ve (2)'de gösterilmiştir. Poisson dağılımı için farklı  $\lambda$  değerleri ile çizilmiş örnek ODF ve KDF grafikleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

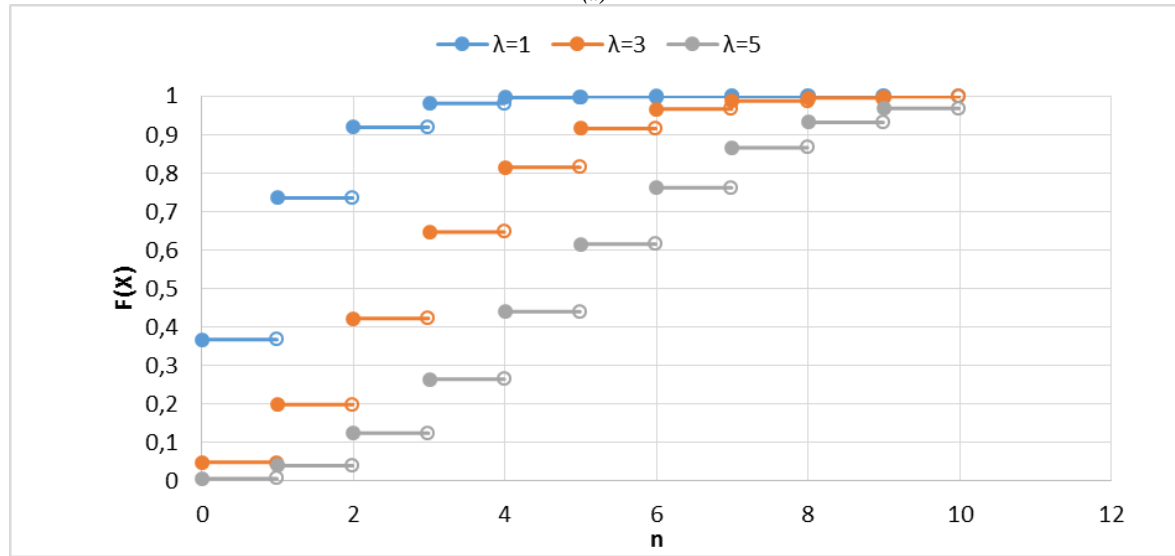
$$ODF = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \quad (1)$$

$$KDF = e^{-\lambda} \sum_{i=0}^n \frac{\lambda^i}{i!} \quad (2)$$

Burada  $n$  veri sayısını,  $\lambda$   $n$  adet verinin aritmetik ortalamasını ve  $e$  ise Euler sayısını (doğal logaritmik taban değeri) ifade etmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1. Poisson dağılımı olasılık dağılım grafiği (a) ve kümülatif dağılım grafiği (b)

Şekil 1'den de görülebileceği gibi, poisson dağılımı normal şartlar altında süreksiz bir dağılım olup faktöriyel hesabı sebebiyle sadece tam sayı değerlerine bağlı olarak hesap yapılabilmektedir. Bu nedenle poisson dağılımı tam sayı analizlerinde kullanılabilir, fakat ondalıklı analizlerde kullanılamamaktadır. Trafik akımı gibi sürekli değişken yapıda bulunan bir durumu simule edebilmek için 1 saniyeden kısa aralıklarında istatistiksel olarak analiz edilebilmesi gereklidir. Bu çalışmada yapılacak modifikasyon ile 1 saniyeden de kısa aralıklı taşıt geliş aralıkları poisson dağılımı ile modellenilebilmiştir.

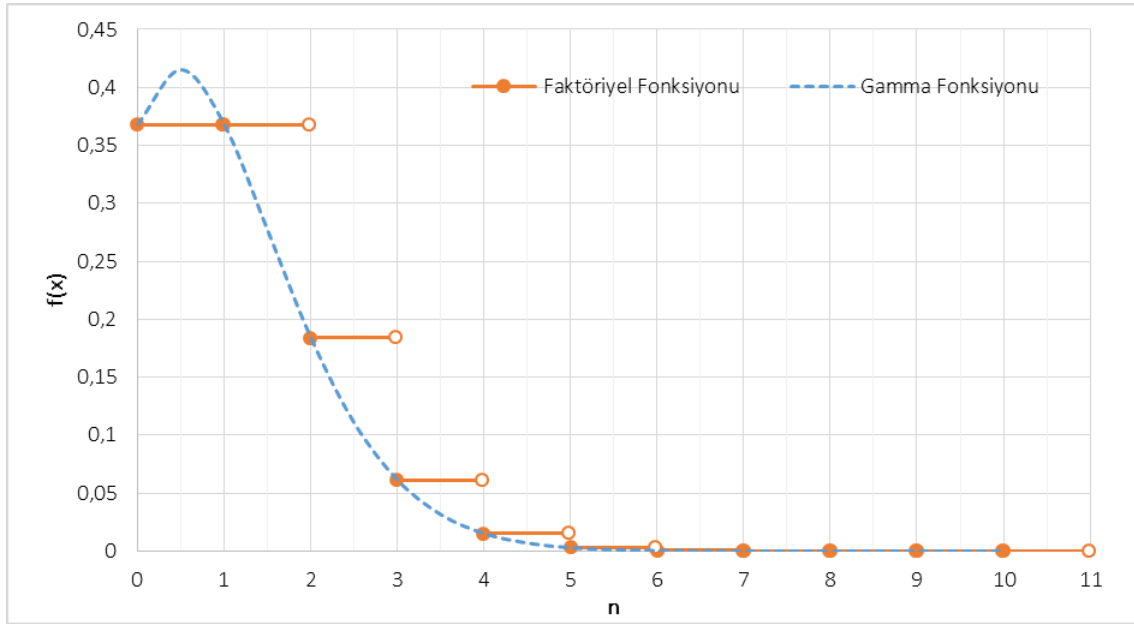
### III. POISSON DAĞILIMININ MODİFİKASYONU

Poisson dağılımının hesabı yapılırken Denklem(1)'de,  $n!$  değerinin  $\Gamma(n+1)$  eşitliğinden [13] yararlanılarak tekrar düzenlenmiştir. Poisson dağılımı süreksiz bir dağılımdır ve faktöriyel hesabı ile sadece tam sayıların olasılığı hesaplanabilir. Fakat bazı durumlarda ondalıklı sayıların da olasılıklarının modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat tam sayı dışında analiz edilmesi istenen ondalıklı değerler için Denklem (1) mevcut hali ile kullanılamaz. Dağılımın süreklilik kazanması ve reel sayılarda da hesap yapılabilmesi için faktöriyel hesabı gamma fonksiyonu (Denklem 3) yardımı ile tekrar düzenlenir ve Denklem (4) elde edilir.

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

$$ODF = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{\int_0^{\infty} x^n e^{-x} dx} \quad (4)$$

Çalışmanın buradan sonraki kısımlarında poisson dağılımı hesabı için Denklem (1) yerine Denklem (4) kullanılmıştır. Denklem (1) ve (4) ile çizilen dağılım grafiği Şekil 2 ile gösterilmektedir.



Şekil 2. Poisson dağılım fonksiyonunun gamma (Denklem 4) ve faktöriyel (Denklem 1) fonksiyonları ile oluşturulması arasındaki fark

### IV. DAĞILIM FONKSİYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yaygın olarak kullanılan poisson dağılımının süreksiz dağılım ailesinde olması nedeniyle sadece tam sayılar üzerinden olasılık hesabı yapılabilmektedir. Bu durum trafik akımı gibi sürekli ve değişken yapılar için uygun değildir. Fakat süreksiz fonksiyon olan poisson dağılımının gamma fonksiyonu yardımı ile sürekli bir forma dönüştürülmesi ile trafik akımının analizi amacıyla da poisson dağılımı kullanılabilir olmaktadır. Bu çalışma kapsamında Isparta ili Hasan Fehmi Caddesi (Şekil 3) üzerinden poisson dağılımının sürekli ve süreksiz formunu kıyaslayabilmek amacıyla hafta içi zirve saat dilimi (17:00 – 18:00) içerisinde geçen taşıtlar arasında zaman cinsinden boşluklar analiz edilmiştir.

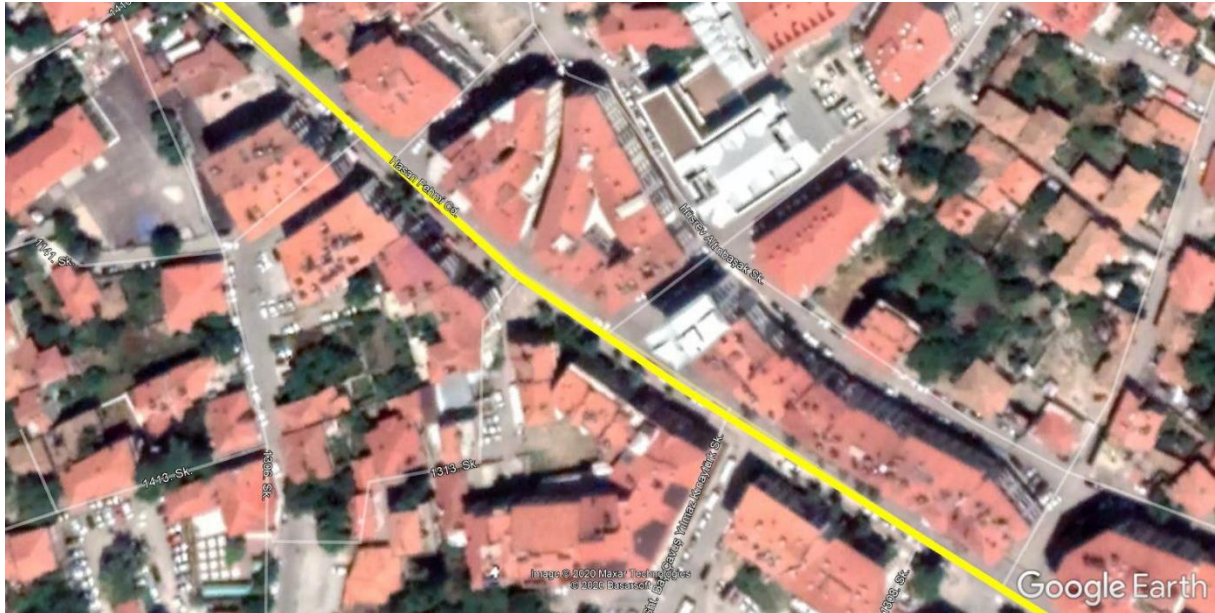
Analiz kapsamında öncelikle geçen taşıtlar arası zaman bir kronometre kullanarak kayıt altına alınmıştır. Elde edilen verilerin olasılık dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Kaydedilen zaman cinsinden boşlukların

istatistiksel analizi gerçekleştirilerek (Tablo 1) poisson dağılımı için ihtiyaç duyulan ortalama verisi hesaplanmıştır. Ortalama verisine bağlı olarak faktöriyel (Denklem 1) ve gamma fonksiyonu (Denklem 4) ile poisson dağılımları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.

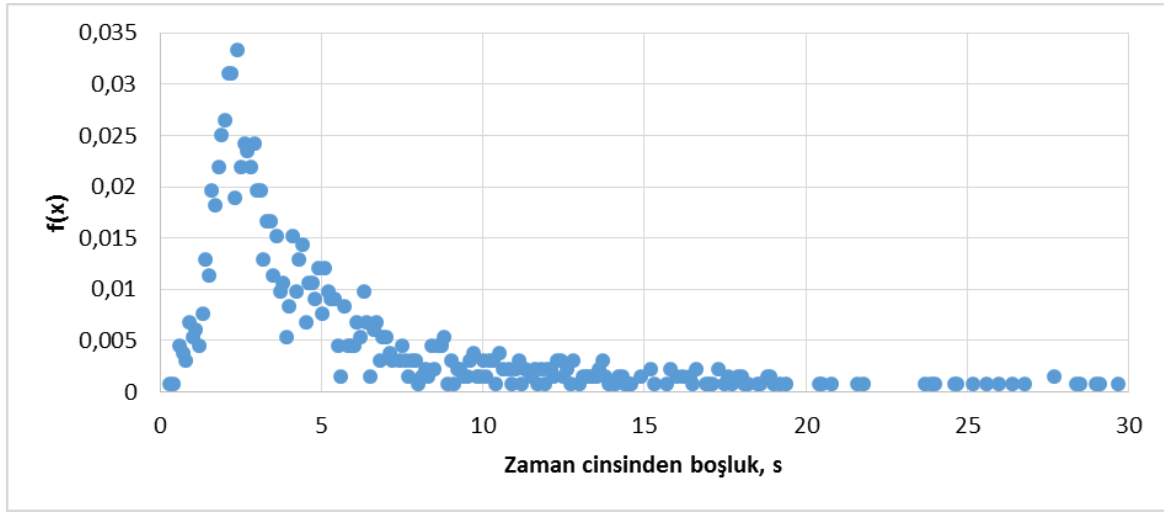
**Tablo 1.** Zaman cinsinden boşluk değerlerinin istatistiksel analizi

Parametre	Değer
Elemansayısı	1323
Mod	2.18
Medyan	3.5
Aritmetik Ortalama	5.42
Standart Sapma ( $\sigma$ )	5.46
Varyans ( $\sigma^2$ )	29.82
Enküçükdeğer ( $s$ )	0.34
Enbüyükdeğer ( $s$ )	56.45

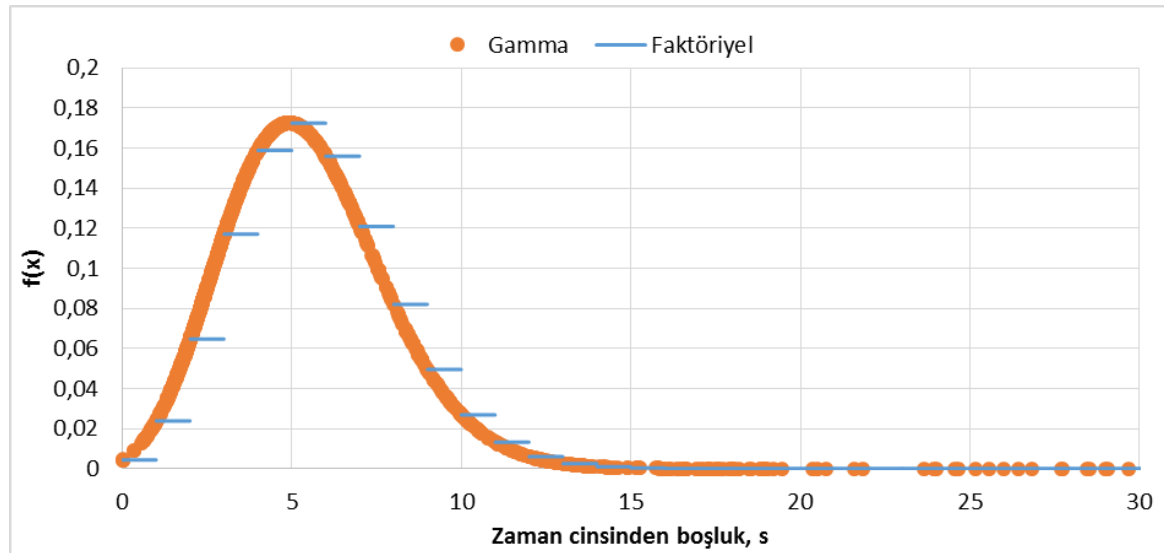
Şekil 5 incelendiğinde faktöriyel ile gamma fonksiyonu yardımıyla hesaplanan poisson dağılımlarının tam değer dışında farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Her iki tahmin yöntemi ile elde edilen değerler arasındaki yüzdellik fark hesaplandığında Şekil 6 elde edilmektedir.



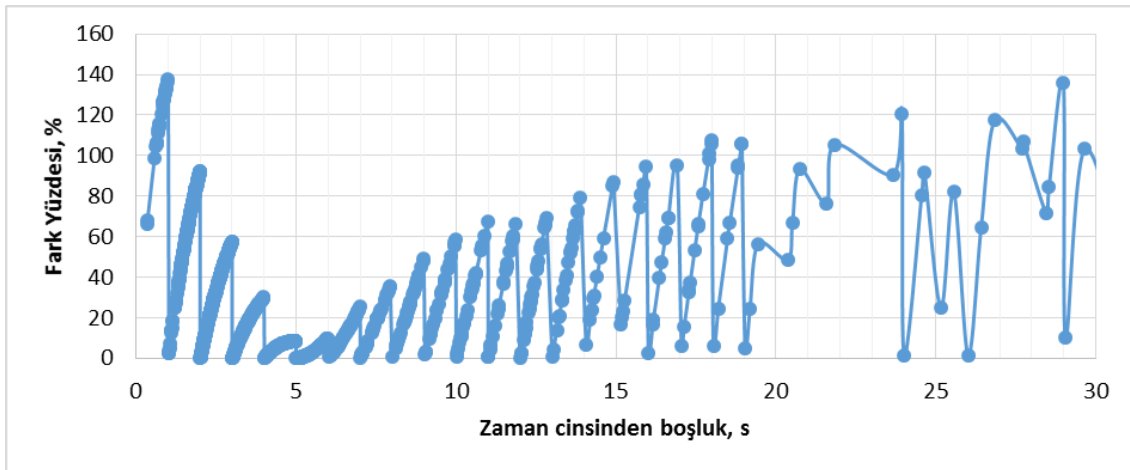
**Şekil 3.** Analiz edilen yol kesiminin uydü görüntüsü (Harita verisi: Google, Maxar Teknoloji, Basarsoft – 09.07.2020)



Şekil 4. Geçen taşıtların zaman cinsinden boşluklarının olasılık dağılımı



Şekil 5. Faktöriyel ve gamma fonksiyonu ile hesaplanmış poisson olasılık değerleri



Şekil 6. Faktöriyel ve gamma fonksiyonları ile hesaplanan olasılık değerleri arasındaki fark yüzdesi

Şekil 6 incelendiğinde tam sayılarda farkın hiç oluşmadığı görülmektedir. Burada her iki fonksiyon ile aynı değer elde edildiği için fark oluşmaması beklenen bir sonuçtur. Ayrıca zaman cinsinden boşluk değerleri arttıkça oluşan hata yüzdesi de artmaktadır. Bu sonuçta Şekil 5 incelendiğinde beklenen bir sonuçtur. Burada dikkat edilmesi gereken, Şekil 6’da gösterilen fark yüzdesinin yüzdelik değişim olmadığıdır. Burada iki sayı arasındaki yüzdelik fark hesaplanmıştır. Şekil 6 ile faktöriyel ile gamma değerleri arasında çok ciddi bir farkın oluşabileceği gözlemlenmektedir ve bu nedenle tam sayı dışında değerler ile analiz yapılmak istendiğinde sonuçlar olduğundan farklı çıkmaktadırlar.

## V. SONUÇ

Bu çalışma ile kısa zaman cinsinden boşluk değerlerine sahip trafik akımının modellenebilmesi amacıyla faktöriyel hesabı ile çözümlenen poisson dağılımı gamma fonksiyonu ile modifiye edilmiştir. Bu modifikasyonda  $n!$  değerinin  $\Gamma(n+1)$  eşitliğinden yararlanılmıştır. Bu eşitlik ile gerçekleştirilen dönüşüm sayesinde, süreksiz olasılık ailesinden olan poisson olasılık dağılımı sürekli bir dağılım haline dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucunda kısa zaman cinsinden boşluk değerlerinin de  $-0$  ile  $1$  saniye aralığı – poisson olasılık fonksiyonu yardımıyla hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır.

Elde edilen yeni poisson dağılımı ile Isparta ilinde dikkate alınmış bir cadde üzerinde hareket eden 1324 taşıt arasındaki zaman cinsinden boşluk değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiş hem faktöriyel hesabı yardımıyla hem de gamma fonksiyonu dönüşümü ile poisson olasılıkları hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda poisson dağılımının gamma fonksiyonu dönüşümü ile kullanılabilir olduğu ve sürekli olarak olasılık dağılımının yapılabildiği anlaşılmıştır. Faktöriyel hesabı ile elde edilen olasılık değerleri ile gamma dönüşümü ile elde edilen olasılık değerleri arasındaki değerler arası fark %140’a kadar artabilmektedir.

Poisson dağılımı ile yapılmış çalışmalar incelendiğinde; Martolos ve Andel [14] çalışmalarında geleneksel poisson dağılımı kullanmış olup düşük trafik hacmine sahip yol kesiminde 1-25 sn arası analiz etmişlerdir. Fakat çalışmaları içerisinde 2000 tş/st trafik hacmine sahip bir yol kesiminde oluşan taşıtlar arası zaman cinsinden boşluğun %90’dan fazlasının en fazla 5 saniye olduğunu göstermişlerdir. Gamma fonksiyonu ile modifiye edilmiş poisson fonksiyonu ile daha kısa aralıkları analiz etmeleri mümkün olabilecektir ve bu şekilde trafik hacmi çok daha büyük yol kesimlerinin analizi mümkün olabilecektir. Martolos ve Andel [14] çalışmasına benzer olarak Vadhvani ve Thakor [15] çalışmalarında düşük trafik hacmine sahip bir yol kesimi dikkate almışlar ve kullanmışlardır. Her ne kadar gerçek saha verileri bir dakikadan daha kısa olarak elde edilmişse de geleneksel poisson dağılımı ile tam sayı değerlerin analizine odaklanılmıştır. Burada da yine gamma fonksiyonu ile modifiye edilmiş poisson dağılımı ile daha yüksek trafik hacmine sahip yol kesimlerinde analiz yapılması mümkün olacaktır.

Gelecek çalışmalar için gamma fonksiyonu ile sürekli forma dönüştürülmüş poisson olasılık fonksiyonunun sadece bir cadde üzerinden geçen akımın modellenmesi yerine kavşaktan geçen akımların modellenerek sinyalizasyon tasarımı üzerinde çalışmalara yoğunlaşabilir. Özellikle büyük veri çağında olmamız göz önünde bulundurulduğunda [16], anlık ve hızlı olarak gerçek akımların düzgün modellenmesi amacıyla kullanılacak her türlü dağılım arasına poisson dağılımı da sürekli forma dönüştürülerek dahil edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özinal, Y. & Volkan, U.Z. (2021). Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 24, 1, 283-297.
- [2] Hakkert, S. & Mahalel, D. (1978). Estimating the number of accidents at intersections from a knowledge of the traffic flows on the approaches. *Accident Analysis & Prevention*, 10, 1, 69-79.
- [3] Karayolları Genel Müdürlüğü, (2020). Trafik kazaları özeti. [kgm.gov.tr](https://www.kgm.gov.tr), <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2017.pdf> (Erişim tarihi: 3 Kasım 2020)
- [4] Tektaş, M., Akbaş A. & Topuz, V. (2002). Yapay Zeka Teknikleri'nin Trafik Kontrolü'nde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme. *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*, Ankara, Türkiye.
- [5] Atalay A. & Kısaoğlu, S. (2020). Farklı Kotlu Kollara Sahip Hemzemin Dönel Kavşaklardaki Kazaların Analizi: Atatürk Üniversitesi Kavşağı Örneği. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 2, 1079-1092.
- [6] Alan, A. R. (2020). Impact of traffic incident duration and road characteristics on traffic flow performance. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- [7] Fedotkin, M., Fedotkin, A. & Kudryavtsev, E. (2020). Dynamic Models of Heterogeneous Traffic Flow on Highways. *Autom Remote Control*, 81, 1486–1498.
- [8] Mamat, A. & Chen, P. (2020). Characteristics of Arterial Travel Time Distributions with Mixed Traffic of Human-Driven and Connected and Autonomous Vehicles. 20<sup>th</sup> COTA International Conference of Transportation Professionals, Xi'an, China, 866-878.
- [9] Oyala, C. O. & Otumba, E. O. (2018). Modelling of distribution of the “Matatu” traffic flow using Poisson distribution in a highway in Kenya. *International Mathematical Forum*, 13(8), 385-392.
- [10] Wang, X. B., Yin, K., & Liu, H. (2018). Vehicle actuated signal performance under general traffic at an isolated intersection. *Transportation research part C: emerging technologies*, 95, 582-598.
- [11] Sala, M. & Soriguera, F. (2020). Macroscopic modeling of connected autonomous vehicle platoons under mixed traffic conditions. *Transportation Research Procedia*, 47, 163-170.
- [12] Gerlough, D. L. & Schuhl, A. (1955) Use of Poisson Distribution in Highway Traffic – The Probability Theory Applied to Distribution of Vehicles on Two-Lane Highways, Saugatuck, Connecticut, USA: The ENO Foundation for Highway Traffic Control. 1-58.
- [13] Hyde, S. K. (2020). Properties of the Gamma function, [www.byuh.edu](http://www.byuh.edu), <https://jekyll.math.byuh.edu/courses/m321/handouts/gammaproperties.pdf> (Erişim tarihi: 4 Aralık 2020)
- [14] Martolos, J. & Andel, P. (2013). Distances between Vehicles in traffic Flow and the Probability of Collision with Animals. *Transactions on Transport Sciences*. 6(2), 97.
- [15] Vadhvani, D. & Thakor, D. (2021). Statistical analysis of vehicle detection in the ITS application for monitoring the traffic and road accident using internet of things. In *Advances in VLSI and Embedded Systems*, 55-70.
- [16] Terzi, S. & Erten, K. M. (2020). The effect of big data analysis for sustainable transportation. *Journal of Innovative Transportation*. 1, 1.



*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Dicle Havzasının Yağış Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Zeka Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

### The Evaluation of Different Artificial Intelligence Methods in Determination of Tigris Basin's Rainfall Runoff Relationship

Reşit Gerger<sup>1\*</sup>, Veysel Gümüş<sup>2</sup>, Selmin Dere<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 23/02/2021*

*Revize / Revised: 09/04/2021*

*Kabul / Accepted: 01/05/2021*

#### ÖZ

Hidrolojik döngünün en önemli bileşeni olan yağış-akış süreci, hidrolojik analiz ve su kaynakları mühendisliğinde önemli bir yer edinmektedir. Son zamanlarda, karmaşık problemlere başarılı sonuçlar getirmesi sebebiyle oldukça revaçta olan yapay zekâ yöntemleri, birçok alanda olduğu gibi hidrolojik olayların modellenmesinde de tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Dicle Havzasının sınırları içerisinde bulunan iki istasyona ait aylık ortalama akım değerleri, meteoroloji gözlem istasyonlarından edinilen yağış verileri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan istasyonlar için Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – ANFIS), Yapay Sinir Ağları (YSA), Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemleri ile modeller kurulup yağış-akış ilişkisi değerlendirilmiştir. Kullanılan istasyonların birinde gözlemlenen akış ile tahmin edilen akış arasında, GEP' in diğer yöntemlere kıyasla daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Bir diğer istasyonda ise ANFIS' in akışı tahmin etmede oldukça yüksek hassasiyet ile daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar yağış-akış ilişkisini belirlemek için, yapay zekâ yöntemlerinin uygulanabilirliğini doğrulamakta aynı zamanda matematiksel bir yöntem olan GEP' in de kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler-** Yağış-Akış Modellemesi, ANFIS, Yapay Sinir Ağları, Gen Ekspresyon Programlama, Çoklu Doğrusal Regresyon

#### ABSTRACT

Rainfall-runoff process, most important component of the hydrologic cycle, has a significant place in hydrologic analysis and engineering of water resources. Recently, artificial intelligence methods which are in demand due to bringing successful outcomes to complex problems are preferred in modelling of hydrological events as in many fields. In this study, monthly average streamflow values that belongs to two stations which is inside of the boundary of the Tigris basin, is tried to determine by using precipitation data which has been obtained from meteorological observation stations. Rainfall-runoff relationship was evaluated by setting up for used stations with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Artificial Neural Network (ANN), Gene Expression Programming (GEP) and Multiple Linear Regression (MLR). It was seen that GEP performed better performance compared to other methods between observed streamflow and estimated streamflow at one of the used stations. At another station, it was observed that ANFIS is rather successful at predict the streamflow with high sensitive. The outcomes

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [rgerger@harran.edu.tr](mailto:rgerger@harran.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-8654-4310>)

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [gumus@harran.edu.tr](mailto:gumus@harran.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-2321-9526>)

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

<sup>3</sup>İletişim: [slmndere@gmail.com](mailto:slmndere@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-9768-2324>)

Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Şanlıurfa, Türkiye

not only corroborate the feasibility of the intelligence methods, but also show the usability of GEP that is a mathematical method to determine the rainfall-runoff relationship.

**Keywords-** *Rainfall-Runoff Modelling, ANFIS, Artificial Neural Network, Gene Expression Programming, Multiple Linear Regression*

## I. GİRİŞ

Yağış-akış süreci, hidrolojik döngünün en önemli öğelerinden biridir. Yağışın bir havza üzerinde akışa dönüştüğü sürecin doğrusal olmaması, hem zamansal hem de boyutsal olarak farklılık sergilemesi, fiziksel modellerin bu süreç üzerinde uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Doğru bir hidrolojik modellemede yağış-akış ilişkisinin tahmini; su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması, taşkın kontrol önlemlerinin alınması, baraj haznelerinin olası durumlara karşı davranışlarının ve sürdürülebilir su potansiyelinin belirlenmesi için oldukça önem arz etmektedir.

Hidrolojik analizde önemli bir rol oynayan yağış-akış arasındaki ilişkiyi modellemek ve akış tahminlerini iyileştirmek için birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller, genel olarak fiziksel tabanlı ve veriye dayalı teorik modeller olarak iki gruba ayrılabilir [1]. Veriye dayalı modellerin tercih edilmesinin başlıca nedeni, fiziksel tabanlı modellerin aksine veriye dayalı teorik modellerin ilgili fiziksel, boyutsal ve doğrusal olmayan süreçleri sayısal olarak yakalayabilmesidir [2]. Hidrolojik sistemlerin karmaşık doğası ve büyük alanlara uygulamadaki zorluğu, akışı tahmin etmek için araştırmacıları, basitleştirmelere dayalı, nispeten daha hızlı ve esnek yapay zekâ tekniklerinin kullanımına yönlendirmiştir. Su kaynakları ve hidroloji mühendisliği ile ilgili çeşitli problemleri çözmek için, başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle yapay zekâ tekniklerinin benimsenmesi, teorik modelleme yaklaşımına yeni bir boyut katmış ve son zamanlarda uygulamada çokça yer edinmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – ANFIS), Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Dalgacık Tabanlı Sinir ağı gibi birçok model ile bu modellerin hibrit ve modifiye tasarımları literatürde yer edinen başlıca modellerdendir. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda, yağış-akış ilişkisini belirlemek ve farklı yapay zekâ tekniklerini değerlendirmek için birçok havzanın yağış, akış, sıcaklık gibi temel parametrelere bağlı olarak değerlendirildiği görülmektedir.

Konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, Amerika' nın Pensilvanya eyaletinde bulunan Juniata Nehri havzası için Aytek vd. [3], İleri Besleme Geri Yayılım Sinir Ağı (İBGYSA) ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) ile GEP metotlarını kullanarak yağış-akış ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda Gen Programlama formülasyonunun, YSA' dan elde edilen sonuçlara göre daha başarılı sonuç verdiğini ifade etmişler ve YSA' ya alternatif olarak GEP' in kullanılabilirliği sonucunu ortaya koymuşlardır. El-shafie vd. [4], Japonya' nın Tanakami bölgesinde bulunan bir havzada, yağış-akış ilişkisini belirleyebilmek için YSA' yı kullanıp Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ile karşılaştırmışlardır. Tahmindeki başarıyı görmek için, temel istatistik olarak korelasyon katsayısı (R), ortalama karesel hata (OKH) ve belirlilik katsayısı (R<sup>2</sup>) parametrelerini kullanmışlardır. Buldukları sonuçlar, yağış-akış ilişkisini belirlemede YSA' nın klasik bir yöntem olan ÇDR' ye göre daha başarılı tahminler yaptığı üzerinedir. Kişi vd. [5], Türkiye' deki küçük bir havza için yağış-akış ilişkisini, 4 yıllık veriler ile ANFIS, YSA ve GEP yöntemlerini kullanarak modellemeye çalışmışlardır. Bu modelleri klasik ÇDR yöntemi ile karşılaştırmışlar ve sonuç olarak GEP yönteminin yağış-akış sürecini modellemede başarılı olduğunu, buna ek olarak, diğer uygulamalı yapay zekâ modellerine alternatif olarak değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir. Gümüş vd. [6], Orta Fırat Havzasında bulunan bir istasyona ait akım değerlerini, YSA metotlarından İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağı (İBGYSA), Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı (GRYSA) ve Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) ile tahmin edip ÇDR yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, tüm YSA yöntemlerinin ÇDR yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini ve RTYSA yöntemiyle tahmin edilen akım değerlerinin, diğer YSA yöntemlerine göre daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir. Malezya' da bulunan Klang Nehri havzasında yağış-akış ilişkisini, Akrami vd. [7], ANFIS ve modifiye edilmiş ANFIS (MANFIS) ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçlar MANFIS' in geleneksel ANFIS modeline kıyasla daha düşük hata, daha düşük hesap karmaşıklığı ve daha yüksek yağış tahmini sağladığını göstermiştir. Nourani [8], çalışmasında Moselle havzasına ait günlük yağış-akış ilişkisini, geri yayılım algoritmasının modifiye edilmiş bir versiyonu olan ve daha küçük eğitim veri seti tarafından eğitilen duygusal yapay sinir ağı (DYSA) ile belirlemeye çalışmıştır. DYSA modelinin, geleneksel ileri beslemeli yapay sinir ağı modeline göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. Yaseen vd. [9], Malezya' da bulunan Pahang Nehri için aylık akışı, ANFIS' in yeni bir kombinasyonu olan hibrit bir yapı ANFIS-FFA model ile belirlemişlerdir. Geleneksel ANFIS ile kıyaslandığında, aylık akış tahmini için uygulanabileceğini ve FFA' nın hibrit ANFIS-FFA modelin

tahmin doğruluğunu geliştirebildiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca ANFIS-FFA'nın, klasik ANFIS'e nispeten üstünlüğünün yanı sıra daha iyi bir performans sağlamak için, gereken daha az sayıda girdi değişkenini dahil ederek cimri bir modelleme çerçevesi sergilediğini ifade etmişlerdir. Yüksek vd. [10], yağış ve akış ilişkisini modelleyebilmek için, Giresun iline ait Aksu deresi üzerinde akım ve gözlem istasyonlarından yararlanılmışlar ve üç farklı algoritma ile Levenberg-Marquardt (LM), Quasi-Newton (QN) ve Conjugate-Gradient (CG) farklı nöron sayıları deneyerek yapay sinir ağı (YSA) kullanmışlardır. Sonuç olarak, tüm YSA yapılarının iyi sonuçlar verdiğini ancak en iyi yapının Quasi-Newton (QN) olduğunu ifade etmişlerdir. Muskegon Nehri havzasında yağış-akış ilişkisini Taşar vd. [11], günlük yağış, sıcaklık ve akış verilerini kullanarak Nöro Bulanık (Neuro-Fuzzy, NF) ve Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines, SVM) yöntemleri ile tahmin etmişlerdir. Sonuçların yağış-akış ilişkisinin tahmininde, düşük hata ile yüksek belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) verdiğini, bu nedenle klasik yöntemlere alternatif olarak kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir. Calp [12], İsviçre Basel'e ait 10 yıllık meteorolojik verilerinden yararlanarak YSA ve hibrit ANFIS-GA modelleri ile bölgesel yağış miktarını tahmin etmeye çalışmıştır. Elde ettiği sonuçların tahmin başarısını yüksek bulması nedeniyle meteorolojik olayların tahmininde kolayca kullanılabilirliğini ifade etmiştir. Keskin [13], ABD Waltham Massachusetts'te bulunan Stony Brook Havzası'nda, yağış-akış ilişkisini ÇDR, İBGYSA ve Otogresif Hareketli Ortalamalar (ARMA) ile belirlemeye çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre YSA yönteminin, akışı tahmin etmede diğerlerine kıyasla daha uyumlu olduğunu ifade etmiştir. Literatürde görüldüğü üzere, yapay zekâ yöntemleri ile yağış-akış sürecinin modellenmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle YSA ve ANFIS modellerinin literatürde sıklıkla kullanıldıkları, ancak GEP yönteminin yağış-akış ilişkisini belirlemede kullanımının ise sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin Güneydoğusunda bulunan Dicle Havzasının sahip olduğu nehirler ve üzerinde bulunan önemli barajlar dikkate alınarak, bu havzanın sürdürülebilir su potansiyelini korumak adına, yağış-akış ilişkisi belirlenmiştir. Bu amaçla, belirli yıllar arasında meteoroloji gözlem istasyonlarına ait aylık toplam yağış verileri ve akım gözlem istasyonlarından (AGİ) ölçülen aylık ortalama akım verileri kullanılarak, literatürde sıklıkla kullanılan yapay zekâ yöntemleri ile bu ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, literatürde sıklıkla kullanılan YSA ve ANFIS yöntemlerinin yanında ilişkiyi matematiksel ifadeler ile veren GEP yöntemi ve klasik bir yöntem olan ÇDR yöntemlerinin, yağış-akış ilişkisi belirlemedeki başarıları belirlenmiştir.

## II. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin Güneydoğusunda yer alan ve farklı kaynaklardan beslenen Dicle Havzası, toplamda yıllık ortalama 50 milyar  $m^3$  su potansiyeline sahiptir. Dicle Havzasında, Türkiye'den kaynaklanan toplam su potansiyeli 21,3 milyar  $m^3$ /yıl olarak verilmektedir [14]. Bu havzada, önemli nehirler ve barajlar bulunmaktadır.

Havzanın bulunduğu konum, nehirler ve düşen yağış gibi parametreler dikkate alındığında, bölgede yağış ve akış arasındaki ilişkinin belirlenmesi, havza yönetimi açısından önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında Dicle Havzasında bulunan E26A005 ve E26A031 numaralı AGİ'lere ait aylık akım değerleri, 17280-17285 numaralı meteoroloji gözlem istasyonlarına (MGİ) ait aylık toplam yağış verileri yardımıyla tahmin edilmiştir. Havzada bulunan tüm istasyonlar, kullanılan istasyonlar ve havza detayları Şekil 1'de verilmiştir.

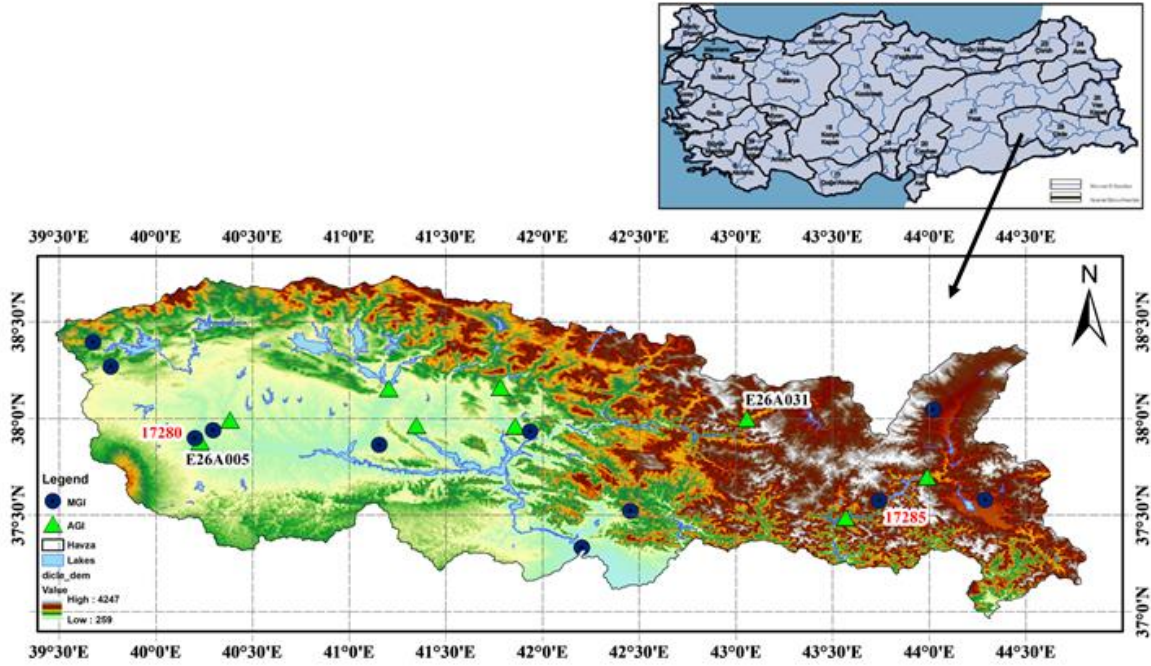
Mevcut çalışma kapsamında, E26A005 numaralı istasyona ait akımı tahmin etmek için 42 yıllık (1956-1997) aylık toplam yağış verileri; E26A031 numaralı istasyon için ise 29 yıllık (1988-2016) aylık toplam yağış verileri kullanılarak çalışma yapılmıştır. Ele alınan MGİ ve AGİ'lere ait bilgiler Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Akım gözlem istasyonlarına ait özellikler

Agi No	Adı	Koordinat		Veri Aralığı	Yağış Alanı ( $km^2$ )	Min Akım ( $m^3/sn$ )	Maks Akım ( $m^3/sn$ )	Ort Akım ( $m^3/sn$ )
		Kuzey	Doğu					
E26A005	Dicle Nehri Diyarbakır	40.229722	37.88	1956-1997	5655.2	0	210.3	41.1405
E26A031	Çatak Çayı Tüliran	43.054444	37.998333	1988-2016	2455	0	690.6	69.6677

Tablo 2. Meteoroloji gözlem istasyonlarına ait özellikler

MGI No	Adı	Koordinat		Veri Aralığı	Kot
		Kuzey	Doğu		
17280	Diyarbakır Havalimanı	37.8973	40.2027	1945-2013	674
17285	Hakkari	37.5745	43.7388	1961-2020	1727



Şekil 1. Türkiye' de bulunan Dicle havzasına ait çalışma alanı

### III. YÖNTEM

Çalışma kapsamında Dicle Havzasında seçilen istasyonların yağış-akış ilişkisini belirlemek için Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Gen-Expresyon Programlama (GEP) ve Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System –ANFIS) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerden YSA, GEP ve ANFIS yapay zekâ yöntemleri olarak değerlendirilirken, ÇDR ise birden çok bağımsız değişkenden doğrusal bir ilişki ile bağımsız bir değişkeni tahmin eden geleneksel bir yöntemdir.

#### A. Çoklu Doğrusal Regresyon

İstatistiksel bir analizde, bir dizi bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılan klasik bir yöntemdir. ÇDR,

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

Denklem 1 ile ifade edilmektedir. Bu denklemde; Y, bağımlı değişkeni,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  bağımsız değişkenleri ifade etmektedir.  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$  ise denkleme ait parametreler olup regresyon katsayılarını ifade etmektedir [15].

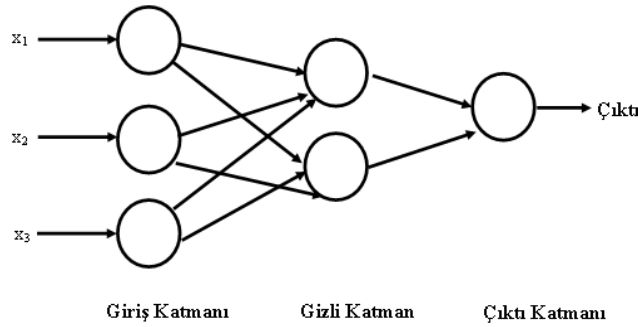
Her bağımsız değişken için en uygun çizgiyi bulmak amacıyla ÇDR; en küçük model hatasına yol açan regresyon katsayıları, genel modelin t-istatistiği ve ilişkili p-değerini (bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında hiçbir ilişki olmadığına dair sıfır hipotezi doğru olsaydı t-istatistiğinin meydana gelme olasılığı ne kadar) hesaplar. Ardından her bir regresyon katsayısı için t-istatistiğini ve p değerini hesaplar. Böylece bağımsız değişkenin değerini ve bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin ne kadar kuvvetli olduğuna dair bilgi verir.

### B. Yapay Sinir Ağları

Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin matematiksel veya istatistiksel olarak çözümüne ihtiyaç duyulduğu birçok alanda sinir ağları kullanılır. YSA yapısal ve hesaplamalı olarak insan beyninin biyolojik sinir ağlarına benzeyen paralel bilgi işleme sistemidir [16].

YSA, nöron (düğüm) adı verilen birçok birimden oluşur. Temel yapısını nöronların yanı sıra, ağırlık vektörleri ve aktivasyon (transfer) fonksiyonları oluşturur [17]. Ağ yapısı; girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanından oluşur. Ara katman birden çok katmandan oluşabilir. Her bir katmandaki nöron bir üst katmandaki nörona çeşitli ağırlıklar ile bağlıdır. Her bir veri, girdi katmanında ağırlık değeri ile çarpıldıktan sonra gizli katmana gönderilir [18]. Burada ağın yapısına uygun olduğu düşünülen aktivasyon fonksiyonu kullanılır.

Bu çalışma kapsamında her modelde 100 iterasyon ile en iyileme yapılmış, en düşük hata oranını veren ara katman sayısı ise deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Ayrıca transfer fonksiyonu olarak da tanjant-sigmoid (tansig) kullanılmıştır. Yapay sinir ağı eğitilirken literatürde sıklıkla tercih edilen [10, 19] Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir.



Şekil 2. Üç girdi iki gizli katmana sahip YSA yapısı

### C. Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System –ANFIS)

Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi, sinir ağı ve bulanık çıkarım sisteminin bir kombinasyonu olup, bilgiyi yorumlanabilir şekilde temsil etmek için her iki tekniğin avantajlarından faydalanılarak geliştirilmiştir [20]. Sistemin performansını artırmak için doğrudan verilerden ve üyelik fonksiyonu parametrelerinden yararlanarak öğrenme becerisini yakalar [21]. ANFIS mimarisi, beş katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağı yapısından ve Sugeno' nun eğer-ise kuralını öne sürdüğü bulanık çıkarım yaklaşımından oluşur [22]. Bu katmanlar aşağıda kısaca verilmektedir.

*Katman 1:* Bu katman, girdi katmanıdır. Bu katmandaki her girdi seti için üyelik derecesi tanımlanır dolayısıyla birinci katman ( $\mu_{A_i}(x)$ ) olarak verilen üyelik fonksiyonlarına bağlıdır.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + [(x - c_i / a_i)^2]^{b_i}} \quad (2)$$

burada  $O_{1,i}$  uyarlanabilir bir düğümdür,  $a_i$ ,  $b_i$  ise denkleme ait parametreler olup öncül setlerini ifade etmektedir  $c_i$  ise eğrinin merkezini belirtir.

*Katman 2:* Bu katmandaki her düğüm, gelen sinyalleri çoğaltan ve ürünü denkleme 3' e gönderen bir kare düğümdür.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) = \mu_{B_i}(y) \quad (3)$$

burada  $\mu_{A_i}(x)$  ve  $\mu_{B_i}(y)$  üyelik derecelerini ifade etmektedir.

*Katman 3:* Bu tabakadaki her bir düğüm bir kare düğümdür. i-inci düğümün çıktısının, i-inci kuralın ateşleme gücünün tüm kuralların ateşleme güçlerinin toplamına oranının eşit olduğu,  $\bar{w}$  ile ifade edilen katmandır. Bu katmanın çıktısı normalize edilmiş ateşleme kuvvetleri olarak adlandırılabilir.

$$o_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (4)$$

Katman 4: i-inci düğümün çıktısıdır.

$$o_{4,i} = \bar{w}_i = \bar{w}_i(p_i + q_i + r_i) \quad (5)$$

burada  $p_i$ ,  $q_i$  ve  $r_i$  ardışık parametrelerdir.

Katman 5: Bu katmandaki tek düğüm, gelen tüm sinyallerin toplamı olarak çıktığı hesaplar.

$$o_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (6)$$

Bu çalışma kapsamında sugeno tipi ağ sistemi kullanılmış olup, üyelik fonksiyonu olarak da gaussian fonksiyonu kullanılmıştır.

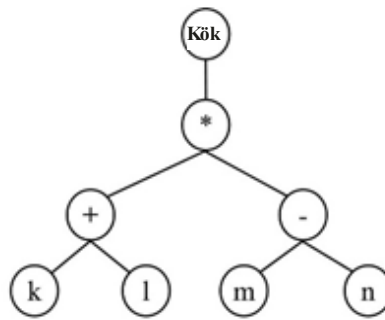
#### D. Gen Ekspresyon Programlama (GEP)

Genetik bireylerin nüfusunu kullanarak onları uygunluğuna göre seçen, bir veya daha fazla genetik operatör yardımıyla genetik varyasyonu sunan genetik programlama ve genetik algoritmaya benzer bir yöntemdir [23]. Genetik algoritmada bireyler, sabit uzunlukta doğrusal diziler iken, genetik programlamada bireyler, farklı boyut ve şekillerde olup doğrusal olmayan varlıklardır. Genetik programlama ilk olarak, rastgele oluşturulmuş bir bireysel programla başlar, daha sonra programlar, daha iyi uygunluk değerleri elde edilene kadar geliştirilir [24] GEP' te ise bireyler, farklı boyut ve şekillerde (ifade ağaçları ya da basit diyagram gösterimleri) doğrusal olmayan varlıklar olarak ifade edildikten sonra sabit uzunlukta doğrusal diziler (genom veya kromozomlar) olarak kodlanır [25].

Bir veya daha fazla genden oluşan genom veya kromozomlar sabit uzunlukta, lineer ve sembolik dizilerdir. GEP kromozomları sabit uzunluklarına rağmen ifade ağaçları ile kodlanabilir Denklem 7'de verilen basit bir matematiksel ifade:

$$Q = \sqrt{(k+l) \times (m-n)} \quad (7)$$

ifade ağacında Şekil 3'teki gibi verilmektedir.



Şekil 3. İfade ağacı

GEP gibi bir sistemin avantajı açık formül yapısına sahip olmasıdır. Bu özelliği ile GEP, birçok bilimsel çalışmada uygulanmak üzere yer edinmiştir. Bu çalışma kapsamında GeneXpro tools programı ile yağış-akış süreci modellenmiştir.

#### E. Performans Değerlendirme Kriterleri

Çalışma kapsamında en uygun tahmini yapan modelin performansını belirlemek amacıyla determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak göreceli hata (OMGH) ve Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) hata kriteri parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere ait denklemler; 8, 9, 10 ve 11 numaralı

denklemlerde verilmektedir. Denklemlerde kullanılan  $Q_g$ , gözlenen aylık akımı,  $Q_t$  tahmin edilen aylık akımı ve  $\bar{Q}_g$  ise gözlenen aylık akımların ortalamasını ifade etmektedir.

$R^2$  değerinin 1'e yakın olması, OKH ve OMGH değerlerinin ise 0'a yakın değerler alması modelin tahmin başarısının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanında NSE ise -∞ ile 1 arasında değerler almaktadır. NSE değerinin 1 olması yöntemin yüksek derecede başarılı olduğunu ifade eder. NSE'nin 0 ile 1 arasında değerler alması ise yöntemin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir. NSE değerinin 0'dan küçük değerler alması durumunda ise yöntemin, gözlenen akım değerini tahmin etmede yetersiz kaldığı sonucuna varılır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_g - \bar{Q}_g)(Q_t - \bar{Q}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_g - \bar{Q}_g)^2 (Q_t - \bar{Q}_t)^2}} \quad (8)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_g - Q_t)^2 \quad (9)$$

$$OMGH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_g - Q_t}{Q_g} \right) \quad (10)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_g - Q_t)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_g - \bar{Q}_g)^2} \quad (11)$$

#### IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

E26A031 numaralı AGİ'ye ait aylık akımı tahmin etmek için Dicle Havzası içindeki MGİ'ler ve havzanın dışında olup, yakın mesafede bulunan MGİ'ler kullanılarak oluşturulan Thiessen çokgenleri ile alansal ilişki içerisinde olduğu belirlenen, 17285 numaralı MGİ kullanılmıştır. Akımı tahmin ederken AGİ ve MGİ'deki ortak yıllar değerlendirilmiştir. E26A031-17285 ilişkisi için, 1988-2016; E26A005 ve 17280 için ise 1956-1997 yıllarını kapsayan aylık ortalama veriler dikkate alınarak, beş farklı model kurulmuş olup ÇDR, YSA, ANFIS ve GEP ile akım tahminleri yapılmıştır.

Tablo 3'te verilen durumlarda; Q, tahmin edilecek akım değerini, P, aylık toplam yağış verisini, Q-1, bir önceki ayın akım verisini, P-1, bir önceki ayın aylık toplam yağış verisini, P-2, iki ay önceki aylık toplam yağış verisini, P-3, ise üç ay önceki aylık yağış verisini temsil etmektedir.

Tablo 3. Akım tahmini için oluşturulan modeller

Model	Girdi	Çıktı
D1	(P)	Q
D2	(P), (Q-1),	Q
D3	(P), (P-1), (Q-1)	Q
D4	(P), (P-1), (P-2), (Q-1)	Q
D5	(P), (P-1), (P-2), (P-3) (Q-1)	Q

Tahmin çalışmalarında ağ yapısının doğru modelleme yapıp yapmadığını tespit etmek için veri seti, eğitim ve test verisi olarak ikiye bölünmektedir. Literatürde eğitim için veri setinin %50-%80'inin eğitim olarak, geri kalan kısmın ise test verisi olarak kullanılması önerilmektedir [26]. Bu çalışma kapsamında veri setinin %70'i eğitim, %30'u ise test için kullanılmıştır.

### A. E26A031-17285 İlişkisi

E26A031 numaralı akım gözlem istasyonuna ait aylık akım değerlerinin, 17285 numaralı istasyona ait aylık yağış verileri kullanılarak, Tablo3'te verilmiş olan beş farklı girdi kombinasyonu ile ÇDR, YSA, ANFIS ve GEP yöntemi ile tahmin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Çalışma kapsamında tüm modellerde eğitim aşamasında verilerin %70'i (200 veri), test aşamasında ise veri setlerinin %30'u (85 veri) kullanılmıştır. YSA modelinde transfer fonksiyonu "tansig" olarak kullanılmış ve deneme yanılma yöntemi ile elde edilmiş olan ara katman sayıları Tablo 4 ve 5'te model yanında parantez içerisinde verilmiştir. ANFIS yönteminde kullanılan üyelik fonksiyon sayısı da yine model adı yanında köşeli parantez içerisinde yazılmıştır. ANFIS yönteminde gaussian üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Tüm durumlar dikkate alınarak sonuçlar incelendiğinde, D1 modeline ait determinasyon katsayısının ( $R^2$ ) çok düşük olduğu ve bu yüzden akımı tahmin etmek kullanılmasının uygun olmadığı değerlendirilmektedir. Kullanılan diğer yöntemlerle kıyaslandığında en düşük OMGH değerini vermesi ile GEP yönteminin tüm durumlarda, akımı tahmin etmede diğer yöntemlere göre daha iyi performans sergilediği görülmektedir. Akımı tahmin etmede en başarılı model, en düşük OMGH değerine sahip, aylık toplam yağış verisine (P) ek olarak bir ay önceki akım verileri (Q-1) ve bir ay önceki aylık toplam yağış verileri (P-1) kullanılarak oluşturulan GEP yöntemine ait D3 modeli olarak belirlenmiştir. ANFIS yöntemi ile oluşturulan D4 modelinde, determinasyon katsayısının GEP yöntemi ile oluşturulan D3 modeline göre daha yüksek olduğu görülmüştür, ancak OMGH değerinin yine bu modele göre daha yüksek olması, modelin gerçek değerlere erişmede yetersiz olduğunu göstermektedir.  $R^2$ , OKH ve OMGH değerlerinin yanı sıra 0 ile 1 arasında değerler alan NSE değeri de incelendiğinde, bu değer 0.705 oluşu modelin performansının akımı tahmin etmede kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. GEP'in ardından diğer tüm modellerde en düşük OMGH değerini veren ÇDR yöntemi, YSA ve ANFIS'e göre daha başarılı olmuştur. Kullanılan yöntemler arasında nispeten başarısız olan yöntem ise daha yüksek OMGH değerine sahip olduğu görülen ANFIS'tir. Tüm durumlarda OKH, OMGH değerlerinin nispeten yüksek oluşu tahmin edilen akım değerlerinin büyük değerlere sahip olması olarak değerlendirilmiştir.

En iyi sonucu veren GEP D3 modeline ait akışı tahmin etmek için elde edilen ifade, Denklem 12 ile verilmektedir.

$$Q = \sqrt[9]{-10.47 \left( (d_{p-1})^2 (d_p - d_{q-1})^2 \right)} + \sqrt[9]{(-10.48) \left( -10.48 - (d_p (-10.48)) \right)^2} + \sqrt[3]{(d_{q-1} (d_{p-1} + 10.03)) (d_{q-1} - (d_p - 1.18))} \quad (12)$$

ÇDR'de akımı tahmin etmek için GEP'ten sonra en düşük OMGH değerine sahip olması ile başarılı model olan D3 modeline ait ifade, Denklem 13 ile verilmektedir.

$$y = 0.332P + 0.704(Q-1) + 0.107(P-1) \quad (13)$$

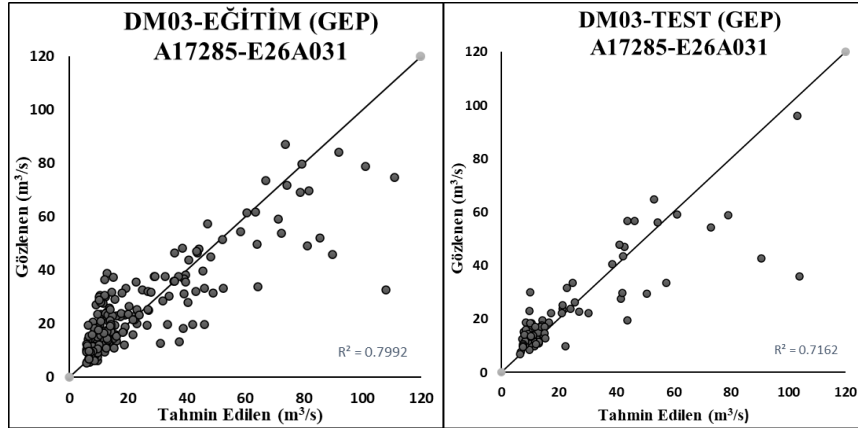
D3 modeline ait gözlenen ve tahmin edilen akım verilerinin saçılım grafiği (Şekil 4) ile zamansal dağılım grafiğinde (Şekil 5), tahminin hangi değer aralığında yakınsadığı ve uzaklaştığı görülmektedir. E26A031-17285 için verilen saçılım grafiğinden, hem eğitim hem de test aşamasında gözlenen akım ile tahmin edilen akım arasındaki ilişkinin, daha düşük değerlerdeki akım verilerini tahmin ederken daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

GEP ile en başarılı sonucu veren D3 modeline ait zamansal dağılım grafiği (Şekil 5), eğitim aşamasında tahmin edilen akıma ait değerlerin, ortalama 5 m<sup>3</sup>/s ile 160 m<sup>3</sup>/s arasında değiştiğini ifade etmektedir. Test aşamasında ise değerler, 5 m<sup>3</sup>/s ile 100 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir. GEP, pik debilerde ve düşük değerlerdeki verilerde tahminden uzaklaşsa da genel olarak modelin tahmin başarısını yakalamada iyi sonuç vermiştir.

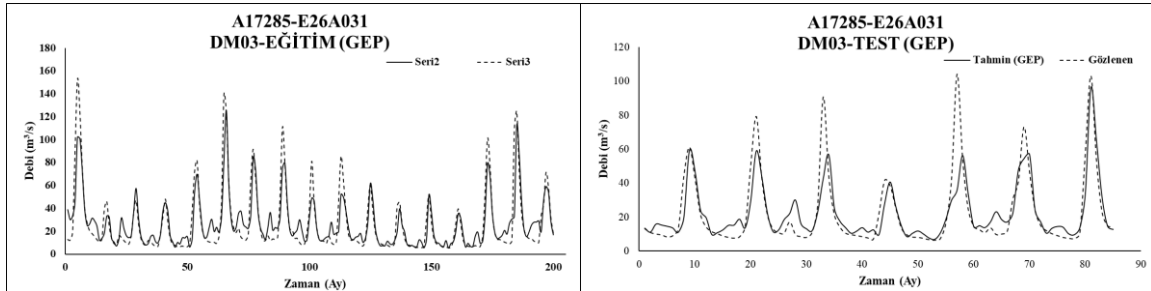


**Tablo 4.** 17285-E26A031 için tüm durumlara ait eğitim ve test sonuçları

		ANFIS				YSA			
		R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE
D1 [1] (2)	EĞİTİM	0.0088	771.00	121.49	0.009	0.0034	827.75	121.49	-0.064
	TEST	0.0055	504.14	131.43	-0.044	0.0009	613.75	22.09	-0.271
D2 [7] (3)	EĞİTİM	0.7706	178.48	39.26	0.771	0.7556	305.14	15.29	0.608
	TEST	0.5881	200.72	35.05	0.584	0.5817	320.50	15.82	0.336
D3 [4] (2)	EĞİTİM	0.7892	163.93	45.82	0.789	0.8058	282.97	14.79	0.636
	TEST	0.7081	151.36	40.64	0.687	0.6392	280.86	14.74	0.419
D4 [6] (2)	EĞİTİM	0.7951	159.37	41.40	0.795	0.7128	338.86	15.56	0.564
	TEST	0.7546	119.44	29.60	0.753	0.6800	268.99	14.02	0.443
D5 [2] (3)	EĞİTİM	0.7902	163.21	39.51	0.790	0.8122	269.76	14.43	0.653
	TEST	0.6761	168.92	30.24	0.650	0.6569	269.56	14.29	0.442
		GEP				ÇDR			
		R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE
D1	EĞİTİM	0.1285	680.14	19.25	0.126	0.0001	1121.29	22.64	-0.442
	TEST	0.0002	553.77	18.26	-0.146	8E-07	733.00	18.28	-0.517
D2	EĞİTİM	0.7377	204.12	8.76	0.738	0.5899	321.48	11.78	0.587
	TEST	0.5555	217.38	8.35	0.550	0.4253	280.31	10.79	0.420
D3	EĞİTİM	0.7992	171.14	8.11	0.780	0.6404	285.51	11.23	0.663
	TEST	0.7162	142.52	6.80	0.705	0.5504	218.98	9.94	0.547
D4	EĞİTİM	0.7712	180.39	8.75	0.768	0.6441	282.83	11.17	0.636
	TEST	0.5940	199.34	8.96	0.587	0.5483	220.02	9.98	0.545
D5	EĞİTİM	0.7873	166.50	8.71	0.786	0.6441	282.83	11.17	0.636
	TEST	0.6219	201.02	9.06	0.584	0.5483	220.02	9.98	0.545



**Şekil 4.** 17285-E26A031 için D3 modeline ait saçılım grafiği (GEP)



**Şekil 5.** 17285-E26A031 için D3 modeline ait zamansal dağılım grafiği (GEP)

### B. E26A005-17280 İlişkisi

E26A005 numaralı AGİ' ye ait akım değerlerinin tahminin 17280 numaralı MGİ kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bir önceki bölümdeki modellere benzer olarak eğitim aşamasında veri setinin %70'i (351 veri), test aşamasında ise veri setinin %30' u (150 veri) kullanılmıştır.

Tablo 5'te verilen sonuçlara göre, en iyi tahmini yapan yöntemin en düşük OMGH değerine sahip olan D5 ile GEP' e ait olduğu görülmektedir. GEP, D5 modelinde gözlemlenen akım ile tahmin edilen akım arasında 0.66 R<sup>2</sup> değeri elde etmiştir. D5 modeli, aylık yağış verisine (P) ek olarak bir ay önceki yağış verisi (P-1), iki ay önceki yağış verisi (P-2) ve üç ay önceki yağış verisi (P-3) ile bir ay önceki aylık akım verileri (Q-1) kullanılarak oluşturulan modeldir. GEP D5 modeline ait NSE değerleri test aşamasında 0.648 olarak belirlenmiştir. Bu değer 0 ile 1 arasında değerler alabileceği dikkate alınarak incelendiğinde modelin, akımı tahmin etmedeki başarısının kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

En iyi sonucu veren GEP D5 modeline ait akışı tahmin etmek için elde edilen ifade Denklem 14 ile verilmektedir.

$$Q = \left( \sqrt{d_{Q-1}} + \sqrt[3]{(d_{P-3})((d_{Q-1} - d_P) + (d_{P-2}))} \right) + \sqrt[3]{\frac{(d_{P-3}) - 2.01}{(-2.39)^2 (d_{P-1})} + ((d_{P-1}) - (d_{P-3}))} + \sqrt[3]{\frac{(d_{Q-1}) + (d_{P-3})}{6.89^2} (d_P^3 + 7.12)} \quad (14)$$

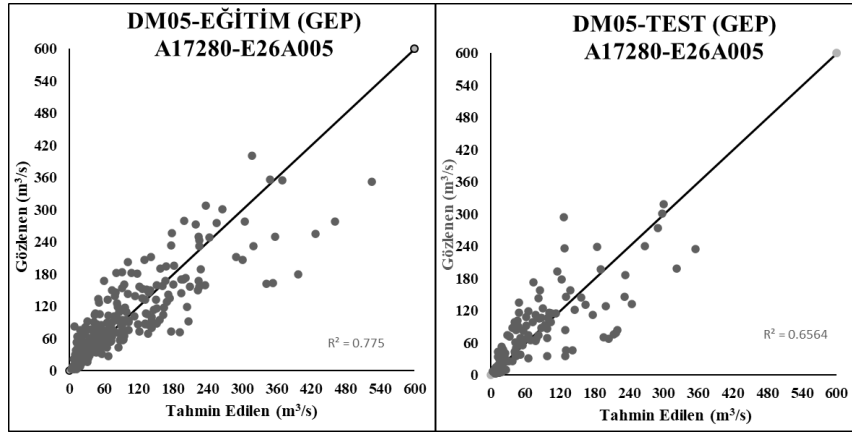
ÇDR' de akımı tahmin etmek için en düşük OMGH değerine sahip olması ile başarılı model olan D3 modeline ait ifade, Denklem 15 ile verilmektedir.

$$y = 1.141P + 0.379(Q - 1) + 0.045(P - 1) \quad (15)$$

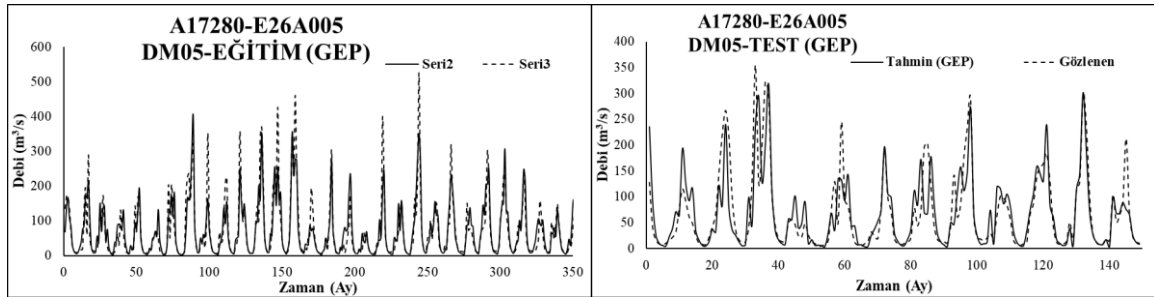
**Tablo 5.** 17280-E26A005 için tüm durumlara ait eğitim ve test sonuçları

		ANFIS				YSA			
		R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE
D1 [8] (2)	EĞİTİM	0.5542	3318.30	101.74	0.554	0.4684	5169.57	61.04	0.306
	TEST	0.3637	4227.20	93.75	0.277	0.3405	5043.66	62.27	0.137
D2 [4] (3)	EĞİTİM	0.745	1898.50	55.76	0.745	0.7481	3542.67	52.47	0.524
	TEST	0.6736	1949.70	55.54	0.666	0.6441	3533.67	54.53	0.395
D3 [4] (3)	EĞİTİM	0.7509	1854.50	59.04	0.751	0.7471	3556.29	52.21	0.522
	TEST	0.6897	1873.10	59.24	0.679	0.685	3270.90	52.47	0.440
D4 [10] (3)	EĞİTİM	0.7627	1766.20	51.55	0.763	0.7347	3492.23	51.77	0.531
	TEST	0.6632	2096.50	52.69	0.641	0.6424	3397.82	53.17	0.419
D5 [2] (3)	EĞİTİM	0.7790	1645.40	49.30	0.779	0.774	3419.08	51.63	0.541
	TEST	0.6758	1977.00	50.51	0.662	0.6666	3414.75	53.89	0.416
		GEP				ÇDR			
		R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE	R <sup>2</sup>	OKH	OMGH	NSE
D1	EĞİTİM	0.5532	3325.73	38.04	0.553	0.5299	3571.31	40.82	0.520
	TEST	0.356	4325.62	43.16	0.260	0.3658	4352.48	45.45	0.255
D2	EĞİTİM	0.7567	1817.63	24.85	0.756	0.6914	2327.76	29.21	0.687
	TEST	0.6811	1958.47	27.84	0.665	0.6044	2364.78	32.26	0.595
D3	EĞİTİM	0.7722	1725.13	26.82	0.768	0.6919	2326.13	29.25	0.688
	TEST	0.6811	1958.47	27.84	0.665	0.6081	2337.16	32.07	0.660
D4	EĞİTİM	0.7506	1857.23	24.75	0.751	0.6996	2293.17	29.66	0.692
	TEST	0.6713	2034.71	29.92	0.661	0.6072	2350.23	32.94	0.598
D5	EĞİTİM	0.775	1676.73	24.10	0.775	0.7104	2257.30	30.02	0.697
	TEST	0.6564	1982.58	27.47	0.648	0.6121	2328.11	33.55	0.602

GEP'e ait D5 modeli için saçılım grafiği incelendiğinde, gözlenen ile tahmin edilen değerler çoğu yerde yakınsamıştır, fakat değerlerin daha yüksek olduğu durumlarda, GEP performansında düşüş görülmektedir. D5 için akımı tahmin etmede, saçılım grafiği (Şekil 6) ve zamansal dağılım grafiğinden (Şekil 7) test aşamasında eğitim aşamasında daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 6. 17280-E26A005 için D5 modeline ait saçılım grafiği (GEP)



Şekil 7. 17280-E26A005 için D5 modeline ait zamansal dağılım grafiği (GEP)

## V. SONUÇLAR

Türkiye'nin en önemli havzalarından biri olan Dicle Havzasında bulunan iki istasyona ait, yağış-akış ilişkisini belirlemek için ÇDR, YSA, ANFIS ve GEP yöntemleri kullanılmış,  $R^2$ , OKH, OMGH ve NSE parametrelerine göre model performansları değerlendirilmiştir. Ele alınan yöntemlerin akım tahminleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Çalışma kapsamında iki ayrı istasyon için uygulanan beş ayrı durumda; E26A031 istasyonunda akımı tahmin eden en başarılı model, aylık yağış verileri (P), bir ay önceki aylık yağış verileri (P-1) ve bir ay önceki akım verileri (Q-1) kullanılarak oluşturulan D3 durumuna ait GEP modelidir. Bulanık mantık ve sinir ağı kombinesi olarak daha iyi sonuç vereceği düşünülen ANFIS, daha düşük OMGH değerleri vermesi ve daha yüksek determinasyon katsayısı ile YSA'ya göre daha başarılı olmuştur. Bir yağış-akış modellemesinde ANFIS'in YSA'ya göre daha iyi performans göstermesi, literatürdeki çalışmalar ile de uyumludur. Ancak ANFIS, GEP ile kıyaslandığında  $R^2$ , OKH ve OMGH parametreleri dikkate alınarak incelendiğinde daha başarısız olmuştur. Bir diğer çalışılan istasyon (E26A005) üç ay önceki toplam yağış verileri kullanılarak oluşturulan D5 durumuna aittir. Diğer yöntemlere göre daha düşük OKH ve OMGH değerleri vermesi sebebiyle başarılı performans gösteren model, GEP olmuştur. Her iki istasyon için de GEP' in ardından daha düşük OMGH ve OKH değerleri ile başarılı performans gösteren yöntem ÇDR olmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, bir kara kutu modelin aksine basit matematiksel ifadeler ile sonuçlar veren GEP'in, yapay zekâ modellerine alternatif olarak hidrolojik çalışmalarda kullanılabilen değeri değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] He, Z., Wen, X., Liu, H. & Du, J. (2014). A comparative study of artificial neural network, adaptive neuro fuzzy inference system and support vector machine for forecasting river flow in the semiarid mountain region. *Journal of Hydrology*, 509, 379-386.

- [2] Kasiviswanathan, K., He, J., Sudheer, K. & Tay, J. (2016). Potential application of wavelet neural network ensemble to forecast stream flow for flood management. *Journal of Hydrology*, 536, 161-173.
- [3] Aytek, A., Asce, M. & Alp M. (2008). An application of artificial intelligence for rainfall-runoff modelling. *Journal of Earth System Science*, 117(2), 145-155.
- [4] El-shafie, A., Mukhlisin, M., Najah, A. & Taha, M. (2011). Performance of artificial neural network and regression techniques for rainfall-runoff prediction. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(8), 1997-2003.
- [5] Kisi, O., Shiri, J. & Tombul, M. (2013). Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *Computers & Geosciences*, 51, 108-117.
- [6] Gümüş, V., Soydan, N., Simsek, O., Aköz, M. & Kırkgöz, M. (2016). Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 37-50.
- [7] Akrami, S., El-Shafie, A. & Jaafar, O. (2013). Improving Rainfall Forecasting Efficiency Using Modified Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (MANFIS). *Water Resources Management*, 27(9), 3507-3523.
- [8] Nourani, V. (2017). An Emotional ANN (EANN) approach to modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 544, 267-277.
- [9] Yaseen, Z.M., Ebtehaj, I., Bonakdari, H., Deo, R.C., Danandeh Mehr, A., Mohtar, W.H.M.W., Diop, L., El-Shafie, A., Singh, V.P. (2017). Novel approach for streamflow forecasting using a hybrid ANFIS-FFA model. *Journal of Hydrology*, 554, 263-276.
- [10] Yüksek, Ö., Babacan, H. & Saka, F. (2018). Yağış-Akış Modellemesinde Optimum Yapay Sinir Ağı Yapısının Araştırılması, *Türk Hidrolik Dergisi*, 2(1), 31-37.
- [11] Taşar, B., Unes, F. & Varcin, H. (2019) Prediction of the Rainfall – Runoff Relationship Using Neuro Fuzzy and Support Vector Machines. Air and Water – Components of the Environment Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, 237-246.
- [12] Calp, M. (2019). A Hybrid ANFIS-GA Approach for Estimation of Regional Rainfall Amount. *Gazi University Journal of Science*, 32(1), 145-162.
- [13] Keskin, L. (2020). Yağış – akış ilişkisinin yapay sinir ağları ve otoregresif hareketli ortalamalar modelleri ile tahmini. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [14] Özdemir, Y., Özış, Ü., Baran, T., Demirci, N., Fıstıkoğlu, O. & Çanga, R. (2002). Fırat-Dicle Havzasının Türkiye, Suriye, Irak, İran'daki Su Potansiyeli. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 420, 27-34.
- [15] Özbayoğlu, G., Özbayoğlu, A. & Özbayoğlu, M. (2008). Estimation of Hardgrove grindability index of Turkish coals by neural networks. *International Journal of Mineral Processing*, 85(4), 93-100.
- [16] Haykin, S. (1999). 23. Neural Networks A Comprehensive Foundation. *Pearson Education*, Hindistan, 823.
- [17] Çitakoglu, H. (2015). Comparison of artificial intelligence techniques via empirical equations for prediction of solar radiation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 28-37.
- [18] Kutlu, B. & Badur, B. (2009).Yapay Sinir Ağları ile Borsa Endeksi Tahmini. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Dergisi*, 63, 25-44.
- [19] He, Z., Wen, X., Liu, H. & Du, J. (2014). A comparative study of artificial neural network, adaptive neuro fuzzy inference system and support vector machine for forecasting river flow in the semiarid mountain region. *Journal of Hydrology*, 509, 379-386.
- [20] Jang, J. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685.
- [21] Wang, Z., Palade, V. & Xu, Y. (2006). Neuro-Fuzzy Ensemble Approach for Microarray Cancer Gene Expression Data Analysis. 2006 International Symposium on Evolving Fuzzy Systems.
- [22] Wei, L. (2016). A hybrid ANFIS model based on empirical mode decomposition for stock time series forecasting. *Applied Soft Computing*, 42, 368-376.
- [23] Kisi, O., Shiri, J. & Tombul, M. (2013). Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *Computers & Geosciences*, 51, 108-117.
- [24] Çitakoglu, H., Babayigit, B. & Haktanir, N. (2020). Solar radiation prediction using multi-gene genetic programming approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3-4), 885-897.
- [25] Ferreira, C. (2001).Gene Expression Programming: a New Adaptive Algorithm for Solving. *Problems. Complex Systems*, 13(2), 87-129.
- [26] Okkan, U., Serbeş, Z. & Gedik, N. (2018). MATLAB ile Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı YSA uygulaması: Aylık yağış-akış modellemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 351-362.

*Araştırma Makalesi – Research Article*

## Farklı Element Katkılı Sodyum Fosfat Camlarının Sentez ve Karakterizasyonu

### Synthesis and Characterization of Sodium Phosphate Glasses Doped with Different Elements

Serhat Keser<sup>1\*</sup>, Cengiz Tatar<sup>2</sup>, Tankut Ateş<sup>3</sup>, Turan İnce<sup>4</sup>, Ömer Kaygılı<sup>5</sup>

*Geliş / Received: 26/02/2021*

*Revize / Revised: 30/04/2021*

*Kabul / Accepted: 09/06/2021*

#### ÖZET

Bu çalışmada, yaş kimyasal yöntemi ile üretilen Ba ve Li katkılı sodyum fosfat ( $\text{NaPO}_3$ ) camları karakterize edildi. Ba katkılı numunelerin tamamının ve en yüksek Li katkısına sahip numunenin amorf yapıya sahip olduğu görüldü. Bunların haricindeki tüm numunelerin kristal yapıya sahip olduğu gözlemlendi. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi sonuçları  $\text{NaPO}_3$  yapısının oluşumunu desteklemektedir. Morfoloji, katkıların türü ve bunların miktarından etkilendi.

**Anahtar Kelimeler-** *X-Işını Kırınımı (XRD), Morfoloji, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR)*

#### ABSTRACT

In this study, Ba- and Li-doped sodium phosphate ( $\text{NaPO}_3$ ) glasses synthesized by the wet chemical method were characterized. It was seen that all of the Ba-doped samples and the sample with the highest Li-doped had the amorphous structure. It was observed that all the samples except these had the crystal structure. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy results support the formation of the  $\text{NaPO}_3$  structure. The morphology was affected by the kind of dopants and their amounts.

**Keywords-** *X-Ray Diffraction (XRD), Morphology, Fourier Transform Infrared (FTIR)*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [serhatkeser@gmail.com](mailto:serhatkeser@gmail.com) (ORCID: 0000-0002-9678-1053)

*Kimya Teknolojisi Bölümü, EOSB MYO, Fırat Üniversitesi 23119 Elazığ*

<sup>2</sup>İletişim: [ctatar@firat.edu.tr](mailto:ctatar@firat.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-0876-9071)

*Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi 23119 Elazığ*

<sup>3</sup>İletişim: [tankut\\_ates@hotmail.com](mailto:tankut_ates@hotmail.com) (ORCID: 0000-0002-4519-2953)

*Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi 44000 Malatya*

<sup>4</sup>İletişim: [trince23@gmail.com](mailto:trince23@gmail.com) (ORCID: 0000-0001-7885-1882)

*Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi 23119 Elazığ*

<sup>5</sup>İletişim: [okaygili@firat.edu.tr](mailto:okaygili@firat.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-2321-1455)

*Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi 23119 Elazığ*

## I. GİRİŞ

İnorganik malzemelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasıyla üretilen seramik çeşitlerine “cam” adı verilir. Her ne kadar seramik türü olsalar da camlar, bazı fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından seramiklerden farklılıklara sahiptirler. Örneğin, seramikler kristal yapıdadırlar ve sentez sırasında eriyene kadar ısıtılıp, sertleşinceye kadar soğutulurlar. Buna karşılık camlar, kristal yapıya sahip değildirler ve belirli bir düzene sahip olmayan inorganik yapıdadırlar. Kristal yapıya sahip moleküller düzenli bir yapıdayken, camın içerdiği moleküller katı oldukları halde rastgele yapıya sahiptirler. Camlar metalik, oksit ve oksit olmayan camlar şeklinde 3 ana gruba ayrılarak incelenirler. Fosfat camları, oksit cam grubunda yer alırlar. Elektriksel iletkenliklerinin ve ultraviyole geçirgenliklerinin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda çalışabilmeleri gibi fiziksel özellikleri fosfat camlarının diğer tür camlara nazaran daha çok tercih edilmelerine neden olmaktadır. Cam malzemeler, hem günlük hayatta hem de teknolojiye kullanım alanı bulan vazgeçilmez malzemeler olarak kabul edilmektedirler [1].

Üç grupta incelenen camlar tek bileşene, iki bileşene ve ikiden daha fazla bileşene sahip olabilirler. Cam çeşitlerinin en önemlileri ise fosfat camları, soda-kireç silikat, boro-silikat, kurşun-silikat ve alümina-silikatlar olarak kabul edilmektedir [2, 3].

Fosfat camlarının yapısında alümina yüksek, alkali düşük oranlarda olduğunda bu camların yapısı silikat camlarına benzer. Silisyum (Si) iyonları 4 değerlikli iken, fosfor (P) iyonları ise 5 değerliklidir ve bu iyonların büyüklükleri birbirine benzer. Bu tür yapılarda  $P^{+5}$  iyonunun sahip olduğu fazla yükler, 3 değerlikli alüminyum (Al), 2 değerlikli kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) gibi iyonlar sayesinde nötralize edilirler. Saf haldeki katkısız fosfat camları,  $P^{+5}$  iyonu yapıya oksijen (O) atomlarının girmesini sağladığı için yapı olarak zayıftırlar ve erime noktaları düşüktür. Ancak bu camların erime noktaları farklı katkılarla yükseltilebilir [2, 3].

Günümüzde fosfat camları uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde teknolojiye önemli kullanım alanları bulmaya başlamıştır. Silikat camları ve/veya borat camları ile kıyaslandığında genleşme katsayılarının yüksekliği, yumuşama ve üretim sıcaklıklarının düşüklüğü gibi nispeten avantajlı ve önemli özellikler taşımaktadırlar [4]. Fosfat camları lazer camı olarak, hızlı şarj özelliğine sahip batarya malzemesi olarak, güneş pili olarak, biyomalzeme olarak ve nükleer atıkların taşınmasında potansiyel kullanım alanına sahiptirler [4-6].

Fosfat camları, oksit camları içinde yer alırlar ve şeffaflıklarının yüksek olması, erime noktalarının ve viskozitelerinin düşüklüğü, ultraviyole (veya morötesi, UV) iletimlerinin yüksekliği gibi önemli fiziksel özellikleri ile öne çıkmaktadırlar [7]. Bu tür özellikler fosfat camlarını fotonik uygulamalarda tercih edilebilir hale getirmektedir. Bu tip uygulamalar için nadir toprak elementleri ile katılan fosfat camları üretilmekte ve kullanılmaktadır. Örneğin neodimyum ( $Nd^{+3}$ ) katılan fosfat camları günümüzde üretilen en büyük lazer camı olarak bilinmektedir [8]. Ayrıca fosfat camlarının mekanik özelliklerinin mükemmel yakın olması, optik berraklıklarının ve biyo uyumluluklarının yüksek olması nedeniyle hem optik alanında hem de biyomedikal alanında kullanılmaktadırlar [9].

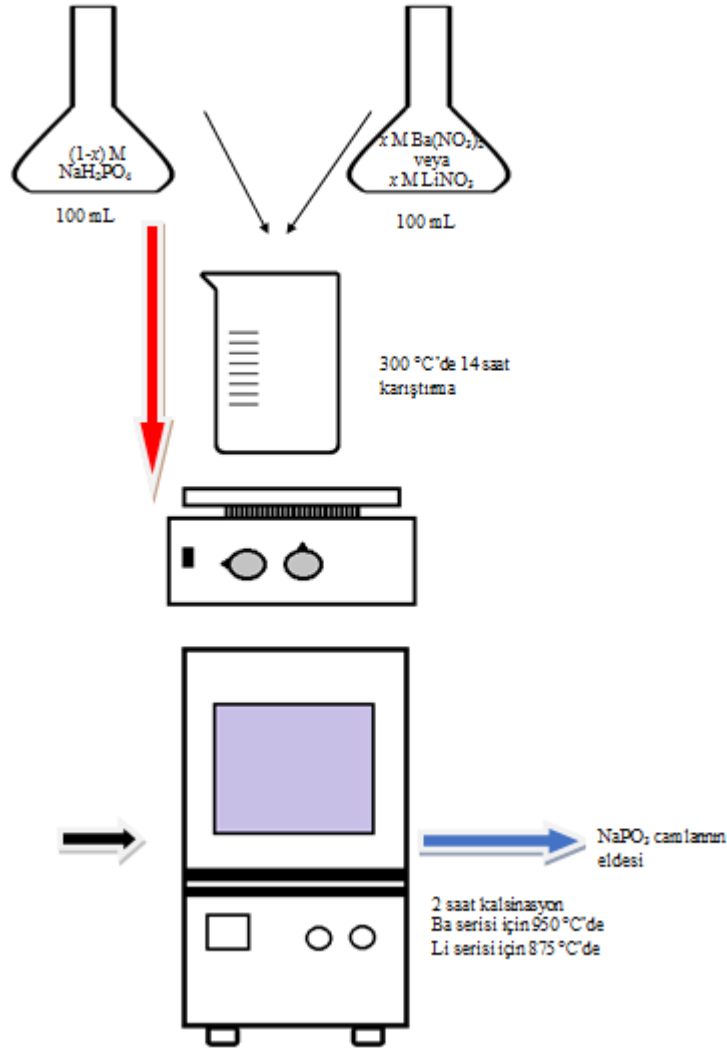
Bütün avantajlarının yanında fosfat camlarının bazı dezavantajları da vardır. Örneğin kimyasal kararlılıklarının zayıf olması, korozyona karşı dayanıksız olmaları endüstriyel uygulamaları kısıtlamaktadır. Fosfat camlarının yapısına üretim aşamasında geçiş metallere oksitleri katıldığı zaman kimyasal kararlılıklarının arttığı bilinmektedir. Bu katkılar sırasında fosfat camlarının yapısında P-O-P bağlarının yerini M-O-P bağları olarak yapısal değişiklikler meydana gelmektedir [4, 8]. Fosfat camlarıyla alakalı literatür incelendiğinde; Reis vd. [10]  $Al^{+3}$  ve  $Fe^{+3}$  gibi yüksek değerliğe sahip metallere, Sirtokin vd. [11] sülfat ( $SO_4^{2-}$ ) iyonlarının, Iturraran vd. [6] ise kalay bileşiklerinin fosfat camlarının yapısına katılmasıyla kimyasal kararlılıklarının artırılabilirliğini belirtmişlerdir. Keser vd. [12] Cu katılan, Ateş vd. [13] ise Ag katılan fosfat camlarının yapılarındaki değişimleri incelemiş ve bu metallere fosfat camlarının yapısında önemli değişikliklere neden olduklarını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada Ba ve Li katılı iki farklı seri olarak hazırlanan  $NaPO_3$  camlarının üretimi ve üretilen bu cam örneklerinin XRD, SEM, EDX ve FTIR metotlarıyla karakterizasyonu gerçekleştirildi.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Sentez

Bu çalışmada kullanılan numuneler yaş kimyasal yöntemi ile hazırlandı. Şekil 1'de verilen akış diyagramında özetlenen sentez üç aşamadan (çözeltilerin hazırlanması, kurutulması ve ısıl işleme tabi tutulmaları) oluşmaktadır: Sodyum fosfat camlarının üretilmesinde kullanılan başlangıç kimyasalları sodyum fosfat monobazikdihidrat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , Sigma-Aldrich), lityum nitrat ( $\text{LiNO}_3$ , Merck) ve baryum nitrattan ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , Merck) oluşmaktadır. İki farklı balon jojenin birinde  $(1-x)$  M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ve  $x$  M  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  çözeltileri hazırlandı. Li katkılı numuneler için  $x$  M  $\text{LiNO}_3$  kullanıldı. Burada bahsi geçen  $x$  değerleri hem Ba hem de Li katkılı numuneler için aynı olup, sırasıyla 0, 0.01, 0.02 ve 0.03'tür. Her iki çözelti için de çözücü olarak saf su kullanıldı. Bu çözeltiler bir beher içerisine boşaltılarak, bir manyetik karıştırıcı vasıtasıyla  $300^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 14 saat boyunca karıştırıldılar. Bu sürecin akabinde toz haline getirilen numuneler bir kül fırını içerisine yerleştirildi. Ba katkılı numuneler  $950^\circ\text{C}$ 'de 2 saat boyunca ısıl işleme tabi tutuldu. Li katkılı numuneler  $875^\circ\text{C}$ 'de 2 saat boyunca ısıl işleme tabi tutuldu. Isıl işlemler sonrası her bir seri için birer adet katkısız, üç adet Ba ve yine üç adet Li katkılı  $\text{NaPO}_3$  numuneleri üretildi. Ba katkılı numuneler, sırasıyla B1, B2, B3 ve B4 olarak isimlendirildi. Benzer biçimde, Li katkılı numuneler L1, L2, L3 ve L4 olarak adlandırıldı.



Şekil 1. Li ve Ba katkılı iki farklı seri halinde  $\text{NaPO}_3$  camlarının üretim safhaları

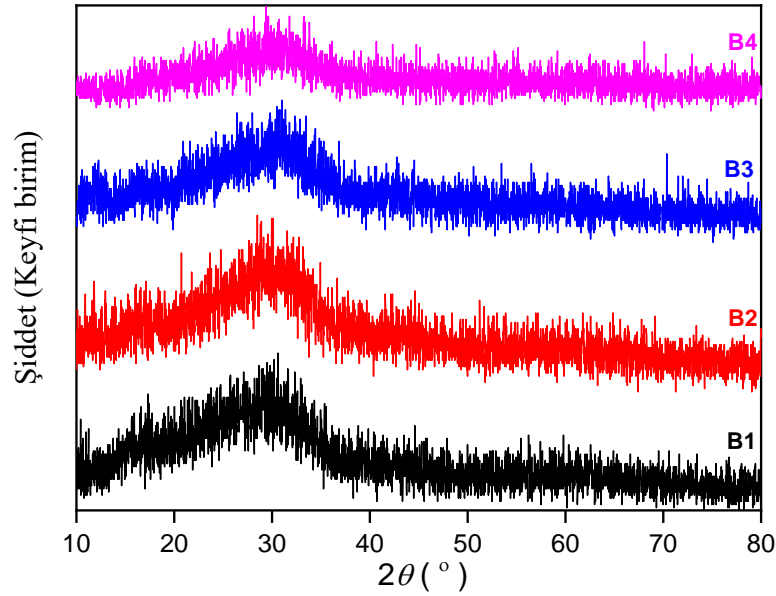
### B. Karakterizasyon

Üretilen numunelerin kristal yapı incelemeleri, Bruker D8 Advance cihazı kullanılarak X-ışını kırınımı (XRD) desenlerinin kaydedilmesi suretiyle gerçekleştirildi. Numuneler içerisindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi, Perkin Elmer Spectrum One model spektrofotometre vasıtasıyla Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrumlarının kaydedilmesi ile tamamlandı. Son olarak, JEOL JSM 7001F taramalı elektron mikroskobu kullanılmak suretiyle alınan SEM görüntülemeleri sayesinde morfolojik incelemeler yapıldı.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. X-ışını Kırınımı Sonuçları

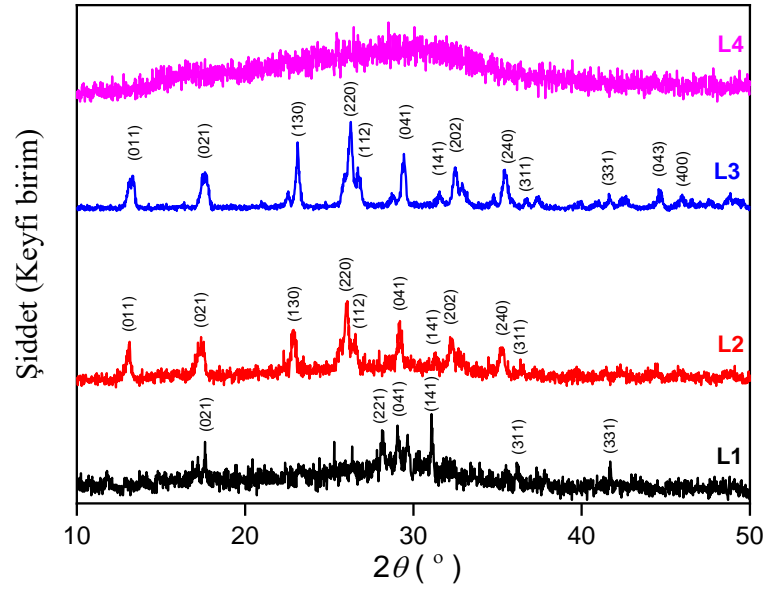
Şekil 2’de verilen X-ışını kırınımı analizi sonuçlarından da açıkça görüldüğü üzere, üretilen hem katkısız numunenin hem de Ba-katkılı numunelerin hiçbirinde kristal yapıya işaret eden herhangi bir pike rastlanmamaktadır. Dört XRD deseninde de  $10^\circ$  ile  $40^\circ$  arasında belirgin bir yayvan pik mevcuttur ki bu durum hem katkısız hem de Ba katkılı numunelerin amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Önceki çalışmalarımızda farklı elementler katkılanarak kristal yapıya sahip katkılı ve katkısız sodyum fosfat numunelerini de göz önüne alarak, şunu söyleyebiliriz: Gerek katkılı gerekse katkısız halde üretilen sodyum fosfat camlarının kristalleşmesi, katkılanan elementin türü ve miktarından etkilenmesinin yanı sıra uygulanan ısı işlemde kullanılan sıcaklıktan da etkilenmektedir [12, 13].



Şekil 2. Katkısız ve Ba-katkılı  $\text{NaPO}_3$  camlarının XRD desenleri

Li katkılı sodyum fosfat camlarına ait XRD desenleri Şekil 3’te gösterilmiştir. Gözlemlenen tek faz ortorombik kristal yapıdaki sodyum fosfat ( $\text{NaPO}_3$ , JCPDS PDF No: 11-0648) fazıdır. Katkısız numunenin (L1), düşük kristalleşmeye sahip olduğu gözlemlenen piklerin sayısına ve şiddetine bakıldığında görülebilmektedir. Katkısız numuneye nazaran, Li katkılı L2 ve L3 numunelerinin kristalleşmesi yüksektir. Fakat en yüksek Li katkısına sahip olan L4 numunesi için aynı durum söz konusu olmayıp, numunede gözlemlenen yayvan piktan da belli olacağı üzere amorf yapıya sahiptir. Aynı sentez şartları kullanılmasına rağmen, Li katkısının  $\text{NaPO}_3$  camlarının kristal yapısı üzerine etkisi oldukça fazladır. Yine Şekil 3’teki XRD desenlerine bakıldığında, Li katkısının bazı kristal düzlemlerinin belirgin olmasını sağlayacak biçimde açığa çıkmasına neden olduğu da görülebilir.





Şekil 3. Katkısız ve Li katkılı sodyum fosfat camlarının XRD desenleri

Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen XRD desenleri arasında bariz farklılıklar vardır. Ba katkılı seride, referans numune de dahil olmak üzere tüm numuneler amorf yapı sergilemektedir. Fakat Li katkılı seride yalnızca en fazla Li katkısına haiz olan numune amorf yapı sergilerken, referans numune de dahil olmak üzere serinin geri kalan kısmının kristal yapı sergiledikleri tespit edilmiştir. Özellikle referans numunenin bir seride amorf diğer bir seri de kristal yapıya sahip oluşu anormal bir sonuç değildir. Bilindiği üzere camlar, amorf yapıya sahiptirler. Bununla birlikte, bazı camların uygun sıcaklık ve sürede kontrollü olarak kristalleşme özelliği de mevcuttur [14]. İki serinin üretimi aynı ısıl işlem süresinde yapılmış olmasına rağmen, ısıl işlem sıcaklıkları farklıdır. Bu da  $\text{NaPO}_3$  camlarının kristalleşmesinin her sıcaklıkta ve her katkı için gerçekleşmeyeceğinin göstergesi kabul edilebilir.

Ortorombik kristal yapıya ait örgü parametreleri ( $a$ ,  $b$  ve  $c$ ) ve birim hücre hacmi ( $V$ ) değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntılar kullanıldı [12].

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

$$V = abc \quad (2)$$

Yukarıda verilen bağıntılarda geçen  $h$ ,  $k$  ve  $l$  terimleri Miller indisleri olarak bilinir ve  $d$  ise komşu iki düzlem arasındaki mesafeye karşılık gelmektedir. Bu denklemler yardımıyla hesaplanan  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $V$  değerleri Tablo 1'e kaydedilmiştir. İlgili tabloya bakıldığında L4 numunesi amorf yapıya sahip olduğu için doğal olarak bu dört parametrenin herhangi bir hesaplanmış değerine rastlanılamaz. İlgili tablodaki rapor edilen sonuçlara bakılacak olunursa; tüm örgü parametrelerinde Li katkısı ile birlikte sürekli bir düşüş meydana gelmektedir ve bunun neticesinde birim hücre hacminde de azalma tespit edilmektedir. Bu durum,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Li}^+$  iyonlarının iyonik yarıçapları ile ilişkilendirilebilir.  $\text{Na}^+$  için bu değer 0.102 nm iken,  $\text{Li}^+$  için 0.076 nm'dir. Daha küçük iyonik yarıçapa sahip  $\text{Li}^+$  iyonlarının, mevcut  $\text{Na}^+$  iyonlarının yerini alması durumunda kristal örgüde bir küçülmenin olması gayet normal bir durum teşkil eder. Ayrıca hesaplanan bu parametrelerdeki değişimler,  $\text{Li}^+$  iyonlarının  $\text{NaPO}_3$  yapı içerisine nüfuz ettiğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Kristal büyüklüğü ( $D$ ) değeri, iyi bilinen Scherrer denklemi vasıtasıyla hesaplandı [12].

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

Denklemden verilen  $\lambda$  X-ışınlarının dalga boyu,  $\beta$  yarı maksimumdaki tam pik genişliği ve  $\theta$  Bragg açısına karşılık gelmektedir. Kristal büyüklüğü değeri, L1, L2 ve L3 numuneleri için sırasıyla 20.86 nm, 15.25 nm ve 22.24 nm olarak hesaplanmıştır.

Kristalleşme yüzdesi ( $X_c\%$ ) hesabı aşağıdaki bağıntı kullanılmak suretiyle gerçekleştirildi [12]:

$$X_c \% = \frac{\sum A_c}{\sum A_c + \sum A_a} \times 100 \quad (4)$$

Burada  $\sum A_c$  ve  $\sum A_a$  terimleri sırasıyla, kristal ve amorf yapıları temsil eden pikler altında kalan toplam alanlara karşılık gelmektedir. Tablo 1'deki değerlere bakılacak olunursa; numunelerin hesaplanan kristalleşme yüzdeleri L1, L2 ve L3 için sırasıyla % 16.40, % 47.76 ve % 75.89 şeklindedir. L4 numunesinde kristalleşme mevcut değildir, yapı amorf halde kalmıştır.

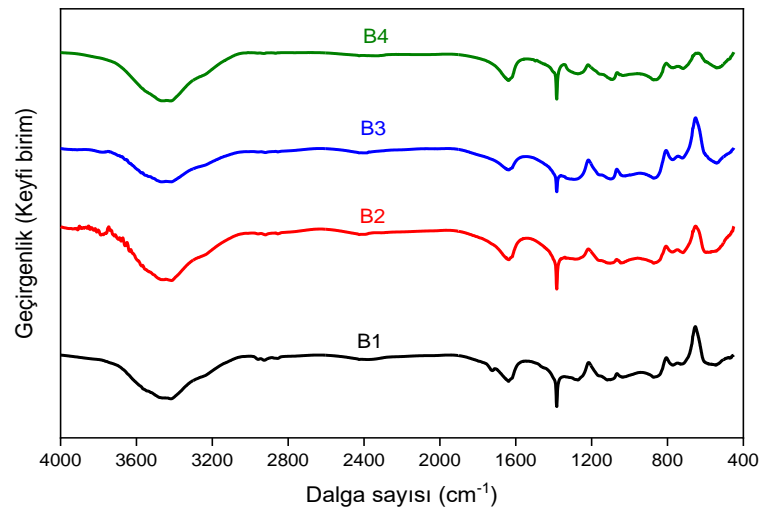
**Tablo 1.** Katkısız ve Li katkılı sodyum fosfat camlarına ait kristal yapı parametrelerinin hesaplanan değerleri

Numune	a (nm)	b (nm)	c (nm)	V (nm <sup>3</sup> )	D (nm)	X <sub>c</sub> (%)
L1	0,7947	1,3439	0,7867	0,8402	20,86	16,40
L2	0,7928	1,3333	0,7808	0,8253	15,25	47,76
L3	0,7891	1,3202	0,7696	0,8018	22,24	75,89
L4	-	-	-	-	-	-

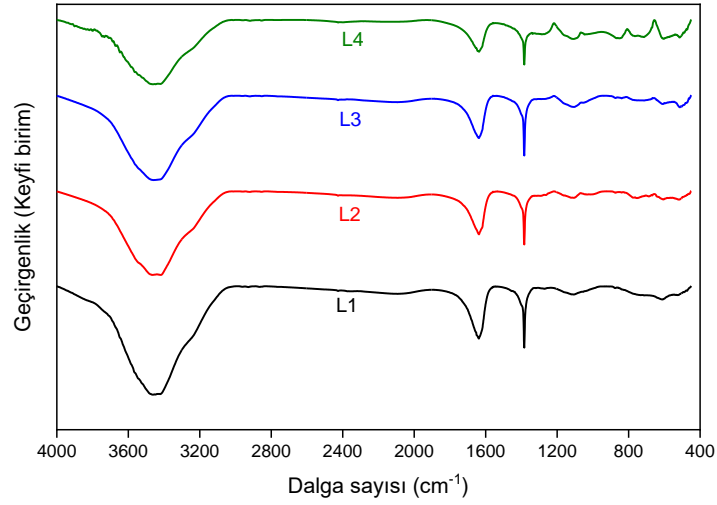
Tıpkı Li katkılı seriye ait L4 numunesinde olduğu gibi Ba katkılı serinin tüm numuneleri de amorf yapıya haiz olduğundan, bu numuneler için de a, b, c, V, D ve X<sub>c</sub>% parametrelerinin hesaplanması söz konusu değildir.

### B. FTIR Sonuçları

Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrumlarında fosfat grubunun ve adsorbe olmuş suyun titreşim modlarına ait bantlara rastlanmaktadır. Bunlardan fosfat grubuna karşılık gelen bantlar Ba katkılı seri için sırasıyla 533 cm<sup>-1</sup>, 877 cm<sup>-1</sup>, 1103 cm<sup>-1</sup> ve 1384 cm<sup>-1</sup>'de tespit edilmiştir [15-18]. Li katkılı seri için fosfat grubuna ait bantlar 520 cm<sup>-1</sup>, 1117 cm<sup>-1</sup> ve 1384 cm<sup>-1</sup>'de gözlemlenmiştir. Ba katkılı seri için 1637 cm<sup>-1</sup>'de tespit edilen bant ve 3453 cm<sup>-1</sup>'de gözlemlenen daha geniş bant, adsorbe olan suyun titreşim modlarına karşılık gelmektedir [19]. Li katkılı seri için bahsi geçen bantlar 1646 cm<sup>-1</sup> ve 3461 cm<sup>-1</sup>'de tespit edilmiştir.



**Şekil 4.** Elde edilen her bir sodyum fosfat camına ait FTIR sonucu

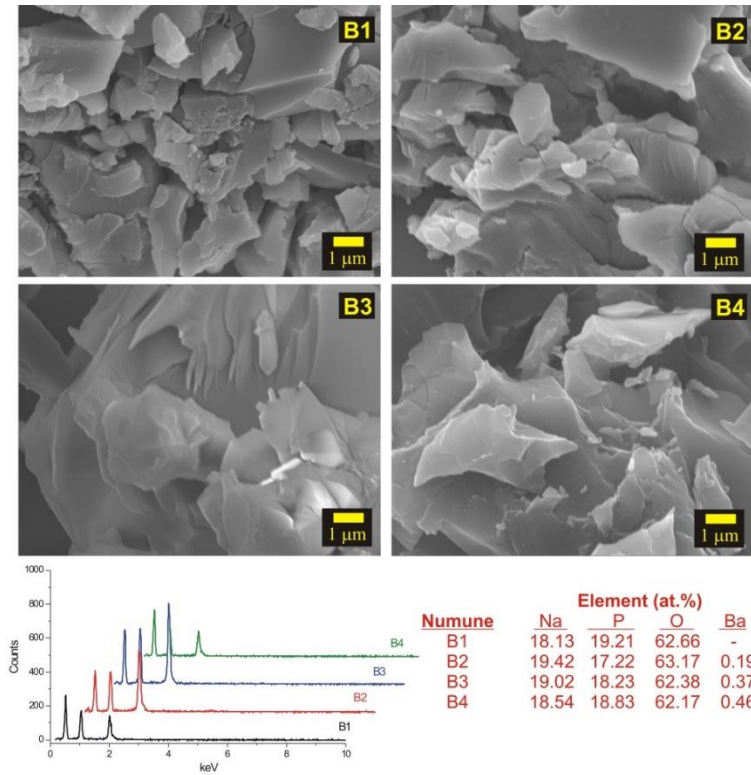


Şekil 5. Katkısız ve Li katkılı sodyum fosfat camlarının FTIR sonuçları

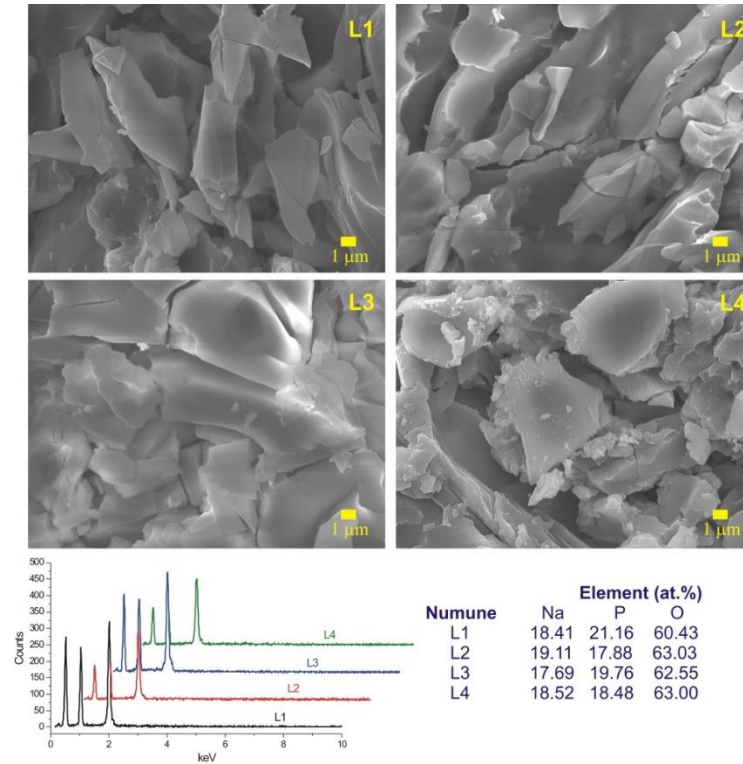
### C. Morfolojik Analizler

Şekil 6’da verilen, numunelere ait SEM görüntülerinin ve bu görüntü alınan bölgelerin elementel analizini veren EDX raporuna bakılacak olunursa şunları söylemek mümkündür. Morfolojik anlamda, Ba katkılanmış ve katkılanmamış numuneler arasında göze çarpan ciddi bir farklılık bulunmamaktadır. Görüntü alınan bölgelere ait EDX raporları da numuneler içerisinde beklendiği gibi katkısız numunede Na, P ve O ve katkılı numunelerde ise Na, P, O ve Ba elementlerinin tespit edildiğini göstermektedir. Bunların dışında fazladan bir elementin mevcut olmadığı da tespit edilmiştir. Dört numune için de Na ve P’nin atomik yüzdelerinin birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Ba elementinin atomik yüzdesinin katkılama ile orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Katkısız ve Li katkılı olarak üretilen sodyum fosfat camlarına ait SEM görüntüleri ve EDX analiz raporu Şekil 7’de verilmiştir. Li katkısının morfolojik anlamda çok ciddi bir değişim meydana getirdiği söylenememekle birlikte, özellikle L3 ve L4 numunelerinde nano-boyuttaki parçacıklara, yüzeyler üzerinde ve boşluk ve/veya çatlaklar arasında rastlamak mümkündür. EDX analiz sonuçları, numunelerde Na, P ve O elementlerinin bulunduğu ve kirlilik olarak kabul edilebilecek fazladan bir elementin tespit edilmediğine işaret etmektedir. EDX analizörü tarafından Li elementinin tespiti mümkün olmadığından, Li miktarının elementel bileşime ne doğrultuda bir etki yaptığı hakkında bir şey söylenmesi mümkün değildir. Ayrıca, EDX sonuçlarında gözlemlenen elementlerin atomik bileşimlerine bakıldığında, sonuçların her bir numune için NaPO<sub>3</sub> yapısının oluşumunu destekler nitelikte olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Ba katkılı numunelere ait SEM fotoğrafları ve görüntü alınan bölgelere ait EDX analiz raporu



Şekil 7. Li katkılı numunelere ait SEM görüntüleri ve EDX analiz raporu

#### IV. SONUÇ

Bu çalışmada, katkısız ve 0.01, 0.02 ve 0.03 M Ba ve yine aynı oranlara Li katkılanmış sodyum fosfat camlarının üretimi yaş kimyasal yöntem vasıtasıyla yapılmış, daha sonra bu camların FTIR, XRD, SEM ve EDX teknikleri ile karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

Ba katkılı seri için şu sonuçlara varılmıştır: Üretilen bütün numunelerin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. FTIR sonuçları sentez sonucunda sodyum fosfat camları oluştuğunu göstermiştir. Sentezlenen örneklerin SEM incelemelerinde, Ba katkısının ve bu katkılamanın miktarının morfoloji üzerinde etkiye sahip olduğunu gözlenmiştir. Son olarak EDX sonuçlarına bakıldığında, üretilen numunelerin sentez öncesinde hesaplanan teorik elementel bileşime yakın olduklarını ve Ba elementinin fosfat camlarının yapısına katıldığını görülmektedir.

Li katkılı numuneler içinse şu sonuçlara ulaşmak mümkündür: Li katkısının kristalleşme miktarı, örgü parametreleri ve kristal büyüklüğü üzerinde etkileri olduğu belirlenmiştir. L1 numunesinin düşük kristalleşmeye, L2 ve L3 numunelerinin ise yüksek kristalleşmeye sahip olduğu, L4 numunesinin ise amorf yapıda olduğu anlaşılmıştır. FTIR analizleri incelendiğinde elde edilen sonuçların sodyum fosfat camlarının oluşumunu desteklediği gözlenmiştir. Üretilen numunelerin morfolojik değerlendirmelerinde, Li katkılamanın morfoloji üzerinde etkili sonuçlara sebep olduğunu belirlenmiştir. Elementel analiz sonuçları, elde edilen ürünlerin sentez öncesinde hesaplanan elementel bileşime sahip olduklarını ve Li elementinin fosfat camlarının yapısına nüfuz ettiğini göstermektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Çetinkaya Çolak, S. (2009). Geçiş metal iyonları katkılı sodyum-fosfat camların elektrik, optik, yapısal, yüzeysel ve termal özellikleri. Doktora Tezi, Fizik Bölümü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [2] Orbay, B. (2007). Potasyum mikası ve kordierit içeren işlenebilir cam seramiklere çekirdeklenme katalisti (TiO<sub>2</sub>) ilavesinin kristalizasyon davranışı ve elektriksel özellikler üzerindeki etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] Çekli, C. (2005). Sodyum-potasyum mikası ve florapatit içeren işlenebilir cam seramiklerin kristalizasyon davranışları, işlenebilirlik özellikleri ve biyoaktivite karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] Choudhary, B. P. & Singh N. B. (2016). Properties of silver phosphate glass in the presence of nanosize cobalt and nickel oxides. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 440, 59–69.
- [5] Liang, X., Li, H., Wang, C., Yu, H., Li, Z. & Yang, S. (2014). Physical and structural properties of calcium iron phosphate glass doped with rare earth. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 402, 135–140.
- [6] Iturraran, N., Huriaux, K., Bao, Y., Gawne, D. T. & Guilment, J. (2018). Effect of melting parameters during synthesis on the structure and properties of tin fluoride phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 489, 64–70.
- [7] Chanthima, N., Tariwong, Y., Djamal, M., Kaewkhao, J. & Sangwanatee, N. (2018). Physical, optical and luminescence properties of Sm<sup>3+</sup> doped lithium aluminium phosphate glass system. *Materials Today: Proceedings*, 5, 15066–15071.
- [8] Novais, A.L.F., Dantas, N.O., Guedes, I. & Vermelho, M.V.D. (2015). Spectroscopic properties of highly Nd-doped lead phosphate glass. *Journal of Alloys and Compounds*, 648, 338–345.
- [9] Kim, K., Rahimi, S. K., Alam, T. M., Sorte, E. G. & Otaigbe, J. U. (2018). Unexpected effects of inorganic phosphate glass on crystallization and thermo-rheological behavior of polyethylene terephthalate. *Polymer*, 154, 135–147.
- [10] Reis, S.T., Karabulut, M. & Day, D. E. (2001). Chemical durability and structure of zinc-iron phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 292, 150–157.
- [11] Sirotkin, S., Meszaros, R. & Wondraczek, L. (2012). Chemical stability of ZnO–Na<sub>2</sub>O–SO<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> glasses. *International Journal of Applied Glass Science*, 3, 44–52.
- [12] Keser, S., Ateş, T. & Kaygılı, O. (2019). Cu katkılı NaPO<sub>3</sub> camlarının sentez ve karakterizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 552–561.
- [13] Ateş, T., Keser, S. & Kaygılı, O. (2019). Ag katkılı NaPO<sub>3</sub> camları: Sentez ve karakterizasyon. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 428–434.

- [14] Kaygılı, Ö. (2005). Radyasyonun cam-seramik maddelerin kristalleşme ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [15] Jha, P. K., Pandey, O. P. & Singh, K. (2016). Non-isothermal crystallization kinetics of K<sub>2</sub>O modified sodium-phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 440, 76-84.
- [16] Basak, A., Ramrakhiani, L., Ghosh, S., Sen, R. & Mandal, A. K. (2018). Preparation of chromium doped phosphate glass adopting microwave irradiation and comparative analysis of properties with conventional glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 500, 11-17.
- [17] Stefanovsky, S. V., Stefanovsky, O. I., Kadyko, M. I. & Nikonov, B. S. (2018). Sodium aluminum-iron phosphate glass-ceramics for immobilization of lanthanide oxide wastes from pyrochemical reprocessing of spent nuclear fuel. *Journal of Nuclear Materials*. 500, 153-165.
- [18] Liu, J., Zhu, Y., Wang, F., Liao, Q., Zhu, H., Deng, Y. & Zhu, Y. (2018). Properties and structural features of iron sodium phosphate glasses containing neodymium oxide. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 500, 92-97.
- [19] Abdelghanyi, A. M., El-Damrawi, G., Oraby, A. H. & Madshal, M. A. (2018). Optical and FTIR structural studies on CoO-doped strontium phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 499, 153-158.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## LEED Sertifikalı Ofis Binalarının Enerji ve Atmosfer Kriteri Açısından Değerlendirilmesi: Maslak Bölgesi Örneği

### Evaluation of LEED Certified Office Buildings in Terms of Energy and Atmosphere Criteria: The Case of Maslak Region

İbrahim Erol<sup>1\*</sup>, Gözde Çakır Kıasif<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 27/02/2021*

*Revize / Revised: 21/04/2021*

*Kabul / Accepted: 26/04/2021*

#### ÖZ

Dünyadaki enerji tüketiminin %50'si ve fosil yakıt tüketiminin %40'ı yapı yaşam döngüsü süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda bu süreçler, sera gazı etkisi oluşturan maddelerin salınımının %50'sini ve toplam hava kirliliğinin %24'ünü oluşturmaktadır. Bu anlamda, yapıların enerji ve atmosfer ile olan ilişkileri, tüm canlılar için hayati bir önem taşımaktadır. Dünyada birçok disiplin, çevresel sorunların azaltılması konusunda çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmaların bir neticesi olarak ortaya çıkan sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mimarlık kavramı, yapı sektörünün çevresel etkilerinin tartışılmasına olanak sağlamıştır. Bu kapsamda, mimari ürünlerin sürdürülebilirlik düzeylerinin ölçülmesini hedefleyen çeşitli sertifikalandırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri olan ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan LEED yeşil bina sertifikalandırma sistemi, puanlama sisteminde Enerji ve Atmosfer kriterine büyük bir pay ayırmıştır. Çalışmanın amacı Maslak'taki LEED sertifikalı ofis yapılarının Enerji ve Atmosfer kriteri bakımından sahip oldukları güçlü ve zayıf yönleri ortaya koyarak durum analizi yapmak ve iyileştirici-geliştirici önerilerde bulunmaktır. Bu kapsamda Alsar Maslak No:1, Orjin Maslak, Maslak Link Plaza, Olive Plaza ve Uniq İstanbul projeleri 'Enerji Performansının Optimize Edilmesi', 'Yerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı', 'Gelişmiş Yapılandırma', 'Gelişmiş Soğutma Yönetimi', 'Ölçüm ve Onaylama (Temel Bina-Kiracı Alt Ölçümü)' ve 'Yeşil Güç' açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgularda Enerji ve Atmosfer kriteri açısından Orjin Maslak Binasının en yüksek puanı (18/37), Olive Plaza'nın ise en düşük puanı (8/37) aldığı görülmüştür. Diğer üç bina 37 üzerinden 16 puan alarak aynı performansı sergilemişlerdir. Tüm bina ortalamaları üzerinden ele alındığında ise 'Gelişmiş Soğutma Yönetimi' ve 'Ölçüm ve Onaylama (Temel Bina - Kiracı Alt Ölçümü)' kredilerinde %80 ile en başarılı olunduğu, daha sonra %60 ile 'Gelişmiş Yapılandırma' kredisinin yerine getirildiği görülmüştür. 'Enerji Performansının Optimize Edilmesi (%34)' ve 'Yeşil Güç (%20)' kredilerinde istenilen performansın elde edilemediği 'Yerinde Yenilenebilir Enerji' kriterinin ise hiç kullanılmadığı ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** *Sürdürülebilirlik, Ofis Yapıları, LEED, Enerji ve Atmosfer*

#### ABSTRACT

50% of the energy consumption in the world and 40% of the fossil fuel consumption occur in the building life cycle processes. At the same time, these processes constitute 50% of the release of substances that create greenhouse gas effects and 24% of the total air pollution. In this sense, the relationship of structures with energy

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [ibrahimerol.arc@gmail.com](mailto:ibrahimerol.arc@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-3092-7128>)

Tasarım Bölümü, İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [gozdecakir@halic.edu.tr](mailto:gozdecakir@halic.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-7734-4990>)

Mimarlık Bölümü, Haliç Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye

and atmosphere is of vital importance for all living things. Many disciplines around the world work on reducing environmental problems. The concept of sustainability and sustainable architecture, which emerged as a result of these studies, made it possible to discuss the environmental effects of the building sector. In this context, various certification systems aimed at measuring the sustainability levels of architectural products have been developed. One of these systems, the LEED green building certification system, which is widely used in our country, has allocated a large share to the Energy and Atmosphere criteria in the scoring system. The study aims to analyze the situation by revealing the strengths and weaknesses of the LEED-certified office buildings in Maslak in terms of Energy and Atmosphere criteria and to make suggestions for improvement. The study aims to analyze the situation by revealing the strengths and weaknesses of the LEED-certified office buildings in Maslak in terms of Energy and Atmosphere criteria and to make suggestions for improvements and improvements. In this context, Alsar Maslak No: 1, Orjin Maslak, Maslak Link Plaza, Olive Plaza, and Uniq Istanbul projects have been evaluated in terms of 'Optimize Energy Performance', 'On-Site Renewable Energy', 'Enhanced Commissioning', 'Enhanced Refrigerant Mgmt', 'Measurement and Verification (Base Building- Tenant Submetering)' and 'Green Power'. In the findings obtained, it was seen that Orjin Maslak Building received the highest score (18/37) and Olive Plaza received the lowest score (8/37) in terms of Energy and Atmosphere criteria. The other three buildings scored 16 out of 37, performing the same. Considering all the building averages, it is seen that the 'Enhanced Refrigerant Mgmt' and 'Measurement and Verification (Base Building- Tenant Submetering)' credits are the most successful with 80%, and then the 'Enhanced Commissioning' loan is fulfilled with 60%. It has been revealed that the desired performance could not be achieved in "Optimize Energy Performance (34%)" and "Green Power (20%)" and the 'On-Site Renewable Energy' criterion was never used.

**Keywords- Sustainability, Office Buildings, LEED, Energy and Atmosphere**

## I. GİRİŞ

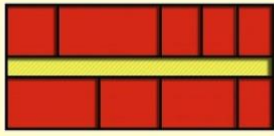
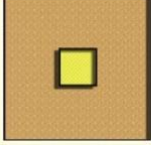
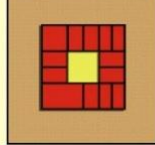
Mimarlık disiplini, yapı yaşam döngüsünün tüm süreçlerinde diğer birçok disiplinle birlikte hareket etmektedir. Bu süreçlerde ciddi bir enerji ve kaynak tüketimi meydana gelmektedir. Enerji ve kaynak tüketimlerinin neden olduğu ekonomik ve çevresel sorunlara, sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkması ile insanı merkezine alan çözüm önerileri getirilmiştir. Mimarlık disiplini de birlikte hareket ettiği, hatta üzerinde etkili olduğu diğer disiplinlerin sürdürülebilir çözümler üretebilmesine öncülük edebilmektedir. Bu anlamda, yeşil bina kavramı, sürdürülebilir mimarlık açısından önemli bir gelişme olarak kabul edilebilmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde yaygınlaşan yeşil bina sertifika sistemleri ise, binaların çeşitli kategorilerde ve birçok alt kritere göre değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED-Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) yeşil bina sertifika sistemi, ülkemizde sıklıkla tercih edilmektedir. LEED; arazi kullanımı, su verimliliği, malzeme ve kaynaklar, enerji ve atmosfer, inovasyon ve bölgesel öncelik gibi birçok kriter üzerinden binaları derecelendirmektedir. LEED'in değerlendirme süreci içerisinde yer alan enerji ve atmosfer; sosyal, çevresel ve ekonomik anlamda binaların sürdürülebilirliğinde büyük bir öneme sahiptir. Enerji ve atmosfer kategorisi; işletmeye alma, enerji kullanımını gözlemlenme, verimli tasarım ve yapı, verimli uygulamalar, verimli sistemler ve aydınlatma uygulamaları, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı, saha içinde veya dışında enerji üretimi ve diğer yenilikçi stratejiler gibi çok çeşitli enerji stratejilerini teşvik etmektedir [1]. Bu anlamda, araştırma kapsamında günümüzde ofis binalarının yoğunlaştığı Maslak Bölgesi özelinde ele alınan LEED sertifikalı ofis binalarının, enerji ve atmosfer kategorisinden aldıkları puanlar değerlendirilerek karşılaştırılmaktadır. Araştırmanın sağlıklı bir zeminde yapılabilmesi ve değişkenlerin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için yalnızca 'çekirdek ve kabuk' kategorisinde sertifika alan ofis binaları araştırma kapsamına alınmaktadır. Araştırma verilerinin elde edilmesinde literatür taramasına dayalı bir yöntem izlenerek; binalarla ilgili skor tabloları ve alt kriterlere ait bilgilere, LEED'in resmi online veritabanı / web sayfası üzerinden ulaşılmaktadır [2]. Elde edilen veriler, oluşturulan tablolar üzerinden detaylı bir şekilde değerlendirilerek puan kaybına neden olan unsurlar ortaya konulmaktadır. Araştırmanın amacı, Maslak Bölgesindeki LEED Sertifikalı ofis yapılarının enerji ve atmosfer kategorisinde almış oldukları puanlar üzerinden kullanılan yöntemleri incelemek, üstün ve zayıf yönlerini ortaya koymak ve çözüme yönelik öneriler geliştirmektir. Geliştirilen öneriler neticesinde, yapıların sürdürülebilirliği üzerinde önemli bir paya sahip olan enerji ve atmosfer kategorisindeki eksiklikler giderilebilecek, binaların sertifikasyon süreçlerinde daha başarılı sonuçlar elde edilebilecek ve diğer ofis yapılarına sürdürülebilirlik anlamında örnek teşkil edebilecektir.



## II. OFİS KAVRAMI

Mimari, tasarımsal ve sosyolojik bir olgu olan ofis, en genel tanımı ile insanların birlikte veya tek olarak çalıştığı oda ya da alana verilen addır. Scognamillo'ya göre ofis, bir işin yapıldığı, bir uğraşın sürdürüldüğü yerdir [3]. Bu tanım, sadece bir avukat ya da işadamının çalışma alanı, bir banka ve dükkan değil; bir yontucu stüdyosu, bir kokteyl bar, bir doktor muayenesi ve ya bir karakol gibi birçok mekanı da kapsamaktadır. Mitchell'e göre ise günümüz ofisinin tanımı, sayısız belgenin, hesabın ve görsel malzemenin toplandığı, depolandığı, iletildiği ve dağıtıldığı, bilgiye dayalı işlerin özelleştirilmiş mekanıdır [3]. "Tasarım uzmanı Francis Duffy, ofis mekânlarının tarihsel gelişimini; Ev mekanları dönemi (1849-1864), Gökdelen kağıt fabrikaları (1894-1904), Ortak kontrol dönemi (1954-1963) ve Endüstriyel demokrasi dönemi (1973 ve sonrası) olmak üzere dört kısımda incelemiştir" [4].

İlk ofis örneklerinin gelişimi, günümüzdeki kadar hızlı olmasa da, teknolojiyle (elektrik, daktilo ve telefon gibi) paralel olarak değişim göstermiştir [5]. Sanayileşme ile artan çalışan sayısı ve ikinci dünya savaşı sonrasında geliştirilen ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme teknolojileri, ofis tasarımlarını daha ekonomik hale getirmiştir. Gelişen teknolojiler sayesinde ofis çalışanlarının pencerelere yakın konumlandırılması gerekliliği ortadan kalkmıştır [6]. Bu durum, geçmişten günümüze, geleneksel ofis plan tiplerinin çeşitlenmesinde oldukça etkili olmuştur.

Ofis Plan Tipleri		
Kapalı Ofis Plan Tipi	Açık Ofis Plan Tipi	Karma Plan Tipi
Bireysel Plan Tipi Grup Plan Tipi Yarı Kapalı(Combi)	Açık Plan Tipi Serbest Plan Tipi	Bireysel Plan Tipi Grup Plan Tipi Yarı Kapalı Açık Plan Tipi Serbest Plan Tipi
KAPALI OFİS PLAN TİPİ	AÇIK OFİS PLAN TİPİ	KARMA OFİS PLAN TİPİ
		

Şekil 1. Ofis Plan Tipleri [7]

Geleneksel ofis plan tipleri, Kapalı, Açık ve Karma plan tipi olmak üzere üç başlık altında incelenebilmektedir. Kapalı ofis plan tipi, Ortaçağ'da örnekleri görülebilecek olan en eski plan tiplerindedir. Bölücü duvarlar ile ayrılan hücre şeklindeki mekanların bir koridor etrafında dizildiği kapalı ofis plan tipinde, doğal ışık kullanımı esas olduğu için mekan derinlikleri 5-6 metre ile sınırlandırılmak durumundadır. Hücre yapısı nedeni ile çalışanlar arasındaki iletişim fiziksel olarak kısıtlıdır ve takım çalışmaları için elverişli değildir. Yapısı itibarı ile mekansal değişikliklerin mümkün olmaması, kapalı ofis plan tipinin esneklikten yoksun olduğunu göstermektedir. Açık ofis plan tipi, 20. Yüzyılın başlarında ortaya çıkmaya başlayan ve çalışma mekanları arasındaki ayrımın bölücü elemanlar / mobilyalar aracılığı ile gerçekleştirildiği, kapalı ofis plan tipine göre nispeten daha esnek bir kullanıma sahip olan plan tipidir. İşlevsel esneklik aynı şekilde mekan derinliklerinde de görülmektedir. Açık ofis plan tipi, takım çalışmalarına elverişli olmakla birlikte, çalışanlar arasındaki iletişimi de arttırmaktadır. Bireysel, grup, yarı kapalı, açık ve serbest plan tiplerinin işlevsel ihtiyaçlara göre birlikte çözümlendiği plan tipi olan karma plan tipinin, günümüzde birçok yapıda tercih edildiğini söylemek mümkündür.

## III. ENERJİ VE ATMOSFER, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, LEED

Günümüzde, inşaat teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, büyük ölçekli projelerin hayata geçirilmesini kolaylaştırmaktadır. Ülkemizde son yıllarda artan yapılaşma faaliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, binaların yapım ve işletme süreçlerinin çevresel etkileri tartışma konusu haline gelmiştir. "Küresel anlamda, kullanılan enerjinin %50'si, suyun %42'si, ahşap üretiminin %25'i ve fosil yakıtların %40'ı yapılaşma faaliyetleri için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, CO<sub>2</sub> ve sera etkisine neden olan diğer gazların toplam üretiminin %50'si, içme suyu kirliliğinin %40'ı ve hava kirliliğinin %24'ü yapılaşma faaliyetlerinde atık olarak ortaya çıkmaktadır" [8]. Eryıldız'ın da belirttiği gibi, yapılaşma faaliyetlerinin doğa ve atmosfer üzerindeki olumsuz etkileri oldukça fazladır. Ancak, enerji kullanımı, fosil yakıt tüketimi ve gaz salınımları yapılaşma sürecinin tamamlanmasından sonra da devam etmektedir. Bu anlamda, inşa edilen/edilecek binaların yaşam döngüsünün tüm evrelerinde; enerji

sistemleri, enerji kaynakları, gaz salınımları, enerji verimliliği gibi unsurlar enerji ve atmosfer açısından önem taşımaktadır.

Günümüzde birçok disiplin çevresel sorunların çözümü ve enerji yönetimi konusunda çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Çok daha eski bir tarihten itibaren tartışma konusu haline gelen sürdürülebilirlik kavramı, tüm disiplinler için bu sorunların çözümüne yönelik araştırmaların ve çalışmaların ortak merkezi haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik, doğal kaynakları tüketmeyen, ekonomi ile ekosistem arasındaki dengeyi koruyan, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılayabilme olanaklarını ellerinden almayan, ekolojik açıdan sürdürülebilir nitelikte olan kalkınma olarak tanımlanmaktadır [9]. Sürdürülebilir kalkınma, birçok disiplinde tartışılan bir kavram olarak sosyal, ekonomik ve çevresel anlamda mimarlık disiplini tarafından da tartışılmaktadır.

Dünya genelinde, mimari ürünün sürdürülebilir olmayı ne düzeyde sağladığını ölçebilmek amacıyla çeşitli sertifikalandırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu sertifikalandırma sistemlerine genel olarak “Yeşil Bina Sertifikalandırma” sistemleri adı verilmektedir [9]. Aynı amaç doğrultusunda hareket eden bu sertifikalandırma sistemleri ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir. Dünya’nın birçok ülkesinde faaliyet gösteren çok sayıda sertifikalandırma kuruluşları bulunmaktadır.

BREEAM	SBTOOL	LEED	GREENSTAR	CASBEE	DGNB
• 1990 • İNGİLTERE	• 1996 • KANADA	• 1998 • AMERİKA	• 2003 • AVUSTRALYA	• 2004 • JAPONYA	• 2008 • ALMANYA

Şekil 2. Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemlerinden Bazıları

En çok bilinen ve görece daha gelişmiş olarak kabul edilebilecek olan sertifikasyon sistemlerinin başlıcaları Şekil 2’de görüldüğü gibi: İngiltere’de BREEM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method - Bina Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu), Kanada’da SBTOOL (Sustainable Building Tool - Sürdürülebilir Bina Aracı), Amerika’da LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik), Avustralya’da GREEN STAR (Yeşil Yıldız), Japonya’da CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency - Binaların Çevresel Etkinliği için Detaylı Değerlendirme Sistemi) ve Almanya’da DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi Sistemi) olmak üzere kuruluş yıllarına göre sıralanabilmektedir. “Yeşil bina sertifika sistemleri, binayı ürün bazında taşımış bulunduğu “yeşil” olma niteliklerinin ne düzeyde yeterli olduğu konusundaki görecelilikten kurtarmakta, ürüne gerçeklik kazandırmakta, ölçülebilir ve değerlendirilebilir hale getirerek yapı sektörü ve ilgili kişiler açısından kolay anlaşılabilir ve tanımlanabilir kılmaktadır. [9]. Böylece, (yeşil) binalar, sürdürülebilir mimarlık kavramının somutlaştırılmış bir örneğini temsil edebilecek noktaya gelebilmektedirler. Günümüzde, dünyanın birçok yerinde faaliyet gösteren sertifikasyon sistemleri, birbirlerinden bağımsız olarak özgün değerlendirme kriterlerine sahiptir. Puanlama sisteminde enerji ve atmosfer kriterine büyük bir yer ayıran ve ülkemizde yaygın olarak tercih edilmekte olan LEED sertifikasyon sistemi, araştırma kapsamında incelemeye değer görülmüştür.

Amerikan Yeşil Bina Konseyi - USGBC (United States Green Building Council) tarafından oluşturulan LEED sertifika süreci ilk olarak Amerika’da kullanılmaya başlanmıştır. “LEED yeşil bina sertifika sistemi güncellemelere açık ve esnek bir niteliğe sahiptir. İlk olarak, 1998 yılında LEED v.1.0 olarak kullanıma sunulmuştur. Kısa süre sonra 2000 yılında LEED v.2.0 sertifika sistemi ile güncelleme gerçekleştirilmiştir” [9]. Daha sonra sistem 2009 yılında LEED v.3.0 ve 2014 yılında LEED v.4.0 olarak güncellenmiştir.

Özcan (2013), LEED sertifikalandırma sürecini şu şekilde açıklamıştır:

“Sistem, USGBC organizasyonu başkanlığında, LEED Technical Committee (Teknik Komite) ve LEED Steering Committee (İcra Komitesi) tarafından yürütülmektedir. Değerlendirme sürecine gönüllülük esasına bağlı olarak yapılan başvuru ve projenin sisteme kaydedilmesi ile başlanır. Projeye ait inşaat kayıtları, tüm mühendislik hesaplamaları, enerji modellemesi raporu, projeye ait tüm çizim, diyagram ve yazılı açıklamalar internet üzerinden LEED’e teslim edilir. Gerekli incelemenin ardından ön koşul ve kriterleri sağlayan proje değerlendirme sürecine alınır. Değerlendirme sürecinde, yapı türüne bağlı olarak özel olarak geliştirilmiş puanlama sistemi, yapı üzerine uygulanarak yapıya ait toplam yeşil bina değeri hesaplanır. Hesaplama sonucunda yapıya ait toplam puan, sertifikalandırma sistemine ait değerlendirme tablosunda uygun bulunan sertifika tipi ile sertifikalandırılır.

Sertifika belgesi düzenlenir ve başvuru sahiplerine sunulur. Başvuru, değerlendirme süreci ve sertifika almaya hak kazanan yapılar için sertifika belgesinin hazırlanması ortalama altı aylık bir zamanı kapsamaktadır” [9].

LEED v.3.0 versiyonunda; Yeni Yapılar (LEED-NC), Mevcut Yapılar (LEED-EB), Ticari İç Mekanlar (LEED-CI), Çekirdek ve Kabuk (LEED-CS), Okullar (LEED-S), Sağlık Yapıları (LEED-H), Konutlar (LEED-Homes) ve Mahalle Gelişimi (LEED-ND) olmak üzere çeşitli yapı türleri için denetleme sistemleri oluşturmuştur [10;11]. Araştırma kapsamında değerlendirilecek uygulama örnekleri, aynı kriterler üzerinden karşılaştırılabilmesi için, LEED 2009 v.3.0 sürümü ve ‘Çekirdek ve Kabuk’ sınıfında sertifikalandırılan binalar olarak belirlenmiştir. LEED her yapı sınıfı için farklı değerlendirme kriterleri geliştirmiştir. Çekirdek ve Kabuk olarak sınıflandırdığı yapı türündeki binaları, Şekil 3’te görüldüğü üzere; Sürdürülebilir Araziler (Sustainable Sites), Su Verimliliği (Water Efficiency), Enerji ve Atmosfer (Energy and Atmosphere), Malzeme ve Kaynaklar (Materials and Resources), İç Ortam Kalitesi (Indoor Environmental Quality), İnovasyon (Innovation), Bölgesel Öncelik (Regional Priority), Yerleşim ve Ulaşım (Location and Transport) olmak üzere 7 kriter üzerinden değerlendirmektedir.



Şekil 3. LEED Değerlendirme Kriterleri [12].

Bu sistemde binalar, değerlendirme kriterlerinin her birinin alt kriterlerinden gelen krediler ile genel bir skor elde etmektedirler. Tüm kriterlerden aldıkları puanlar toplanarak binanın skoru / toplam puanı belirlenmektedir.

Tablo 1. Bina toplam puanlarına göre kazanılacak olan sertifika türleri.

Toplam Puan	Sertifika Türü
40-49	Sertifikalı
50-59	Silver
60-79	Gold
80-110	Platinum

Tablo 1’de görüldüğü gibi, 40 puanın altındaki binalar sertifikalandırılmamakta, toplam puanı 40-49 arasında olan binalar ise derecesiz olarak sertifikalandırılmaktadır. Toplam puanı 50-59 arasında olan binalar LEED Silver; 60-79 arasında olan binalar LEED Gold, 80-110 arasında olan binalar ise LEED Platinum derecesi ile sertifikalandırılmaktadır [10-13].

Tüm kriterlerden tam puan alınması durumunda bina 110 puana ulaşabilmektedir. Kriterlerin 110 tam puanı üzerindeki puan dağılımları ise Tablo 2’de verilmiştir:

**Tablo 2.** Değerlendirme kriterlerinin puan dağılımları.

Kriterler	Puan Dağılımları
1. Sürdürülebilir Araziler	28 / 110
2. Su Verimliliği	10 / 110
3. Enerji ve Atmosfer	37 / 110
4. Malzeme ve Kaynaklar	13 / 110
5. İç Ortam Kalitesi	12 / 110
6. İnovasyon	6 / 110
7. Bölgesel Öncelik	4 / 110

Araştırma kapsamında değerlendirilen ‘Enerji ve Atmosfer’ kriterinin, 37 puan ile toplam puan / skor içerisinde en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. LEED Enerji ve Atmosfer değerlendirmesini, 3 ön koşul ve 6 başlıktan oluşan alt kredilere dayandırmaktadır. Ön koşullardan ilki, binanın henüz tasarım aşamasında iken belirlenen işletmeye geçiş süreci ile ilgili şartların yerine getirilmesini amaçlayan ‘Temel Bina Enerji Sistemlerinin Kullanılması’dır. İkinci ön koşul olan ‘Minimum Enerji Performansı’ ise binalarda minimum enerji harcayarak maksimum verim almayı hedeflemektedir. Bu koşulun sağlanmasında enerji maliyet bütçelerinin tasarım aşamasında iken belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Üçüncü ve son ön koşul olan ‘Temel Soğutma Yönetimi’, binaların soğutma sistemlerinde kullanılan ve ozon tabakasına zarar veren Kloroflorokarbonların (CFCs) yapıdan uzaklaştırılmasını, hatta kullanılmamasını gerektirmektedir. Eğer mevcut durumda kullanımda ise, bu ön koşulun sağlanabilmesi için, bu maddenin binadan kaldırılması ile ilgili geleceğe yönelik bir planlama sunulması gerekmektedir. LEED, bu üç ön koşulun sağlanması durumunda, binaları Tablo 3’te verilmiş olan ‘Alt Krediler’ ile ‘Enerji ve Atmosfer Kriteri’ bakımından değerlendirmektedir.

**Tablo 3.** Enerji ve atmosfer kriterinin alt kredilerine ait puan ağırlıkları ve oranlar.

Alt Krediler	Enerji ve Atmosfer Kriteri İçerisindeki	
	Puanı	Oranı
<b>EAc1</b> Kredi 1 Enerji Performansının Optimize Edilmesi	<b>21/37</b>	57%
<b>EAc2</b> Kredi 2 Yerde Yenilenebilir Enerji	<b>4/37</b>	11%
<b>EAc3</b> Kredi 3 Gelişmiş Yapılandırma	<b>2/37</b>	5%
<b>EAc4</b> Kredi 4 Gelişmiş Soğutma Yönetimi	<b>2/37</b>	5%
<b>EAc5.1</b> Kredi 5.1 Ölçüm ve Onaylama - Temel Bina	<b>3/37</b>	8%
<b>EAc5.2</b> Kredi 5.2 Ölçüm ve Onaylama - Kiracı Alt Ölçümü	<b>3/37</b>	8%
<b>EAc6</b> Kredi 6 Yeşil Güç	<b>2/37</b>	5%

Enerji performansının optimize edilmesi kredisi, 21 puan ile Enerji ve Atmosfer toplam puanının %57’sini, yerinde yenilenebilir enerji %11’ini, Ölçüm ve onaylama ise %8’ini oluşturmaktadır. Gelişmiş yapılandırma, gelişmiş soğutma yönetimi ve yeşil güç kredileri ise sahip oldukları 2’şer puanlık dilimleri ile enerji ve atmosfer puanına her biri %5’lik etki etmektedirler.

‘Enerji Performansının Optimize Edilmesi’, hem Enerji ve Atmosfer kategorisinin hem de LEED sisteminin en yüksek puanına (21 puan) sahip olan bir kredidir. Enerji performansı, binanın dış kabuğunu, havalandırma unsurlarını, güç dağıtım ve aydınlatma sistemlerini kapsamaktadır. Bu başlık altında puan alınabilmesi, yapıların enerji simülasyonlarının geliştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir.

Ağırlıklı puan olarak ikinci sırada yer alan ‘Yerde Yenilenebilir Enerji’, binalardaki enerji kaynaklarının yenilenebilirlikleri ile ilgilidir. Üretilen enerjinin binanın yıllık enerji maliyeti içindeki yüzdesi arttıkça, bu başlık altında daha fazla puan kazanılabilmektedir.

Üçüncü sırada yer alan ‘Gelişmiş Yapılandırma’, bu kategorinin ilk ön koşulu olan ‘Temel Bina Enerji Sistemlerinin Kullanımı’nın, enerji sistemi tasarımlarının ve girişimci sunumlarının incelenmesi, yapı operatörleri için elle kontrol edilebilen sistemler oluşturulması, ayrıca çalışanların eğitiminin ve performansının

doğrulanabilmesi için 10 aylık kullanma süresi boyunca yapı operasyonlarının yeniden denetlenmesini kapsayacak şekilde geliştirilmesini hedeflemektedir.

‘Gelişmiş Soğutma Yönetimi’ ise, binalarda bulunan soğutma unsurlarının ozon tabakasına etkisinin değerlendirilmesini, zararlı maddelerin kullanımının azaltılmasını ve hatta mümkünse tamamen engellenmesini esas almaktadır. Bu kapsam atılan adımlar ile ozon tabakasına zarar verebilecek etkenler ortadan kaldırılabilmeğe ve yapılan ölçümlere göre puan kazanılabilmektedir.

‘Ölçüm ve Onaylama’ kredisi, aslında binalardaki operasyonel etkilerin başlangıçta belirlenen tüketim miktarları ile uyumunun ölçümüne yönelik geribildirimler sunan bir sensör sisteminin kurulmasını kapsamaktadır.

Son olarak, yenilenebilir enerji kullanımının bir devamı niteliğinde olan ‘Yeşil Güç’, binanın enerji ihtiyacının %35’lik bir kısmının iki yıl boyunca yeşil enerji üretebilen kaynaklardan sağlanmasını amaçlamaktadır.

Çalışmanın kapsamı ve yönteminin belirlenmesinde Türkiye’deki benzer çalışmalar incelenip detaylı bir literatür taraması yapıldığında;

- Gürgün (2017) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’deki LEED NC 2009 Sertifikalı 78 adet binayı ‘Enerji ve Atmosfer’ kriterinden aldığı puanlar bağlamında incelediği görülmüştür. Bu çalışmada binalar arasında herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır. Sadece puanların kazanılmasında kullanılan uygulamalar ile puanların kaybedilme nedenleri üzerinde durulmuştur [14].
- Saka (2011) ortaya koyduğu çalışmada İTÜ ARI Teknokent Kuluçka Merkezinin sürdürülebilirliğini LEED Sertifikasına ait yedi kriter üzerinden ele almıştır. İçlerinde Enerji ve Atmosfer kriterinin de bulunduğu diğer kriterler Sürdürülebilir Arazi, Su Verimliliği, Malzeme ve Kaynaklar, İç Mekan Hava Kalitesi, Tasarımda Yenilik ve Yerel Öncelik’tir. Çalışma, yukarıda ismi geçen örnek üzerinden herhangi bir karşılaştırma yapmadan binanın sürdürülebilirliğini değerlendirmiştir [15].
- Çakır Kıasif (2019) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul’daki LEED sertifikalı yükseköğretim yapıları tüm kriterler üzerinden ele alınmış ve binaların aldığı puanlar üzerinden bir karşılaştırma yapılarak sürdürülebilir stratejilerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur [16].
- Akıner ve Akıner (2020)’in çalışması incelendiğinde belgelendirilmemiş bir örnek olay üzerinden Atatürk Orman Çiftliğinin kuruluş döneminin LEED değerlendirme sistemi ile ele alındığı görülmüştür [17].
- Çakır Kıasif (2020)’in ele aldığı araştırma makalesinde, İstanbul’daki LEED Sertifikalı Otel Projelerini Su Etkinliği Kriteri açısından değerlendirdiği, karşılaştırdığı ve önerilerde bulunduğu görülmüştür.

#### IV. MASLAK’TAKİ LEED SERTİFİKALI OFİS BİNALARININ ENERJİ VE ATMOSFER KRİTERİ PERFORMANSI

Maslak, İstanbul’un Sarıyer ilçesinde yer alan ve günümüzle sıklıkla yüksek yapıları ile gündeme gelmekte olan bir bölgedir. Bölgede ulusal ve uluslararası şirketlerin yönetim merkezleri (ofisleri), rezidans, üniversite ve hastane gibi işlevlere sahip birçok LEED sertifikalı bina yer almaktadır.



Şekil 4. Maslak Bölgesi’ndeki yüksek yapılar [18]

Maslak bölgesinde, LEED sertifikasyon sürecini tamamlamış 17 adet proje bulunmaktadır. Bu anlamda bölgenin, enerji ve atmosfer kriterinin değerlendirilebilmesi açısından araştırma kapsamında değerlendirilmesi

uygun görülmüştür. Bölgede yer alan LEED sertifikalı binalar, bunların proje tipleri, sertifikasyon sürecine dahil oldukları yapı türleri, elde ettikleri puanlar, dereceler ve kullanılan sistem versiyonları, Tablo 4’te verildiği gibidir:

**Tablo 4.** Maslak Bölgesindeki LEED Sertifikalı Binalar

Projenin Adı	Proje Tipi	LEED Yapı Türü	LEED Ver.	Puanı	Sertifika Türü
1. JLL TURKEY HQ	Ofis	Commercial Interior	v2009	84	Platinum
2. OLIVE PLAZA	Ofis	Core and Shell	v2009	61	Gold
3. AĞAOĞLU MASLAK 1453 C BLOK	Rezidans	New Construction	v2009	61	Gold
4. GROUPAMA PLAZA	Ofis	Existing Buildings Operations and Maintenance	v2009	61	Gold
5. DELOITTE MASLAK NO/1 OFFICE	Ofis	Commercial Interiors	v2009	63	Gold
6. BAXTER TURKEY HQ	Ofis	Commercial Interiors	v2009	58	Silver
7. AĞAOĞLU MASLAK 1453 A BLOK	Rezidans	New Construction	v2009	60	Gold
8. MASLAK LINK PLAZA	Ofis	Core and Shell	v2009	65	Gold
9. ACIBADEM MASLAK 2. ETAP HASTANESİ	Hastane	Healthcare	v4	60	Gold
10. ALSAR MASLAK NO 1	Ofis	Core and Shell	v2009	67	Gold
11. SPINE MASLAK	Rezidans	Core and Shell	v2009	64	Gold
12. ERNST YOUNG İSTANBUL OFFICE	Ofis	Commercial Interiors	v2009	67	Gold
13. BAT İSTANBUL OFFICE	Ofis	Commercial Interiors	v2009	81	Platinum
14. UNIQ İSTANBUL	Ofis / Kültür Merkezi	Core and Shell	v2009	57	Silver
15. ORJIN MASLAK	Ofis	Core and Shell	v2009	65	Gold
16. AĞAOĞLU MASLAK 1453 UNIVERSITY	Eğitim	New Construction	v2009	60	Gold
17. AĞAOĞLU MASLAK 1453 B BLOK	Rezidans	New Construction	v2009	63	Gold

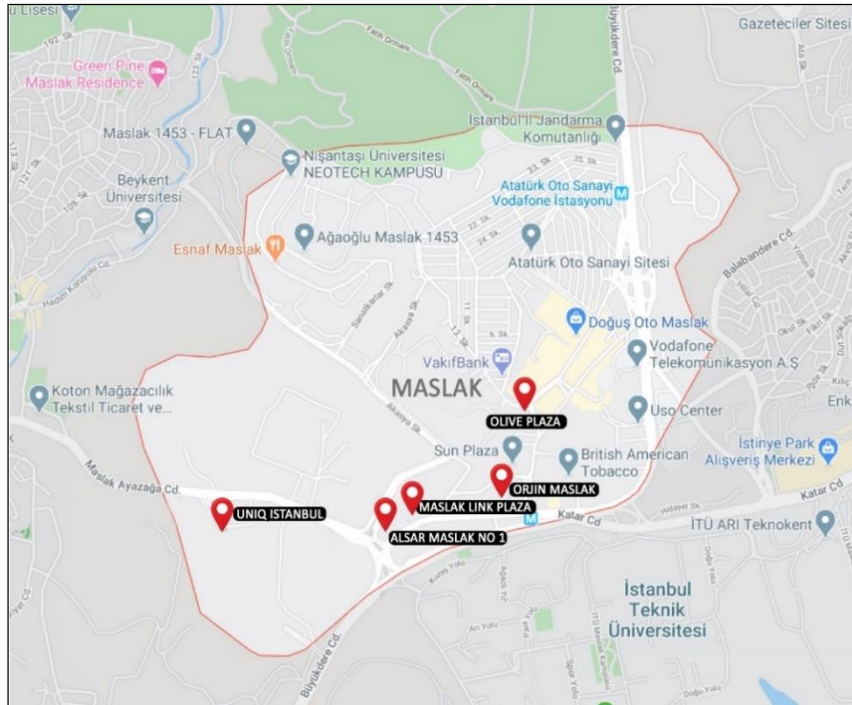
İlgili binaların sağlıklı bir zeminde değerlendirilebilmesi için bölge (Maslak) sınırlaması yeterli görülmemektedir. Enerji ve atmosfer kriteri bakımından karşılaştırılacak olan binaların öncelikle işlevleri, LEED tarafından değerlendirilmeye tabi tutulduğu yapı türleri ve değerlendirilen LEED sistem versiyonları bakımından aynı paydada yer almaları önem taşımaktadır. Bu nedenle, yalnızca Maslak Bölgesi’nde yer alan ‘ofis’ işlevine sahip olan ve LEED Core and Shell (Çekirdek+Kabuk) yapı türünde değerlendirilen binalar araştırma kapsamına dahil edilmiştir.

## V.BULGULAR

Maslak Bölgesinde bulunan 17 adet LEED sertifikasına sahip proje arasından v2009 Core and Shell ofis yapıları tarandığında 5 adet örneğe rastlanılmıştır. Alsar Maslak No:1, Orjin Maslak, Maslak Link Plaza, Olive Plaza ve Uniq İstanbul adlı bu 5proje, sisteme kayıt tarihleri, sertifika tarihleri ve brüt metrekafe değerleri ile birlikte Tablo 5'te gösterilmiştir.Bulguların analizinde faydalanılan projelere ait puanlar LEED'in resmi web sitesinden (<https://www.usgbc.org/projects>) çekilmiş ve her bir projeye ait skor kartları incelenmiştir. Bu skor kartlarında belirtilen 7 adet kriter üzerinden aldığı puan dağılımları Tablo.6'da gösterilmiş ve çalışma kapsamında Enerji ve Atmosfer kriteri değerlendirilmeye alınmıştır.

Tablo 5. Maslak Bölgesindeki LEED sertifikalı binalar

Projenin Adı	Proje Tipi	LEED Yapı Türü	LEED Ver.	Puanı	Sertifika Türü	Sertifika Tarihi	Kayıt Tarihi	Brüt Metrekare
1. ALSAR MASLAK NO 1	Ofis	Core and Shell	v2009	67	Gold	5/7/15	10/18/11	230477
2. ORJIN MASLAK	Ofis	Core and Shell	v2009	65	Gold	4/24/15	10/18/11	594881
3. MASLAK LINK PLAZA	Ofis	Core and Shell	v2009	65	Gold	9/20/16	5/31/13	206236
4. OLIVE PLAZA	Ofis	Core and Shell	v2009	61	Gold	2/23/12	7/19/10	113015
5. UNIQ İSTANBUL	Ofis / Kültür Merkezi	Core and Shell	v2009	57	Silver	9/18/15	9/26/11	1043929



Şekil 5. Maslak Bölgesi ve LEED C+S (Bina ve Kabuk) sertifikalı ofis binalarının konumları

Aynı LEED versiyonu (v2009 – 3.0) üzerinden değerlendirilen bu 5 projenin 4'ünün Gold derecesine, birinin ise Silver derecesi sahip olduğu görülmektedir. İlgili projelerin 110 tam puan üzerinden tüm kriterler açısından aldıkları puanlar, Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Belirlenen binaların LEED puan dağılımları

	<b>ALSAR MASLAK NO 1 Aldığı Puan</b>	<b>ORJİN MASLAK Aldığı Puan</b>	<b>MASLAK LINK PLAZA Aldığı Puan</b>	<b>OLIVE PLAZA Aldığı Puan</b>	<b>UNIQ İSTANBUL Aldığı Puan</b>
1. Sürdürülebilir Araziler	(24 / 28)	(21 / 28)	(22 / 28)	(24 / 28)	(21 / 28)
2. Su Verimliliği	(8 / 10)	(7 / 10)	(10 / 10)	(8 / 10)	(8 / 10)
3. Enerji ve Atmosfer	<b>(16 / 37)</b>	<b>(18 / 37)</b>	<b>(16 / 37)</b>	<b>(8 / 37)</b>	<b>(16 / 37)</b>
4. Malzeme ve Kaynaklar	(6 / 13)	(4 / 13)	(4 / 13)	(5 / 13)	(2 / 13)
5. İç Ortam Kalitesi	(4 / 12)	(6 / 12)	(6 / 12)	(8 / 12)	(1 / 12)
6. İnovasyon	(5 / 6)	(5 / 6)	(4 / 6)	(6 / 6)	(5 / 6)
7. Bölgesel Öncelik	(4 / 4)	(4 / 4)	(4 / 4)	(2 / 4)	(4 / 4)
Toplam Puan / Skor	67 / 110	65 / 110	65 / 110	61 / 110	57 / 110
Sertifika Türü	LEED Gold	LEED Gold	LEED Gold	LEED Gold	LEED Silver

Orjin Maslak, toplam puan bakımından ikinci sırada bulunmasına karşın (birinci sırada 67 puan ile Maslak No 1), 37 puan üzerinden 18 puan ile Enerji ve Atmosfer kriteri bakımından birinci sıradadır. Alsar Maslak No 1, Maslak Link Plaza ve Uniq İstanbul projelerinin 16 puan ile ikinci sırada ve Olive Plaza'nın 8 puan ile son sırada yer aldığı Tablo 6'da görülmektedir. Enerji ve Atmosfer kategorisinde aynı puana sahip olmalarına karşın, projelerin alt kredilerindeki puan dağılımlarında değişiklikler görülmektedir. Bu nedenle, belirlenen binaların, enerji ve atmosfer kriterini oluşturan alt kredilerinden elde ettikleri puanlar ve başarı yüzdeleri Tablo 7'de çözümlenmiştir. Tablo 7 incelendiğinde Enerji ve Atmosfer kriterine ait 3 ön koşul ve 7 adet de kredinin olduğu görülmektedir. 1.Ön Koşul, Temel Bina Enerji Sistemlerinin Kullanılması, 2.Ön Koşul, Minimum Enerji Performansı, 3.Ön Koşul, Temel Soğutma Yöntemi, Kredi 1, Enerji Performansı Optimizasyonu, Kredi 2, Yerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı, Kredi 3 Gelişmiş Yapılandırma, Kredi 4 Gelişmiş Soğutma Yönetimi, Kredi 5.1 Temel Binada Ölçüm ve Onaylama, Kredi 5.2 Kiracı Alt Ölçümü kapsamında Ölçüm ve Onaylama, Kredi 6 Yeşil Güç Kullanımı stratejilerinden oluşmaktadır.



**Tablo 7.** Belirlenen binaların enerji ve atmosfer kriteri bakımından puanları

		ALSAR MASLAK NO 1		ORJİN MASLAK		MASLAK LINK PLAZA		OLIVE PLAZA		UNIQ İSTANBUL	
		Puan	Başarı (%)	Puan	Başarı (%)	Puan	Başarı (%)	Puan	Başarı (%)	Puan	Başarı (%)
Ön Koşul 1	Temel Bina Enerji Sis. Kullanılması	Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu	
Ön Koşul 2	Minimum Enerji Performansı	Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu	
Ön Koşul 3	Temel Soğutma Yönetimi	Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu		Zorunlu	
Kredi 1	Enerji Performans Opt. Yerinde	(12/21)	57%	(8/21)	38%	(6/21)	29%	(0/21)	0%	(10/21)	48%
Kredi 2	Yenilenebilir Enerji	(0/4)	0%	(0/4)	0%	(0/4)	0%	(0/4)	0%	(0/4)	0%
Kredi 3	Gelişmiş Yapılandırma	(2/2)	100%	(2/2)	100%	(2/2)	100%	(0/2)	0%	(0/2)	0%
Kredi 4	Gelişmiş Soğutma Yönetimi	(2/2)	100%	(2/2)	100%	(2/2)	100%	(2/2)	100%	(0/2)	0%
Kredi 5.1	Ölçüm ve Onaylama - Temel Bina	(0/3)	0%	(3/3)	100%	(3/3)	100%	(3/3)	100%	(3/3)	100%
Kredi 5.2	Ölçüm ve Onaylama - Kiracı Alt Ölçümü	(0/3)	0%	(3/3)	100%	(3/3)	100%	(3/3)	100%	(3/3)	100%
Kredi 6	Yeşil Güç	(0/2)	100%	(0/2)	0%	(0/2)	0%	(0/2)	0%	(0/2)	0%
E.A. Kriter Toplamı		<b>16/37</b>	43%	<b>18/37</b>	48%	<b>16/37</b>	43%	<b>8/37</b>	22%	<b>16/37</b>	43%

Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm yapılar, sertifikasyon sürecini tamamlamış, dolayısı ile enerji ve atmosfer kategorisindeki ön koşulları yerine getirmişlerdir. Ancak diğer krediler söz konusu olduğunda bina bazında farklı başarı yüzdeleri olduğu da görülmektedir.

Alsar Maslak No 1, 21 puanlık enerji performansının optimize edilmesi kredisinden 12 puan olarak %57'lik bir başarı sağlamış ve bu krediden en başarılı sonucu elde eden bina olmuştur. Dört puanlık yerinde yenilenebilir enerji kredisinden ve 3'er puanlık ölçüm ve onaylama kredilerinden ise hiç puan alamayarak başarısız olmuştur. Bunlarla birlikte, her biri 2'şer puanlık olan gelişmiş yapılandırma, gelişmiş soğutma yönetimi ve yeşil güç kredilerinin her birinden tam puan olarak %100'lük bir başarı elde etmiştir. Ayrıca, Alsar Maslak No 1, yeşil güç kredisinden puan alabilen tek bina olmuştur. Böylece bina, toplamda 37 puanlık enerji ve atmosfer kriterinden 16 puan olarak %43'lük bir başarı oranı elde etmiştir.

Orjin Maslak, 21 puanlık enerji performansının optimize edilmesi kredisinden 8 puan olarak %38'lik bir başarı oranı elde etmiştir. Dört puanlık yerinde yenilenebilir enerji kredisinden ve 2 puanlık yeşil güç kredisinden hiç puan alamayarak başarısız olmuştur. Ancak bina geriye kalan 3'er puanlık ölçüm ve onaylama kredilerinden ve bunlarla birlikte, her biri 2'şer puanlık olan gelişmiş yapılandırma ve gelişmiş soğutma yönetimi kredilerinin her birinden tam puan olarak %100'lük bir başarı oranı elde etmiştir. Böylece Orjin Maslak toplamda 37 puanlık enerji ve atmosfer kriterinden 18 puan olarak %48'lik bir başarı oranı elde etmiş ve incelenen binalar arasında bu kategorideki en başarılı bina olmuştur.

Maslak Link Plaza, 21 puanlık enerji performansının optimize edilmesi kredisinden 6 puan olarak %29'lük bir başarı oranı elde etmiştir. Ancak, 4 puanlık yerinde yenilenebilir enerji kredisinden ve 2 puanlık yeşil güç kredisinden hiç puan alamayarak başarısız olmuştur. Geriye kalan 3'er puanlık ölçüm ve onaylama kredilerinden ve bunlarla birlikte, her biri 2'şer puanlık olan gelişmiş yapılandırma ve gelişmiş soğutma yönetimi kredilerinin her birinden Orjin Maslak binasıyla benzer bir şekilde tam puan olarak %100'lük bir başarı elde etmiştir. Böylece Maslak Link Plaza, toplamda 37 puanlık enerji ve atmosfer kriterinden 16 puan olarak %43'lük bir başarı oranı elde etmiştir.

Olive Plaza, 21 puanlık enerji performansının optimize edilmesi kredisinden hiç puan alamayarak, değerlendirilen yapılar arasında bu krediden başarısız olan tek bina olmuştur. Bina aynı zamanda 4 puanlık yerinde yenilenebilir enerji kredisinden, 2 puanlık gelişmiş yapılandırma kredisinden, 2 puanlık da yeşil güç kredisinden de puan alamamış ve böylelikle %0'lık bir başarı oranı elde etmiştir. Buna rağmen, geriye kalan 3'er puanlık ölçüm ve onaylama kredilerinden ve 2 puanlık olan gelişmiş soğutma yönetimi kredilerinin her birinden tam puan olarak %100'lük bir başarı oranı elde etmiştir. Olive Plaza, krediler arasında en yüksek puana sahip olan enerji performansının optimize edilmesi kredisinden ve diğer kredilerden kaybettiği puanlar neticesinde, toplamda 37 puanlık enerji ve atmosfer kriterinden yalnızca 8 puan olarak %22'lik bir başarı oranı elde etmiştir. Bu oran, binanın incelenen yapılar arasında, enerji ve atmosfer kriteri bakımından en başarısız bina olduğunu göstermektedir.

Uniq İstanbul ise, Olive Plaza'nın aksine 21 puanlık enerji performansının optimize edilmesi kredisinden 10 puan olarak %48'lik bir başarı oranı sağlamıştır. Ancak, 4 puanlık yerinde yenilenebilir enerji kredisinden, her biri 2'er puanlık gelişmiş yapılandırma, gelişmiş soğutma yönetimi ve yeşil güç kredilerinden puan alamamış ve başarısız olmuştur. Geriye kalan 3'er puanlık ölçüm ve onaylama kredilerinden ise tam puan olarak %100'lük bir başarı elde etmiştir. Uniq İstanbul, toplamda 37 puanlık enerji ve atmosfer kriterinden 16 puan olarak %43'lük bir başarı oranı elde etmiştir.

Böylece, incelenen yapılar arasında, Orjin Maslak'ın enerji ve atmosfer kriteri bakımından en başarılı, Olive Plaza'nın ise en başarısız bina olduğu, Alsar Maslak No 1, Maslak Link Plaza ve Uniq İstanbul'un ise başarı sıralamasında ikinci sırayı paylaştığı söylenebilmektedir.

Maslak Bölgesinde yer alan LEED sertifikalı ofis yapılarının elde ettikleri başarı oranlarının kategorinin alt kredileri bakımından karşılaştırılması, bölgede yer alan binaların ilgili kredilerdeki eksikliklerinin ortaya çıkarılması bakımından ayrıca önem taşımaktadır. Bu nedenle, Enerji ve Atmosfer kriterini oluşturan her bir kredinin binalardaki başarı oranları ve genel ortalamaları Tablo 8'de verilmektedir:

**Tablo 8.** Binaların, enerji ve atmosfer kriterinin alt kredilerindeki başarı oranları

		ALSAR	ORJIN	MASLAK	OLIVE	UNIQ	BİNA
		MASLAK NO	MASLAK	LINK	PLAZA	İSTANBUL	ORT.
		1		PLAZA			
		Başarı (%)	Başarı (%)	Başarı (%)	Başarı (%)	Başarı (%)	Başarı (%)
<b>K1</b>	Enerji Performansının Optimize Edilmesi	57%	38%	29%	0%	48%	<b>34%</b>
<b>K2</b>	Yerinde Yenilenebilir Enerji	0%	0%	0%	0%	0%	<b>0%</b>
<b>K3</b>	Gelişmiş Yapılandırma	100%	100%	100%	0%	0%	<b>60%</b>
<b>K4</b>	Gelişmiş Soğutma Yönetimi	100%	100%	100%	100%	0%	<b>80%</b>
<b>K5.1</b>	Ölçüm ve Onaylama - Temel Bina	0%	100%	100%	100%	100%	<b>80%</b>
<b>K5.2</b>	Ölçüm ve Onaylama - Kiracı Alt Ölçümü	0%	100%	100%	100%	100%	<b>80%</b>
<b>K6</b>	Yeşil Güç	100%	0%	0%	0%	0%	<b>20%</b>
<b>Enerji ve Atmosfer Kriteri</b>		<b>43%</b>	<b>48%</b>	<b>43%</b>	<b>22%</b>	<b>43%</b>	<b>40%</b>

Tablo 8'e göre, Enerji Performansının Optimize Edilmesi kredisi bakımından, incelenen tüm binaların elde ettiği başarı ortalamasının %34 olduğu görülmektedir. Yerinde Yenilenebilir Enerji bakımından ise hiçbir bina puan alamayarak ortalamada %0'lık bir başarı oranı elde edilmiştir. Binalar, Gelişmiş Yapılandırma kredisi bakımından ortalamada %60 başarı sağlamışlardır. Gelişmiş Soğutma Yönetimi ve Ölçüm ve Onaylama Kredilerinin ise %80'lik bir oran ile binaların en başarılı ortalamaya sahip olduğu ifade edilebilmektedir. Yeşil

Güç kriteri bakımından ise ortalamada %20'lik bir başarı söz konusudur. Genel anlamda tüm binaların, enerji ve atmosfer kriteri bakımından ortalamada %40'lık bir başarıya sahip olduğu söylenebilir.

## V. SONUÇLAR

Küresel anlamda enerji tüketiminin ve zararlı madde salınımının büyük bir kısmına neden olan yapı sektörü için, enerji ve atmosfer kriteri çevresel etkilerinin başında gelmektedir. Bu anlamda, LEED'in yapıların enerji ve atmosfer kriteri bakımından sürdürülebilirliklerini ölçmek için geliştirdiği krediler önem taşımaktadır. Enerji Performansının Optimize Edilmesi, Yerinde Yenilenebilir Enerji, Gelişmiş Yapılandırma, Gelişmiş Soğutma Yönetimi, Ölçüm ve Onaylama - Temel Bina, Ölçüm ve Onaylama - Kiracı Alt Ölçümü ve Yeşil Güç başlıklarını içeren bu krediler, binaların enerji ve atmosferle ilgili birçok etkileşiminin sayısal olarak ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek yapıları ile bilinen Maslak Bölgesi'nde birçok LEED sertifikalı ofis binası yer almaktadır. Çalışmada, bu binalar arasında LEED'in Çekirdek ve Kabuk yapı türünde yer alan ofis binaları, ilgili kredilerden elde ettikleri puanlar ve başarılar bağlamında değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, yerinde yenilenebilir enerji kullanımının %0 oranı ile en başarısız kredi alanı olduğu belirlenmiştir. Bu anlamda, yenilenebilir enerji kullanımının tüm binalarda sağlanması ve üretilen enerjinin binanın yıllık enerji maliyetinin büyük bir kısmını oluşturacak şekilde planlama yapılması önerilmektedir. Yerinde yenilenebilir enerji kullanımındaki başarısızlığı, yeşil güç kredisi takip etmektedir. Binaların yeşil güç başarı ortalaması %20 olmasına karşın, aslında bu başarının tamamen Alsar Maslak No 1'den kaynaklandığı görülmektedir. Alsar Maslak No 1, bu krediden tam puan alarak %100 başarı elde etmiş, diğer binalar ise tamamen başarısız olmuşlardır. Bu nedenle, Orjin Maslak, Maslak Link Plaza, Olive Plaza ve Uniq İstanbul binalarının enerji ihtiyaçlarının %35'lik bir kısmını iki yıl boyunca yeşil enerji üretebilen kaynaklardan sağlaması önerilmektedir. Enerji Performansının optimize edilmesi, bu kategorideki en çok puana sahip olmasına rağmen binaların bu kredideki ortalama başarı oranları %34 olarak belirlenmiştir. Bina bazında değerlendirildiğinde, %57 oranı ile en başarılı bina Alsar Maslak No 1 olurken, Olive Plaza'nın bu krediden hiç puan alamadığı görülmüştür. Diğer binalar ise çeşitli başarı seviyeleri ile sistemde yer almıştır. Binaların, dış kabuk, havalandırma unsurları, güç dağıtım ve aydınlatma sistemlerinin geliştirilerek, daha performanslı bir enerji simülasyonu oluşturulması önerilmektedir. Bu krediden elde edilebilecek puanlar, sahip olduğu ağırlıklı puan bakımından, bina toplam puanlarını doğrudan etkileyebilecek, hatta binaların dereceleri yükseltebilecektir. Gelişmiş yapılandırma kriteri bakımından, Alsar Maslak No 1, Orjin Maslak ve Maslak Link Plaza'nın %100 başarı sağladığı ancak Olive Plaza ve Uniq İstanbul binalarının tamamen başarısız olduğu söylenebilmektedir. Bu anlamda, Olive Plaza ve Uniq İstanbul binaları için enerji sistemi tasarımlarının incelenmesi, yapı operatörleri için elle kontrol edilebilen sistemler oluşturulması, çalışanların eğitiminin ve performansının doğrulanabilmesi için yaklaşık bir yıllık bir süre için yapı operasyonlarının yeniden denetlenerek yapılandırmanın geliştirilmesi önerilmektedir. Gelişmiş Soğutma Yönetimi bakımından Uniq İstanbul hariç tüm binaların %100 başarı elde ettikleri görülmektedir. Bu kriter kapsamında, Uniq İstanbul binası için, ozon tabakasına zarar verebilecek madde salınımlarının öncelikle azaltılması ve zamanla tamamen ortadan kaldırılması için gerekli adımların atılması önerilmektedir. Son olarak, ölçüm ve onaylama kriteri bakımından hem temel bina ölçümünde hem de kiracı alt ölçümünde, Alsar Maslak No 1 hariç tüm binaların %100'lük başarı elde ettikleri görülmektedir. Bu kapsamda, Alsar Maslak No 1 binası için, projelendirme sürecinde belirlenen tüketim miktarlarının yakalanabilmesine yönelik adımlar atılması veya gerekli ölçümlerin yapılabilmesine yönelik bir sensör sistemi oluşturulması önerilmektedir.

Türkiye'de enerji etkin binaların sayılarının artması ülke kalkınması için çok önemli bir husustur. Bu yüzden enerji etkin stratejilerin yapılar üzerinde uygulanmasında teşviklerin artırılması gerekmektedir. Yatırım yeri tahsisi, vergi indirimi, KDV istisnası, faiz desteği gibi yöntemler ile verilen teşvikler sayesinde enerji etkin yapıların inşasında ciddi bir artış yaşanacağı ve enerji kaynaklarının çok daha verimli kullanılacağı öngörülmektedir. Yeni inşa edilecek binaların yanı sıra mevcut binaların da enerji ve atmosfer üzerindeki etkilerinin dikkatlice değerlendirilmesi ve ilgili çözümlerin tasarım, yapım ve kullanım aşamalarında ayrı ayrı geliştirilmesi önerilmektedir. İlk olarak binalar, kazandırılacak işleve bağlı olarak gerekli enerji sistemleri ile donatılacak şekilde tasarlanmalı, soğutma sistemlerinden salınan gazların ozon tabakasına zarar vermesi önlenmeli ve minimum enerji harcanarak maksimum verim alınması hedeflenmelidir. Uygulama ise, projelendirme ve tasarım sürecinde belirlenen şartlarda gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, tasarım ve uygulama alanındaki uyumsuzlukların ortadan kaldırılabilmesi için, binaların işlevleri ile uyumlu sistemler başta sağlıklı bir biçimde belirlenmelidir. Yerinde yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil güç gibi uzun süreli yatırım gerektiren konularda, gerekli teşviklerin sağlanmasına yönelik idari çalışmaların yürütülmesi ayrıca önemli görülmektedir. LEED, diğer sertifikasyon sistemlerinde olduğu gibi, binaların ne düzeyde sürdürülebilir olduklarının sayısal olarak ölçümüne

yönelik bir sistem olarak çalışmaktadır. Dolayısı ile yapılan değerlendirmeler ve öneriler göz önünde bulundurularak, sertifikalandırma süreçlerinden daha başarılı sonuçlar elde edebilmek mümkün olacaktır. Ancak, bunun gerçekleşebilmesi için birçok disiplinin kendi içerisinde ve disiplinlerarası düzeyde, insanın enerji ve atmosfer ile olan çevresel etkileşimini göz önünde bulundurarak hareket etmesi gerekmektedir. Çalışma, daha geniş bir alan belirlenerek genişletilebileceği gibi, diğer tüm yapı türleri ve tüm kriterlerin birlikte incelenmesi ile geliştirilebilecektir. Bu kapsamda yapılacak bilimsel çalışmalar başta yalnızca bir farkındalık oluşturabilecek ve belki de zamanla toplumun tüm bireylerine ulaşarak bir kültür haline gelebilecektir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Selçuk, G. (2010). LEED Sertifikası Almaya Yönelik Yeni Bina ve Kapsamlı Yenileme Projelerinde Sözleşmelerin Biçimlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [2] The U.S. Green Building Council, (2021). *Projects*, <https://www.usgbc.org/projects>, (15.01.2021).
- [3] Çimen, T. (2008). Teknolojik Gelişmelerin Sonucunda Değişen Üretim İlişkilerinin, Ofis Yapılarına Etkisi ve Ofis Mekanları. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [4] Köse Doğan, R. (2008). Yönetici Bürolarında Mekan Örgütlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [5] Pickard, Q. (2002). *The Architects' Handbook*, Blackwell Science Ltd., A Blackwell Publishing Company, UK, USA, Australia Germany.
- [6] Kohn E. (1990). *The Tall Building. Tall Buildings: 2000 and beyond*, Fourth World Congress, Hong Kong Convention and Exhibition Center, Council on Tall buildings and Urban Habitat, editor Lynn S. Beedle, Lehigh university, Bethlehem, Pennsylvania, USA.
- [7] Kayan, N. (2009). Çok Katlı Ofis Yapıları ve Açık Ofis Planlama Yaklaşımları/Harmancı Giz Plaza, Sabancı Center, Kanyon Ve Nida Kule Örneklerinde Açık Ofis Planlama Yaklaşımlarının İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Eryıldız, D. (2003). Sürdürülebilirlik ve Mimarlık Dosyasında Ekolojik Mimarlık. *Arredamento Mimarlık Dergisi*, 154, 71.
- [9] Özcan, U. (2013). Konutlarda Sürdürülebilir Mimarlık Açısından İklimsel Konfor Kriterlerinin Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Çakır Kıyaslı, G. (2020). Su Yönetimi ve Yapı Endüstrisindeki Su Etkin Otel Karşılaştırmaları: İstanbul'daki LEED Sertifikalı Sürdürülebilir Otel Karşılaştırmaları, *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 19, 97-133.
- [11] Sev, A. (2009). Sürdürülebilir Mimarlık. 1.Baskı, İstanbul, Türkiye: *YEM*, 38-43.
- [12] Şişecam Düzcem, Yeşil Bina, Yeşil Dünya-Yeşil Binalarda Cam Çözümleri, Retrieved From: <https://www.sisecamduzcem.com/tr/Documents/Ye%C5%9Fil%20Binalarda%20Cam%20%C3%87%C3%B6z%C3%BCmleri.pdf>, , (24.12.2020).
- [13] Erdede, S. B. & Bektaş, S. (2014). Ekolojik Açından Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 1-12.
- [14] Gürgün, A.P. (2017). Türkiye'deki LEED NC 2009 Sertifikalı Binaların Enerji ve Atmosfer Kredilerinin Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 20(2), 383-392.
- [15] Saka, İ. (2011). Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul'da Bir Ofis Binasının LEED Sertifikalandırma Sistemi Kapsamında Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [16] Çakır Kıyaslı, G. (2019). Sürdürülebilir Yükseköğretim Yapıları İstanbul'daki Sürdürülebilir Yükseköğretim Yapılarının LEED Kriterleri Kapsamında Karşılaştırmalı Analizi, *Yapı Dergisi*, Sayı:448, s.30-39.
- [17] Akıner, İ. & Akıner, M. E. (2020). Leed Sertifikasyon Sistemi Bağlamında Sürdürülebilir Kentleşme Projesi: Atatürk Orman Çiftliği Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 850-857.
- [18] Alper's World Youtube Kanalı, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsü Drone Çekim, Retrieved From: <https://www.youtube.com/watch?v=ASxFSWi84bU&t=94s>, (15.12.2020).

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Simultaneous Monitoring and Control of Automation Systems with SCADA Based PLC

### Otomasyon Sistemlerinin SCADA Tabanlı PLC ile Aynı Anda İzlenmesi ve Kontrolü

Meryem Məmmədi<sup>1</sup>, Rana Ortaç Kabaoğlu<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 18/03/2021*

*Revize / Revised: 07/04/2021*

*Kabul / Accepted: 08/04/2021*

#### ABSTRACT

As technology develops all over the world, it is desired to be more efficient and less costly, and automatic control systems are demanded accordingly. The most important duties of the elements that constitute the automatic control system are quality of the established system and being cheap and functional. SCADA and PLC control systems, which are among the significant control systems, are utilized to implement these conditions placed against the elements. SCADA and PLC systems are automatic control systems that are very popular today. Both of them are used in almost every field of industry. This study has been implemented in the Academy automation R&D laboratory and applications have been developed with PLC and SCADA, which are indispensable for automation systems. All systems are connected to SCADA using 3 types of PLC, S7-300, S7-1200, S7-1500 and also MODBUS devices. These four systems transferred to SCADA are monitored on a screen. At the same time, the feature of being able to intervene in the system in case of malfunction, which is one of the important advantages of the SCADA system, has also been used.

*Keywords- Control Systems, PLC, Modbus Device, SCADA System*

#### ÖZ

Teknoloji geliştikçe, dünyanın her yerinde daha verimli ve daha az maliyetli olması istenmekte ve buna uygun otomatik kontrol sistemleri talep edilmektedir. Otomatik kontrol sistemini oluşturan unsurların en önemli görevi, kurulan sistemin kaliteli, ucuz ve işlevsel olmasıdır. Önemli kontrol sistemleri arasında yer alan SCADA ve PLC kontrol sistemleri, bu isteklere karşı, bu koşulları gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. SCADA ve PLC sistemleri, günümüzde oldukça popüler olan otomatik kontrol sistemleridir. Her ikisi de endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Bu çalışma Akademi otomasyon Ar-Ge laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve otomasyon sistemlerinin vazgeçilmezi olan PLC ve SCADA ile uygulamalar geliştirilmiştir. Tüm sistemler 3 tip PLC, S7-300, S7-1200, S7-1500 ve ayrıca MODBUS cihazları kullanılarak SCADA'ya bağlanmış. SCADA'ya aktarılan bu dört sistem bir ekran üzerinden izlenmiştir. Aynı zamanda SCADA sisteminin önemli avantajlarından biri olan, arıza durumunda sisteme müdahale edilebilmesi özelliği de kullanılmıştır.

*Anahtar Kelimeler- Kontrol Sistemleri, PLC, Modbus Cihazı, SCADA Sistemi*

<sup>1</sup>İletişim: [memmedlimeryem96@mail.ru](mailto:memmedlimeryem96@mail.ru) (<https://orcid.org/0000-0001-5578-4517>)

Department of Electrical-Electronics Engineering, Istanbul University-Cerrahpasa, Avcılar, Istanbul, Turkey

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [rana@istanbul.edu.tr](mailto:rana@istanbul.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-0861-0711>)

Department of Electrical-Electronics Engineering, Istanbul University-Cerrahpasa, Avcılar, Istanbul, Turkey

## I. INTRODUCTION

Today, it is observed that automation technology is in an excessive development. Manufacturers would like that the personnel control these systems to be both high-quality, cheap, and fully meet the desired duty [1]. The systems that can control such systems in the most economical, efficient, and effective way are the systems created by controlling SCADA and PLC [2]. Automation systems have many advantages over relay and computerized (PC) systems [3]. For these reasons, they are widely used.

Programmable Logic Controllers (PLC) are control and command elements that contain PIC processors as well as EEPROM programmers and have a significant role in today's technology [4]. The reason why the devices are called Programmable Logic Controller is that they are designed as an alternative to logic-based relay systems. One of the important features of PLCs is that the memory functions, such as counter and time elements are ready designed by the manufacturers. In solving control problems, this feature of PLC is easily utilized with simple programming [5]. PLC is a device that transmits the information received from elements, such as keys, buttons, and sensors for the program written by the user into logic values and transmits them to the output section [6]. Programmable Logic Controllers, also known as microprocessors, have started to appear in our history in 1968 [7]. These PLCs have been used in the automobile industry for mass production [8]. PLCs released in the past tense, differ from PLCs produced today in both terms of size and control of the systems [9]. Today, PLCs can easily adapt to the desired system [10]. With developing the automation technology, PLCs have also been improved [11].

Supervised Control and Data Acquisition system (SCADA) has started to show itself in the 1960s. In the past, the SCADA system consisted of elements, such as signal lights, measuring instruments, and tape recorders [12]. Over time, computers and automation systems improved and the SCADA system did not remain indifferent to this development [13].

Today, SCADA system is applied in almost every area where automation is used. There are many reasons for this frequent use. For example, some situations that are dangerous for human life have disappeared in the networks where SCADA system is used [14]. In addition, it is possible to easily get information about the process monitored by the SCADA system and to intervene in the system remotely by finding faulty components in case of malfunction [15].

Since the SCADA system operates according to the user's demands, the system to be controlled is more reliable, and the number of users is less. One of the advantageous features of this system is the ability to get reports. The past and present values of the system which are controlled by using the reporting feature can be taken as a report.

One of the significant features of SCADA is to give an alarm (warning). When the set values change, the user is informed by the alarm.

## II. APPLICATION MATERIALS

In this study, integration of SCADA with PLC and IOT technology is realized in Automation Academy R&D laboratory environment. This work is carried out with three different PLCs and Arduino. TIA Portal program is used for programming PLCs and SCADA application, and Arduino IDE compiler is used for Arduino programming.

The used PLC types are S7-300, S7-1200 and S7-1500. In the application to be made with the S7-300, analog transactions are read on the SCADA system. The reading process is performed with the temperature sensor that is attached to the transmitter connected to the analog module of the PLC. According to the temperature values set by the user, the output speed of the fan connected to the asynchronous motor changes gradually.

In the application to be made with the S7-1200, the step and servo motors of the spring bending machine work synchronously with each other. By making the recipe application, the length of the spring to be bent is entered into the system via the user's SCADA system and step motor and servo motor control are provided.

In the application to be made with the S7-1500, the products passing over the conveyor are read by two different sensors, and depending on the algorithm on the PLC, the reading values are decided whether the product is defective or not. Defective products are separated by pushing them over the conveyor with a pneumatic valve.

In the application to be made with Arduino, the humidity of the greenhouse to which the system is connected is checked. The values read from the humidity sensor are sent to the SCADA system via serial communication over the master device. The data from all these PLCs and Arduino are read and displayed on the computer and the SCADA project is completed with the control application.

### III. DEVELOPED APPLICATIONS

#### A. Temperature Dependent Speed Control with S7-300 PLC

In the application to be made with the S7-300, analog transactions are read on the SCADA system. The reading process is performed with the temperature sensor that is attached to the transmitter connected to the analog module of the PLC. The connection diagram of the system to be made with S7-300 PLC is shown in Figure 1.

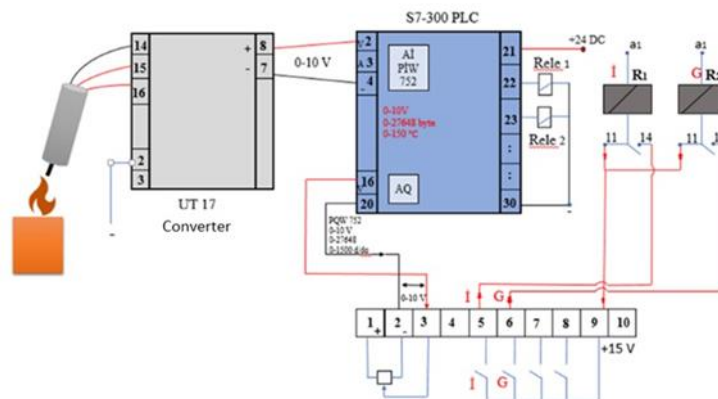


Figure 1. S7-300 PLC and Escon driver connection diagram

As can be seen from the connection diagram in Figure 1, the devices used in speed control application are shown in Table 1;

Table 1. List of used devices

Device name	Number of	Device features
PIC	1	S7-300 CPU 313C
Temperature drive	1	PT100
Converter	1	UT17
Driver	1	Escon drive
3~Asynchronous motor	1	-

Figure 2 shows the system set up in a laboratory environment:



Figure 2. S7-300 PLC system connected in a laboratory environment

After the connection is made, the motor can be operated in forward and backward direction by adjusting the outputs of Q124.0 and Q124.1 with the M0.2 and M0.3 bits and using TIA Portal software. In order not to damage the engine in forward and backward direction, its operation is prevented at the same time by electrical locking method.

Speed control is implemented by creating a ladder diagram. Ladder diagrams of S7-300 PLC system installed in TIA Portal environment are written using 6 networks.

### ***B. Synchronous Operation of Step and Servo Motors of Spring Bending Machine with S7-1200 PLC***

In the application to be made with S7-1200, step and servo motors of the spring bending machine are synchronized with each other. By making a recipe application, the length of the spring to be bent is entered into the system via the user's SCADA system, and step motor and servo motor control is provided.

The connection diagram of the system to be made with S7-1200 PLC is shown in Figure 3;

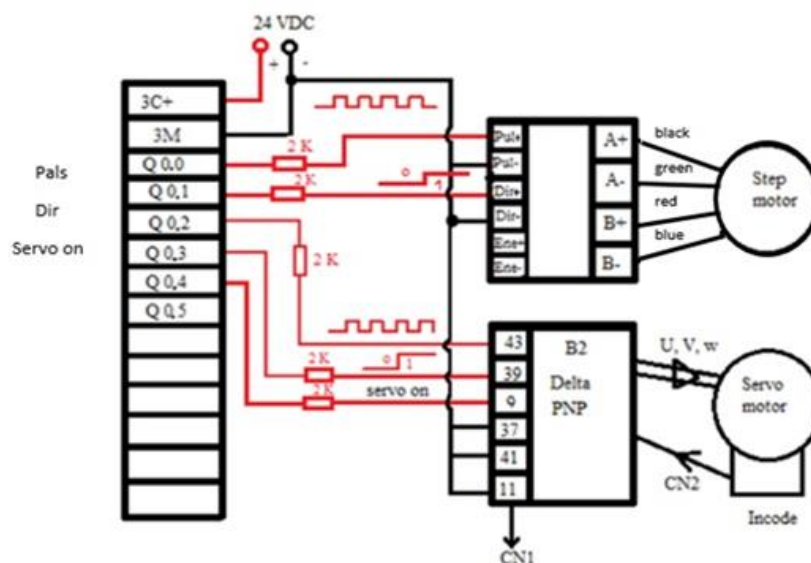


Figure 3. Connection diagram of S7-1200 PLC and step and servo motor drivers



As can be seen from connection diagram in Figure 3, the devices used in synchronous operation are shown in Table 2;

**Table 2.** List of devices which are used

Device name	Number of	Device features
PLC	1	S7-1200 CPU 1212C DC/DC/DC
Step motor	1	Leadshine
Step motor driver	1	Leadshine M542
Servo motor	1	Delta, ECMA-C20807GS
Servo motor driver	1	Delta, ASD-B2-0721-B

In the Automation Academy R&D laboratory environment, the shape of the system with a connection diagram is shown.



**Figure 4.** S7-1200 PLC connected system

Step and servo motor control function is created and prepared.

The sequence of action for the project is as follows:

- 1- The program is opened and the PLC device is added.
- 2- Technology objects are opened and the “add new block” is clicked. To\_Axis\_PTO is selected from the opened motion control tab. Axis adjustment is done for both step motor and servo motor. Accordingly, Axis 1 (step motor) and Axis2 (servo motor) are created. The creation structure of Axis 1 and Axis 2 axes are the same.

### **C. Product Control with S7-1500 PLC**

In the application to be made with the S7-1500, the products passing over the conveyor are read with two different sensors. According to the reading values, depending on the algorithm on the PLC, it is decided whether the product is defective or not. Defective products are separated by pushing them over the conveyor with a pneumatic valve. Figure 5 shows the system set up in a laboratory environment;

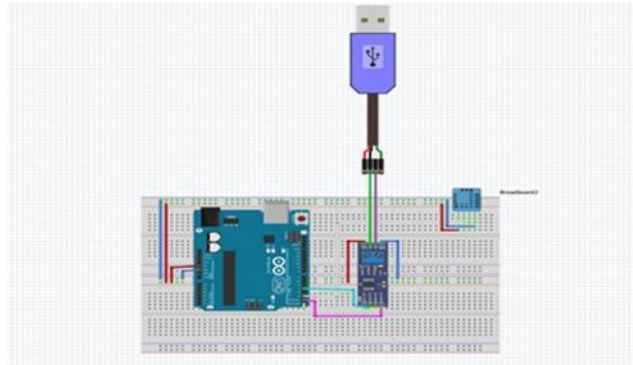


**Figure 5.** Siemens Sinamix V20 asynchronous motor drive with S7-1500 PLC connected in laboratory environment

After the connection is made, a Ladder diagram is created using TIA Portal software, and product control is implemented. Ladder diagrams of S7-1500 PLC system installed in TIA Portal environment are written using 7 networks.

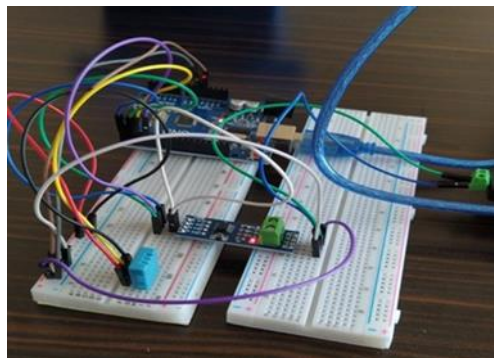
#### ***D. Reading Humidity and Temperature Information with Arduino and Sending It to SCADA by Serial Communication***

In the application to be made with Arduino, the temperature and humidity of the greenhouse to which the system is connected is controlled. The values read from the temperature and humidity sensor are sent to the SCADA system via serial communication over the master device. Figure 6 shows the connection diagram of the system to be built with Arduino;



**Figure 6.** Connection diagram of Arduino and DHT11 temperature and humidity sensor

In the Automation Academy R&D laboratory environment, the shape of the system with a connection diagram is shown.



**Figure 7.** Connection of DHT11 humidity and temperature sensor with the connected Arduino

The program is written in Arduino IDE using Modbus Rtu and DHT11 libraries.

#### IV. ESTABLISHING SCADA SYSTEM OF DEVELOPED APPLICATIONS

S7-300, S7-1200 and S7-1500 PLC types are made under a single project in TIA Portal software. The WINCC SCADA project is also added to this project. For adding the WINCC SCADA project, the procedures are performed as described in chapter 3. The connection of the added SCADA system with PLC types is implemented using PROFINET. By clicking the Device & Networks tab, the connection scheme of the devices communicating with each other is seen. The following figure shows the connection of PLC devices (S7-300, S7-1200 and S7-1500) and Modbus device communicating with the SCADA system:



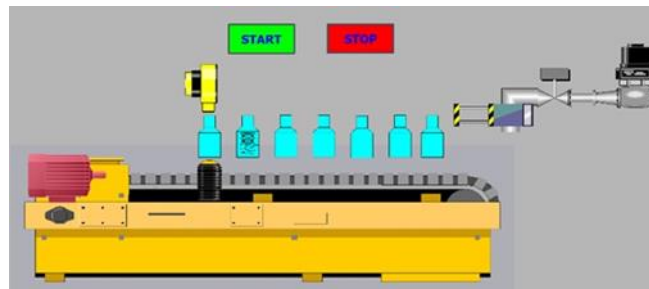
**Figure 8.** Connection of SCADA system and PLC and Modbus devices

Connection types that the systems to be controlled communicate with SCADA are configured in the connection menu. The list of devices added to the SCADA system is displayed in this menu. In this study, Modbus and 3 PLC devices are used with together. The interface that enables these devices to connect with the computer, that is called the modem, is selected respectively.

7 pages are created in accordance with the practices developed in this study. The created screens are the following:

- 1- Main page
- 2- Ventilation Control
- 3- Spring Bending
- 4- Product Control
- 5- Greenhouse Humidity and Temperature
- 6- Alarms
- 7- Parameter Setting
- 8- Report
- 9- Password

There are general information on the main screen. All of them are added to the home screen to allow easy access to other screens. The product control page of this work is shown in Figure 9;



**Figure 9.** Product control

After all pages are created and tasks are assigned to the buttons, the installed SCADA project becomes operational. It is possible to view four applications from one screen.

## V. CONCLUSION

In this work, the developed applications are; temperature dependent speed control, synchronous operation of step and servo motors of spring bending machine, product control, reading humidity and temperature information with Arduino and sending it to SCADA by serial communication. First three systems are connected to SCADA using different types of PLC, S7-300, S7-1200, S7-1500 respectively and also MODBUS devices. These four systems transferred to SCADA are monitored on a screen. At the same time, one of the significant advantages of the SCADA system is that it permits to intervene in the system in the case of malfunction. As a result of the study, it is made possible to monitor all applications connected to the SCADA system from a single screen, and the data received from all receivers are monitored on the SCADA screen and also reported. It is made possible to detect the malfunctions immediately without losing time and to delete them from the remote-control system. As a result of the study, the importance of the SCADA system installed in automation technology in terms of both time and convenience is revealed once again.

## ACKNOWLEDGMENT

This study has been implemented in the Academy Automation R&D Laboratory.

## REFERENCES

- [1] Selek, A. (2020). What is PLC?, <https://www.endustri40.com/tia-portal-nedir>, (Visit date: 20 September 2020).
- [2] Sechen, H. İ. (2014). The future of PLC, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/siemens-plc-teknolojileri/12311#ad-image-0>, (Visit date: 15 September 2020).
- [3] Brodzik, R. (2014). History of PLC, <https://www.controleng.com/articles/inside-the-competition-for-the-first-plc/>, (Visit date: 18 September 2020).
- [4] Thomas, M.S., Kumar, P. & Chandna, V.K. (2004). Design, development, and commissioning of a supervisory control and data acquisition (SCADA) laboratory for research hand training, *IEEE transactions on Power System*, 19, 3, 1582- 1588.
- [5] Eminoglu, Y. (2016). PLC Programming and S7 300/400, Birsen Publication, Istanbul, ISBN: 978-975-511-550-4.
- [6] Demir, D., Tepe, C. & Eminoğlu, İ. (2019). Experimental setup for AC motor speed control by using PLC, *Journal of Scientific Perspectives*, 3(3), 177-188. DOI: 10.26900/jsp.3.018.
- [7] Gajbhiye, Y.Y., Pjagtap, P. & Helonde, J.B. (2014). Labviewstudy of electrical power distribution system by using Simatic S7-300 PLC system, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(4), 143-150.
- [8] Demirci, A. (2012). SCADA implementation on PLC based experimental sets in the laboratorysetting, M.Sc., Marmara University, Institute of Science.
- [9] Kaur, K. & Kaur, R. (2014). Energy management system using PLC and SCADA, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(11), 528-531.
- [10] Eminoglu, Y. (2017). PLC Programming and S7 1200, Programming and S7 300/400, Birsen Publication, Istanbul, ISBN: 978-975-511-588-7.
- [11] Kayri, İ. (2003). Controlling the temperature value of medium by using programmable logic controller, M.Sc., Yuzuncu Yil University, Institute of Science.
- [12] Irmak, E., Erkek, İ. & Özçelik, M. (2017). Experimental analysis of the internal attacks on SCADA systems, *Gazi University Journal of Science*, 30(4), 216-230.
- [13] Eminoğlu, Y. (2016). Operator Panel with TIA portal & SCADA programmin, Birsen Publication, İstanbul, ISBN: 978-975-511-649-5.
- [14] Lishev, S., Popov, R. & Georgiev, A. (2015). Laboratuvar SCADA sistemleri - Son teknoloji ve zorluklar, *Balkan Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Dergisi*, 3(3), 164-170.
- [15] Şimşek, M. & Özen, M, F. (2019). "Realization of a building automation system using PLC and SCADA", *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 1(1), 28-34.
- [16] Dorjee, R. G. (2014). Monitoring and control of a variable frequency drive using PLC and SCADA, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2(10), 3092-3098

- [17] Üstünsoy, F. & Sayan, H. H. (2018). PLC destekli SCADA ile enerji yönetimi için örnek laboratuvar çalışması, *Politeknik Dergisi*, 21(4), 1007-1014.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# The Effect of Graphene Oxide Exfoliation Degree on Graphene Film Properties

## Grafen Oksit Tabakalanma Derecesinin Grafen Film Özelliklerine Etkisi

Nevin Atalay Gengeç<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 21/03/2021*

*Revize / Revised: 15/05/2021*

*Kabul / Accepted: 17/05/2021*

### ABSTRACT

Interest in graphene, which is a new material, is increasing day by day due to its unique mechanical, electrical, and thermal properties. Graphite oxide (GRO), which is synthesized as a result of a series of chemical processes of graphite, was used as the primary material in the production of graphene film. In this study, firstly, graphene oxide (GO) dispersions with different exfoliation degrees were prepared from de-ionized water (DI-water) and repeatedly washed GRO mixture at different ultrasound times. Then, GO films with the same film thickness were produced by casting of the prepared GO dispersions. GO films with different exfoliation degrees were thermally reduced to graphene at 1100 °C, and the change in reduced graphene film (RGO) properties was investigated. XRD, SEM, and FTIR measurements were made for the characterization of thermally reduced graphene and GO films. While the maximum degree of exfoliation was obtained for GO films in 8 hours of ultrasound, the maximum degree of exfoliation was obtained even in 3 hours of ultrasound duration by thermal reduction of GO films at 1100 °C.

**Keywords-** *Graphene, Ultrasound, Thermal Reduction, Casting, Thick Film*

### ÖZ

Yeni bir material olan grafeneolan ilgi, grafenin eşsiz mekanik, elektriksel ve termal özelliklerinden dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Grafen film üretiminde, grafitin bir dizi kimyasal işlemi sonucunda sentezlenen grafitoksite (GRO), temel malzeme olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada öncelikle, de-iyonizesu (DI-su) ile tekrar tekrar yıkanmış GRO karışımından farklı ultra ses sürelerinde hazırlanan tabakalanma dereceleri farklı grafen oksit (GO) dispersiyonları hazırlanmıştır. Ardından, hazırlanan GO dispersiyonları ile döküm yoluyla aynı film kalınlığında GO filmleri üretilmiştir. Farklı tabakalanma derecesine sahip GO filmler 1100 °C’de termal olarak grafene indirgenmiş ve indirgenmiş grafen film özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Termal olarak indirgenmiş grafen ve GO filmlerin karakterizasyonu için XRD, SEM ve FTIR ölçümleri yapılmıştır. GO filmleri için 8 saatlik ultra ses süresinde maksimum tabakalanma derecesi elde edilirken, GO filmlerinin 1100 °C’de termal olarak indirgenmesi ile 3 saatlik ultra ses süresinde dahi maksimum tabakalanma derecesi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *Grafen, Ultrases, Termal İndirgenme, Döküm, Kalın Film*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [nevin.atalay@bilecik.edu.tr](mailto:nevin.atalay@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-0993-4398>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 11230 Bilecik, Türkiye

## I. INTRODUCTION

Graphene is known as a two-dimensional carbon allotrope nanomaterial, which is considered to be two-dimensional because it has a single atom thickness, and has superior properties formed by the perfect arrangement of covalently bonded carbon atoms in a hexagonal honeycomb lattice [1, 2]. Graphene was first obtained by Geim and Novoselov in 2004 by separating a single layer from graphite with the help of tape, and Geim and Novoselov received the Nobel Prize in physics in 2010 for revealing the extraordinary and superior properties of graphene [1]. Graphene has many superior electrical, mechanical and thermal properties, such as high surface area (~ 2630 m<sup>2</sup>/g) and electrical conductivity (~ 2000 S/cm), being 100 times more durable than steel [3]. Due to these superior properties, graphene finds many application areas such as transparent electrodes, transistors, sensors, clean energy devices, nanocomposites, organic photovoltaic devices, and saltwater treatment [4].

Graphene is produced by methods, such as micromechanical separation, exfoliation, epitaxial growth, and chemical vapor deposition (CVD) [5]. These methods often allow the production of expensive and low quantities of graphene. However, graphene synthesis by the chemical method is more preferred because it can be carried out on large scales and at a low cost. The production of graphene by the chemical method is carried out in the following steps: i) obtaining graphite oxide as a result of oxidation of graphite in acid and oxidant environment, ii) obtaining graphene oxide (GO) after the stratification (exfoliation) of graphite oxide (GRO) and iii) reduction of graphene as chemical, thermal or chemical+thermal [6]. The properties of graphene produced by chemical method vary according to acid, oxidant, and reducing species, and therefore many studies have been conducted on GRO synthesis. The most known synthesis method of GRO is the oxidation of graphite with potassium permanganate and sodium nitrate in concentrated sulfuric acid by Hummers and Offeman in 1958 [7]. However, in later studies, it was determined that GRO synthesized by the Hummers method was not fully oxidized [8, 9]. Depending on the method used in GRO production, the defect degree of the graphene obtained, the oxidation degree of the obtained GRO, and the oxygen content after reduction change [10]. Therefore, GRO synthesis has been performed by various researchers using modified Hummers methods [8, 11, 12] and improved Hummers method (i.e. Torr method) [9]. In the Torr method, the oxidation degree of graphite and the obtained GRO yield were increased by using sulfuric acid / phosphoric acid mixture as acid.

GO shows hydrophilic properties because of the hydroxyl and carboxyl groups in its structure, and therefore it can remain in the water and many polar solvents without precipitation for weeks as a result of its stabilization by exfoliation with ultrasonication [13, 14]. Depending on the change in graphite properties and GRO synthesis methods, the sonication time is different for each GRO mixture, since the obtained GRO is in different oxidation degrees and concentrations, and as the sonication time increases, the obtained GO sheet size decreases. However, excessive sonication times cause the obtained GO to break down and thus to be defected [15]. Also, because stable concentrated GO dispersions at concentrations of 1-5 mg/mL in water can be prepared, the studies with GO dispersions gained momentum [16-18]. In the literature, GO films with different thicknesses and properties were produced from stable GO dispersions, using methods such as CVD [19], spin coating [20, 21], casting by casting [22-26], and filtration [27]. These GO films with different thicknesses were reduced chemically and/or thermally to obtain single-layer (ultra-thin) graphene, thin layer graphene, and multi-layer (thick) graphene films. Depending on the method used in film production, the distance between graphene layers, mechanical properties, and structural properties of graphene change. Graphene films obtained by casting method at the same film thickness show better mechanical properties than those obtained by the filtration method. The distance between the graphene films obtained by casting is greater than those obtained by the filtration method. While there is a tighter and more regular stacking in the filtration method due to the pressure caused by the vacuum, the situation is the opposite as there is no pressure in the casting method [28].

Due to the oxygen groups in the GO structure, it shows insulator property and transforms into graphene or reduced graphene oxide (RGO), which shows conductive property with the reduction of oxygen groups [29]. Different reduction processes give rise to different properties of RGO, which in turn affects the final performance of materials composed of RGO. In the literature, conductive thin films [14, 21], graphene foams [30, 31], graphene sheets [23], and graphene papers [27, 32-35] have been produced by reducing GO to RGO. Thermal reduction of GO to graphene provides a good alternative to the chemical reduction process of graphene. Because thermal reduction has advantages such as simple, environmentally friendly, reduction at all temperatures, and the conductivity of graphene-like materials (such as graphite, GO) that show insulator property [36-38]. Studies have presented that the transformation into the conductive form of obtained RGO by thermal reduction of GO is higher than that obtained by chemical reduction [39].

The thickness of graphene films can be changed from monolayer graphene to multilayer graphene according to the graphite oxide production method, concentration, and film-forming method. Thinner films exhibit more graphene-specific properties, while thicker films show semi-metal properties such as graphite [14]. In the literature, graphene in micrometer thickness is generally defined as reduced graphene oxide and it has been determined that graphene films with over 10 layers show graphitic properties [40, 41]. Mechanical properties increase with the increasing film thickness in RGO [28].

This study aims to determine the effect of GO dispersion preparation conditions on reduced graphene film properties in the production of thick graphene films that are cheap and industrially producible. For this purpose, stable GO dispersions were prepared at different ultrasound times than GRO which was systematically washed repeatedly. Thus, the effect of both GO dispersion concentration and ultrasound time on GO film properties was determined. GO films of the same thickness were obtained by casting from GO dispersions with different amounts and properties and then thermally reduced to RGO. The morphologic and structural properties of GO and RGO films were determined by SEM, FTIR, and XRD measurements.

## II. MATERIAL VE METOT

### A. Material

Graphite (<20 m) sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), phosphoric acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), hydrochloric acid (HCl), ethanol, potassium permanganate (KMnO<sub>4</sub>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) chemicals used in GRO synthesis were purchased from Sigma Aldrich and all it is of high purity and has been used directly. De-ionized water (DI-water; electrical resistance of 18.2 Megaohm-cm) produced in the ultrapure water device was used in the preparation of GO dispersions and all washing processes. In the graphene synthesized processors with the thermally reducing of the GO films, argon gas (99.9999%) was used and was purchased from Linde Gas Inc. Turkey.

### B. Graphite Oxide Synthesis

Torr method was used in the synthesis of GRO by chemical method from graphite [9]. 720 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 80 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 6 g Graphite, and 36 grams KMnO<sub>4</sub> were added into a 1 L conical flask at 700 rpm. At this time, it was observed that the temperature of the mixture was approximately 35-40 °C. The mixture was placed in a water bath so that the mixing process continued and after the temperature was brought to 50 °C, it was kept at 50 °C for 12 hours by stirring. Meanwhile, it was observed that the color of the mixture was brown-gray. At the end of 12 hours, while stirring continued, the heater was turned off and the mixture was allowed to come to room temperature. When the mixture reached room temperature, it was taken into the ice bath by continuing the stirring process and the temperature has waited until the temperature decreased to 0 °C, and then 8 mL of 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was added slowly so that the temperature did not exceed 20 °C. During the addition, it was observed that foam was formed and there was no color change. After the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, the mixing process was continued and the mixture was left for 1 hour, and then it was centrifuged at 9000 rpm for 15 minutes and the supernatant was discarded. The resulting precipitate was washed twice with DI-water, 30% HCl and ethanol, respectively, and centrifuged at 9000 rpm for 15 minutes, and discarded with supernatant. The resulting GRO mixture was washed repeatedly by dialysis until pH=5 to remove acid and salt after centrifugation. The resulting GRO mixture was used as the GRO stock mixture, which was obtained by filling up to 2 L in a flask (concentration 6 mg / mL) and repeatedly washing.

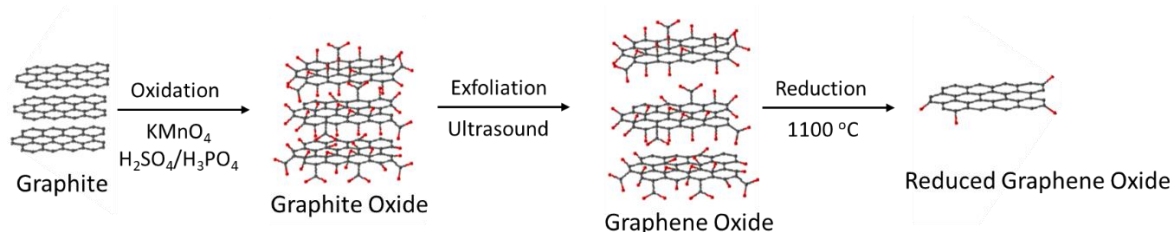
### C. Graphene Oxide Synthesis

GRO mixture with a concentration of 6mg / mL was used in the preparation of stable GO dispersions from GRO. The stock GRO mixture was mixed on the mixer for 10 minutes and an equal amount of 500 mL was taken into 4 different flasks. Each GRO mix was subjected to ultrasound for 3, 5, 8, and 12 hours, and then centrifuged at 3000 rpm for 30 minutes to prepare stable GO dispersions. The concentration of stable GO dispersions was determined by solids analysis.



#### D. Graphene Oxide and Graphene Film Production

GO film was prepared by pouring GO dispersions at different concentrations prepared from GRO mixtures into a Teflon cell of 9x10 cmxcm in a way to produce films of the same thickness and drying at 40 °C. Proterm brand gas-fed tube furnace was used to thermally reduce the prepared GO films to RGO. GO films were placed between 4 mm thick quartz glass plates cut as 10x10 cmxcm and placed inside the tube oven. Afterward, the flanges of the tube furnace were closed and the vacuum pump was operated to create a vacuum of 0.550 bar in the environment. When the desired vacuum was reached, Argon gas (high purity Argon 6.0) was fed into the tube furnace at a flow rate of 0.1 L/min. During the feeding of argon gas, the pressure of the environment reaches a maximum of 0.060 bar thanks to the check valve at the exit end of the tube furnace. This procedure was repeated twice for the complete removal of other gases present in the environment. Then the argon gas was fed for another half an hour and then the heating system of the furnace was switched on. In the thermal reduction process, the furnace temperature was raised to the desired degree (1100 °C), kept at this temperature for 15 minutes, and then the oven was programmed to start cooling. Argon gas was continued to be fed during the cooling phase, and the samples were taken out of the furnace by disconnecting the argon gas supply when the oven interior temperature was at room conditions. The representative scheme for the production of graphene by the chemical method has given in Figure 1.



**Figure 1.** Representative reaction steps of RGO production by reducing GO, which is chemically produced as a result of the oxidation and exfoliation processes of graphite.

#### E. Graphene Oxide and Graphene Film Characterization

X-ray diffraction (XRD) for structural analysis of GO and RGO films, FTIR for examining functional groups, and micrometer for film thickness determination. SEM (Scanning Electron Microscope) device was used to determine the surface morphology of GO and RGO films. Also, section SEM images were taken to determine the degrees of GO and graphene stratification. To obtain the SEM image of the sections, the films were frozen in liquid nitrogen for about 10 seconds, and then they were broken with the help of tweezers and the SEM image of the broken section was taken.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, GO films of the same thickness were produced by the casting method from GO dispersions obtained by subjecting GRO, which was synthesized by the chemical method according to the Torr method, to ultrasound at different ultrasound durations. Although the concentrations of GO dispersions prepared in different ultrasound times were different, the amount of GO dispersion that was cast was changed, and GO films of the same thickness were obtained. Thus, the effect of ultrasound duration on GO film properties was determined. The obtained GO films were thermally reduced to RGO at  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  in an argon gas environment. The changes in the properties of RGO films such as thickness and distance between layers were investigated. Results and discussions regarding these findings are presented below within the scope of the article.

#### A. The effect of Ultrasound Time on Functional and Structural Properties of GO and RGO Films

FTIR and XRD analyzes were performed to determine the structural and functional groups of GO and RGO films. Figure 2 shows the FTIR spectra used to examine the functional groups of GO and RGO films. In the FTIR spectrum, the -OH vibration stress in the region of  $3300\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$  is from the -OH and -COOH groups, the C = O vibration stress in the  $1700\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$  region is from carbonyl or carboxyl groups, the peaks in the  $1600\text{-}1620\text{ cm}^{-1}$  region are from the non-oxidized C = C bonds, the presence of C-O-C vibration stresses in the region between  $1360\text{-}1380\text{ cm}^{-1}$  is due to the epoxy groups and the presence of carbonyl groups in the C-O vibration stresses located in the  $1040\text{-}1060\text{ cm}^{-1}$  region [42]. Also, as seen from the FTIR spectra of reduced graphene in

Figure 2, with thermal reduction of GO films, all peaks responsible for oxygen functional groups (-OH, -COOH, C = O, CO, C-OH, C-OC) disappear, GO effectively thermal reduced to graphene, and characteristic peaks specific to graphene are formed. As a result, as can be seen from the FTIR spectra obtained for RGO and GO, GO was reduced to RGO even in 3 hours of ultrasound time.

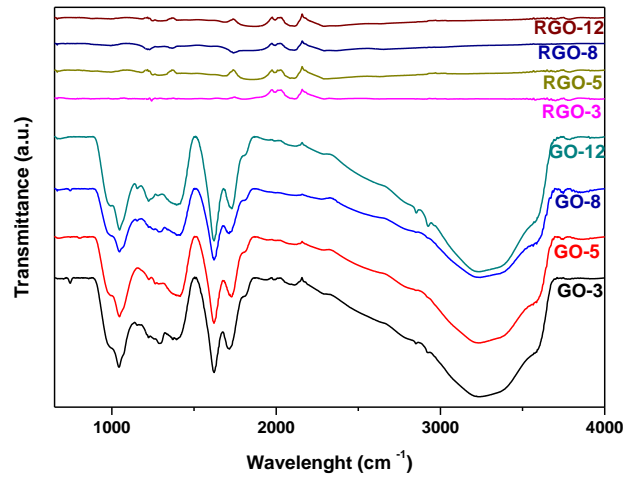


Figure 2. FTIR spectra of GO and reduced graphene films.

Figure 3 shows the XRD diffractions taken to determine the structural analysis of graphene oxide and reduced graphene films. According to the XRD diffractions, the characteristic peak of graphene oxide ( $2\theta = 11^\circ$ ) was found in the spectra of all graphene oxide films, while the characteristic graphene oxide peak for reduced graphene films disappeared and replaced with a graphene-specific characteristic peak around  $2\theta = 25^\circ$  [3, 43]. For GO and RGO films, it is seen that the peak intensity increases with the increase of ultrasound time up to 8 hours, that is, the degree of exfoliation increases, but the peak intensity decreases in 12 hours ultrasound time, thus the degree of exfoliation decreases. To explain this situation better, the distance between layers ( $d$ ) was calculated according to Bragg's equation (Equation 1) and the results obtained in Table 1 are given. According to XRD measurements, it was used  $n = 1$  and  $\lambda = 1.5$  in Bragg's equation.

$$n \lambda = 2d \sin(\theta) \quad (1)$$

Table 1. Distances between layers calculated from Bragg's equation using XRD results of GO and graphene films.

Sample Code	Ultrasound Time of GO (hours)	$2\theta$ ( $^\circ$ )	$d$ (nm)
GO-3	3	10.56	0.815
GO-5	5	10.57	0.814
GO-8	8	10.581	0.813
GO-12	12	10.58	0.814
RGO-3	3	26.365	0.329
RGO-5	5	25.963	0.334
RGO-8	8	25.72	0.337
RGO-12	12	25.883	0.335

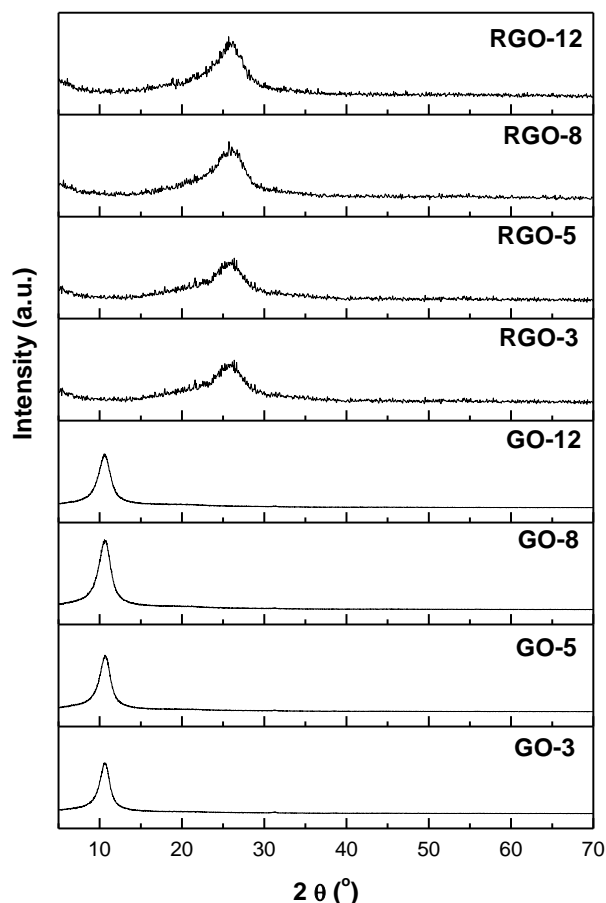


Figure 3. XRD diffractions of GO and RGO films.

### B. The Effect of Ultrasound Time on GO and RGO Film Thickness

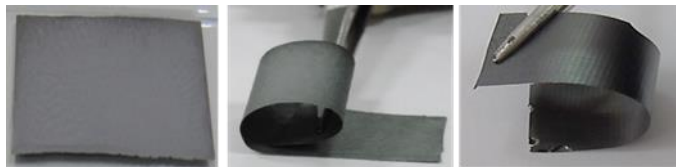
Representative bending and surface photographs of GO-3 film obtained by casting, taken with a camera, are given in Figure 4. As seen in Figure 4, GO-3 film has produced in large areas in accordance with the literature [21, 22, 24, 25] is elastic and can be bent. Also, all other films have shown the same behavior and are insulators.



Figure 4. The bending and surface photographs of GO-3 film obtained by casting

GO films were thermally reduced to RGO at 1100 °C in Argon gas flow. After the reduction of GO films, the distance between the layers has decreased due to the removal of oxygen-containing groups such as OH in GO's structure. Therefore, after thermal reduction, the film thickness was reduced. Figure 5 shows the bending and

surface digital photographs of the RGO-3 film obtained as a result of the thermal reduction of GO-3 film. Just like GO films, graphene films have a bendable and elastic structure as seen in Figure 5.

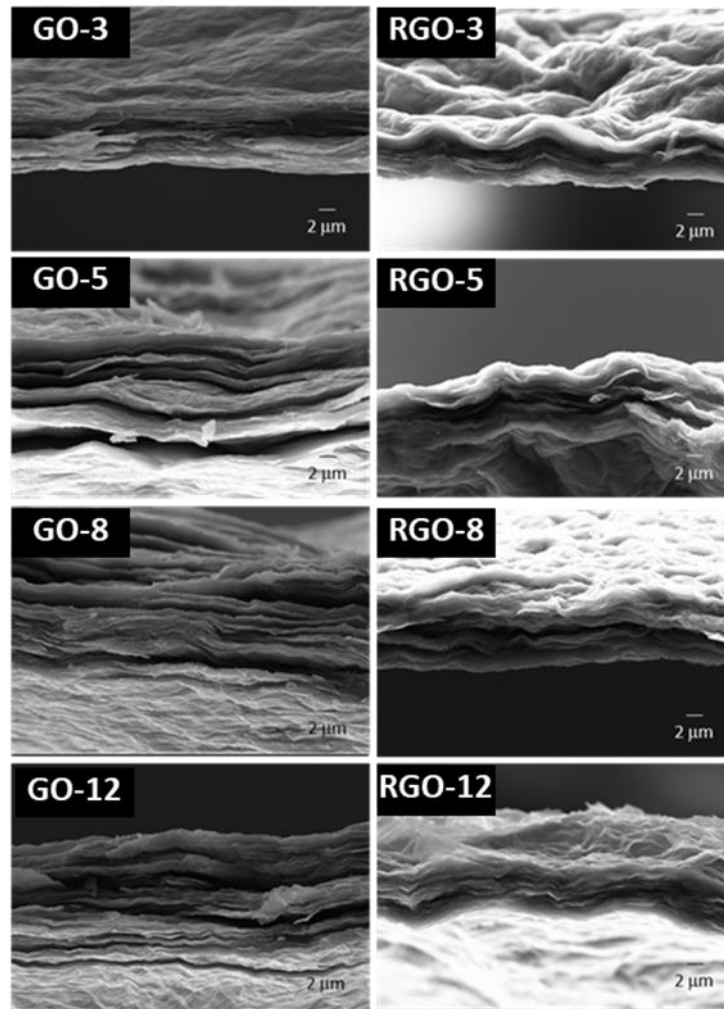


**Figure 5.** The Bending and surface digital photographs of RGO film, obtained with thermal reduction of GO-3 film.

GRO includes a number of layers like graphite whereas GO includes monolayers or small numbers of layers of oxidized graphite. The oxygenated functional groups in GRO causes of an positive effect for the exfoliation into monolayers of GO under ultrasound medium. As can be seen from Table 2, as the ultrasound time increased, the GO dispersion concentration increased due to the increasing of the degree of exfoliation of GO. In addition, GO films of the same thickness were obtained by casting method with used GO stock dispersions. As can be seen from Table 2, the average thickness of all GO films prepared is fixed as  $21.5 \pm 3 \mu\text{m}$ . The reason why the study was designed in this way is that the change in film thickness affects the graphene properties [14]. By eliminating this effect, it was investigated how only the variation in ultrasound time changes the film properties. Figure 6 shows the SEM images used to determine the cross-section morphologies and exfoliation degrees of GO and RGO films. As can be seen from Figure 6, all GO films have a layered structure, and after the GO films were thermally reduced, the distance between the layers have decreased and the exfoliation degrees increased. Although GO film thicknesses were almost same, RGO film thicknesses have increased with ultrasound time increasing from 3 to 8 hours and has decreased in the 12-hour ultrasound duration. The increase in RGO film thicknesses may be caused from the increase in the defect degree of GO with the increase in the ultrasound time and thus less frequently stacking of the layers.

**Table 2.** GO film codes and preparation conditions produced by casting GO dispersions at different concentrations.

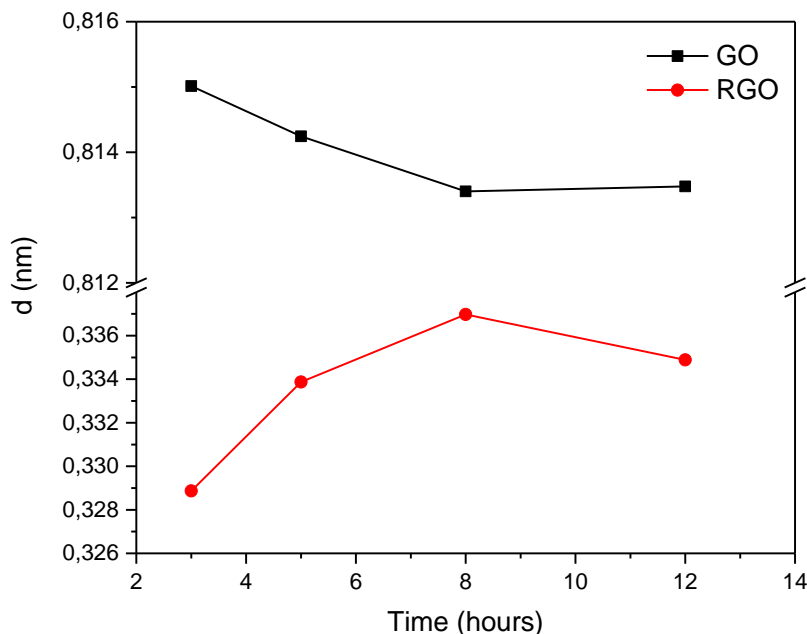
Name	Ultrasound Time (hours)	GO Concentration (mg/mL)	GO Volume (mL)	Average GO Film Thickness( $\mu\text{m}$ )
GO-3	3	2.13	93.9	21.8
GO-5	5	2.78	71.9	21.6
GO-8	8	3.34	60.0	21.5
GO-12	12	4.49	57.4	21.2



**Figure 6.** SEM images of GO and RGO films taken at 5000x magnification.

### *C. The Effect on the Distance Between Layers of Ultrasound Time*

In Figure 7, there is a graph showing the change of the distance between layers calculated from Bragg's equation depending on the change in ultrasound time of GO and RGO films. As can be seen from the figure, the distance between the layers between GO films decreased up to 8 hours of ultrasound time depending on the increase in the ultrasound time, and it increased again in 12 hours by taking one turn in the 8 hour ultrasound time. However, in RGO films, this trend has progressed reversely and the distance between the layers is the highest in 8 hours of ultrasound time. For the same film thickness, the low distance between the layers causes the number of layers per unit thickness to be higher, and thus the exfoliation degree to be higher. As a result, while the highest degree of layering was obtained for 8 hours ultrasound times for GO films, it was obtained in 3 hours ultrasound time for RGO films. These results can be explained by the fact that although the exfoliation degrees of GO films increase with the increase of the ultrasound duration, they may have been subjected to structural deterioration and also by the exfoliation of the graphitic structures at 1100°C by thermal reduction. Also, according to distances between layers obtained from the XRD results in Table 1, the inter-layer distance values calculated from Bragg's equation support the SEM section morphologies.



**Figure 7.** The variation of the distance between layers calculated from Bragg's equation depending on the change in ultrasound time of GO and RGO films.

#### IV. CONCLUSION

In this study, preparation of GO dispersions from GRO at different ultrasound times, synthesis of GO films with the same film thickness by casting method, RGO film production as a result of thermal reduction of these films, and the GO and RGO films' XRD, FTIR, and SEM analyze results are presented. Depending on the increase in ultrasound time up to 8 hours, the exfoliation degree of GO films has gradually increased, while the degree of exfoliation has decreased in the ultrasound time of 12 hours. This situation has confirmed by the distance between the layers obtained from Bragg's equation and the SEM section images. For this reason, the optimum ultrasound time has been determined as 8 hours to produce GO films with a high degree of exfoliation. However, in RGO films obtained by thermal reduction at 1100 °C of GO films prepared from GO dispersions prepared in 3, 5, 8, and 12 hours ultrasound times, the exfoliation degree has shown the opposite tendency compared to the results obtained than that of GO films. That is, the exfoliation degree of RGO films has decreased with the increase of ultrasound time up to 8 hours ultrasound time, and also has increased in 12 hours of ultrasound duration. Therefore, the highest exfoliation degree has been obtained in the RGO-3 film obtained by thermal reduction of GO films obtained from GO dispersions prepared in 3 hours of ultrasound time. The high degree of exfoliation is an important criterion for the production of RGO with higher conductivity and better performance. For this reason, although GO dispersions prepared in low ultrasound times contain more graphitic structure, it can be possible to stratify these graphitic structures by thermal reduction. As a result, it has been determined that the parameters of ultrasound time and thermal reduction temperature are important for controlling the properties of RGO films produced by thermal reduction of GO films of the same thickness.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Bilecik Şeyh Edebali University Scientific Research Projects (BAP) fund within the scope of general-purpose projects (Project No: 2019-01.BŞEÜ.03-07).

#### REFERENCES

- [1] Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V. & Firsov, A.A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306, 666-669.

- [2] Li, D. & Kaner, R.B. (2008). Graphene-based materials. *Science*, 320, 1170-1171.
- [3] Zhao, N., Cheng, X. N., Yang, J., Yang, M. X., Zheng, S.H. & Zhou, Y. Z. (2014). Experimental study on the preparation, characterization and conductivity improvement of reduced graphene-oxide papers. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 75, 1141-1146.
- [4] Geim, A. K. & Novoselov, K. S. (2007). The rise of graphene. *Nature Materials*, 6, 183-191.
- [5] Wang, H., Yuan, X., Wu, Y., Huang, H., Peng, X., Zeng, G., Zhong, H., Liang, J. & Ren, M. M. (2013). Graphene-based materials Fabrication, characterization and application for the decontamination of waste water and waste gas and hydrogen storage/generation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 195, 19-40.
- [6] Bai, H., Li, C. & Shi, G. (2011). Functional composite materials based on chemically converted graphene. *Advanced Materials*, 23, 1089-1115.
- [7] Hummers J. W. S. & Offeman, R. E. (1958). Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80,1958.
- [8] Kovtyukhova, N. I., Ollivier, P. J., Martin, B. R., Mallouk, T. E., Chizhik, S. A., Buzaneva, E. V. & Gorchinskiy, A. D. (1999). Layer-by-Layer Assembly of Ultra thin Composite Films from Micron-Sized Graphite Oxide Sheets and Polycations. *Chemistry of Materials*, 11, 771-778.
- [9] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W. & Tour, J. M. (2010). Improved Synthesis of Graphene Oxide. *ACS Nano*, 4, 4806-4814.
- [10] Botas, C., Alvarez, P., Blanco, P., Granda, M., Blanco, C., Santamaria, R., Romasanta, L. J., Verdejo, R., Lopez-Manchado, M. A. & Menendez, R. (2013). Graphene materials with different structures prepared from the same graphite by the Hummers and Brodie methods. *Carbon*, 65, 156-164.
- [11] Hirata, M., Gotou, T., Horiuchi, S., Fujiwara, M. & Ohba, M. (2004). Thin-film particles of graphite oxide 1: High-yield synthesis and flexibility of the particles. *Carbon*, 42, 2929-2937.
- [12] Wang, H., Robinson, J. T., Li, X. & Dai, H. (2009). Solvo thermal reduction of chemically exfoliated graphene sheets. *Journal of American Chemical Society*, 131, 9910-9911.
- [13] Paredes, J. I., Villar-Rodil, S., Martinez-Alonso, A. & Tascon, J. M. D. (2008). Graphene Oxide Dispersions in Organic Solvents. *Langmuir*, 24, 10560-10564.
- [14] Eda, G., Fanchini, G. & Chhowalla, M. (2008). Large-area ultra thin films of reduced graphene oxide as a transparent and flexible electronic material. *Nature Nanotechnology*, 3, 270-274.
- [15] Botas, C., Perez-Mas, A. M., Alvarez, P., Santamaria, R., Granda, M., Blanco, C. & Menendez, R., (2013). Optimization of the size and yield of graphene oxide sheets in the exfoliation step. *Carbon*, 63, 562 -592.
- [16] Si Y. & Samulski, E. T. (2008). Synthesis of Water Soluble Graphene. *Nano Letters*, 8, 1679-1682, 2008.
- [17] Hong J. Y. & Jang, J. (2012). Highly stable, concentrated dispersions of graphene oxide sheets and their electro-responsive characteristics. *Soft Matter*, 8, 7348-7350.
- [18] Valles, C., Young, R. J., Lomax, D. J. & Kinloch, I. A. (2014). The rheological behaviour of concentrated dispersions of graphene oxide. *Journal of Materials Science*, 49, 6311-6320.
- [19] Kim, K. S., Zhao, Y., Jang, H., Lee, S. Y., Kim, J. M., Kim, K. S., Ahn, J. H., Kim, P., Choi, J. Y. & Hong, B. H. (2009). Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes, *Nature*, 457, 706-710.
- [20] Liu, Z., Li, Z., Xu, Z., Xia, Z., Hu, X., Kou, L., Peng, L., Wei, Y. & Gao, C. (2014). Wet-Spun Continuous Graphene Films. *Chemistry of Materials*, 26, 6786-6795.
- [21] Li, X., Yang, T., Yang, Y., Zhu, J., Li, L., Alam, F. E., Li, X., Wang, K., Cheng, H., Lin, C. T., Fang, Y. & Zhu, H. (2016). Large-Area Ultrathin Graphene Films by Single-Step Marangoni Self-Assembly for Highly Sensitive Strain Sensing Application. *Advanced Functional Materials*, 26, 1322-1329.
- [22] Stankovich, S., Dikin, D. A., Piner, R. D., Kohlhaas, K. A., Kleinhammes, A., Jia, Y., Wu, Y., Nguyen, S. T. & Ruoff, R. S. (2007). Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide. *Carbon*, 45, 1558-1565, 2007.
- [23] Zhao, J., Pei, S., Ren, W., Gao, L. & Cheng, H. M. (2010). Efficient Preparation of Large-Area Graphene Oxide Sheets for Transparent Conductive Films. *ACS Nano*, 4, 5245-5252.
- [24] Bae, S. Y., Jeon, I. Y., Yang, J., Park, N., Shin, H. S., Park, S., Ruoff, R. S., Dai, L. & Baek, J. B. (2011). Large-Area Graphene Films by Simple Solution Casting of Edge-Selectively Functionalized Graphite. *ACS Nano*, 5, 4974-4980.
- [25] Cruz-Silva, R., Morelos-Gomez, A., Kim, H. I., Jang, H. K., Tristan, F., Vega-Diaz, S., Rajukumar, L. P., Elias, A. L., Perea-Lopez, N., Suhr, J., Endo, M. & Terrones, M. (2014). Super-stretchable Graphene Oxide

- Macroscopic Fibers with Outstanding Knotability Fabricated by Dry Film Scrolling. *ACS Nano*, 8, 5959-5967.
- [26] Yang, H., Cao, Y., He, J., Zhang, Y., Jin, B., Sun, J.L., Wang, Y. & Zhao, Z. (2017). Highly conductive free-standing reduced graphene oxide thin films for fast photoelectric devices. *Carbon*, 115, 561-570.
- [27] Dikin, D. A., Stankovich, S., Zimney, E. J., Piner, R. D., Dommett, G. H. B., Evmenenko, G., Nguyen, S. T. & Ruoff, R. S. (2007). Preparation and characterization of graphene oxide paper. *Nature*, 448, 457-460.
- [28] Ye, S., Chen, B. & Feng, J. (2015). Fracture Mechanism and Toughness Optimization of Macroscopic Thick Graphene Oxide Film. *Nature Scientific Reports*, 5, 13102-13112.
- [29] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W. & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*, 39, 228-240.
- [30] Dong, X. C., Wang, X., Wang, L., Song, H., Zhang, H., Huang, W. & Chen, P. (2012). 3D Graphene Foam as a Monolithic and Macroporous Carbon Electrode for Electrochemical Sensing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4, 3129-3133.
- [31] Qiu, H.J., Guan, Y.X., Luo, P. & Wang, Y. (2017). Recent advance in fabricating monolithic 3D porous graphene and their applications in biosensing and biofuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 89, 85-95.
- [32] Chen, H., Muller, M. B., Gilmore, K. J., Wallace, G. G. & Li, D. (2008). Mechanically Strong, Electrically Conductive, and Biocompatible Graphene Paper. *Advanced Materials*, 20, 3557-3561.
- [33] Wang, C., Li, D., Too, C.O. & Wallace, G.G. (2009). Electrochemical Properties of Graphene Paper Electrodes Used in Lithium Batteries. *Chemistry of Materials*, 21, 2604-2606.
- [34] Liu, F., Song, S., Xue, D. & Zhang, H. (2012). Folded Structured Graphene Paper for High Performance Electrode Materials. *Advanced Materials*, 24, 1089-1094.
- [35] Wang, C., Wang, X., Wang, Y., Chen, J., Zhou, H. & Huang, Y. (2015). Macroporous free-standing sulfur/reduced graphene oxide paper as cathode electrode for lithium-sulfur battery. *Nano Energy*, 11, 678-686.
- [36] Schniepp, H. C., Li, J. L., McAllister, M. J., Sai, H., Herrera-Alonso, M., Adamson, D.H., Prudhomme, R.K., Car, R., Saville, D.A. & Aksay, I.A. (2006). Functionalized single graphene sheets derived from splitting graphite oxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 110, 8535-8539.
- [37] Gonzalez, Z., Botas, C., Alvarez, P., Roldan, S., Blanco, C., Santamaria, R., Granda, M. & Menendez, R. (2012). Thermally reduced graphite oxide as positive electrode in Vanadium redox flow batteries. *Carbon*, 50, 828-834.
- [38] Botas, C., Alvarez, P., Blanco, C., Santamaria, R., Granda, M., Gutierrez, M. D., Rodríguez-Reinoso, F. & Menendez, R. (2013). Critical temperatures in the synthesis of graphene-like materials by thermal exfoliation-reduction of graphite oxide. *Carbon*, 52, 476-485.
- [39] Pei S. & Cheng, H. M. (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50, 3210-3228.
- [40] Partoens, B. & Peeters, F. M. (2006). From graphene to graphite: Electronic structure around the K point. *Physical Review B*, 74, 075404-1-11.
- [41] Xu, M., Fujita, D., Gao, J. & Hanagata, N. (2010). Auger Electron Spectroscopy: A Rational Method for Determining Thickness of Graphene Films. *ACS Nano*, 4, 2937-2945.
- [42] Chen, X., Chen, X., Zhang, F., Yang, Z. & Huang, S. (2013). One-pot hydrothermal synthesis of reduced graphene oxide/carbon nanotube/a-Ni(OH)<sub>2</sub> composites for high performance electrochemical supercapacitor. *Journal of Power Sources*, 243, 555-561.
- [43] Zhang, J., Yang, H., Shen, G., Cheng, P., Zhang, J. & Guo, S. (2010). Reduction of graphene oxide via L-ascorbic acid. *Chem. Commun.*, 46, 1112-1114.



*Araştırma Makalesi -Research Article*

# Covid-19 Pandemi Sürecinde Ülkelerin Demokratik Önlemlerinin Etkilerinin Homojen Tekdüze İlişki Modeli ile İncelenmesi

## Homogeneous Uniform Association Model for the Effects of Countries' Democratic Measures on the Covid-19 Pandemic Process Modifier

Merve Poslu<sup>1</sup>, Melike Bahçecitapar<sup>2\*</sup>, Serpil Aktaş Altunay<sup>3</sup>

**Geliş / Received:** 30/03/2021

**Revize / Revised:** 10/05/2021

**Kabul / Accepted:** 11/05/2021

### ÖZ

Covid-19 pandemi sürecinde ülkeler kendilerine özgü politikalar uygulamışlardır. Artan vakaların ve ölüm oranlarının ardından ülkelerin uyguladıkları pandemi önleyici politikalar sonucunda ortaya çıkan demokratik gerileme risk düzeyinin yanı sıra, ülkelerdeki virüs yayılım hızını ve vaka ölüm oranlarını incelemek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Önceki çalışmalardan farklı olarak, ülkelerin pandemi demokratik risk düzeyleri hesaplanarak, virüs yayılım hızı ve vaka ölüm oranları birlikte ilk defa incelenmiştir. Veriler, toplam 148 ülkenin kamuya açık kaynaklarından elde edilmiştir. Ülkelerin pandemi önleyici politikalarına ve demokratik gerileme risk düzeylerine göre virüs yayılma hızının ve Covid-19 pozitiften ölüm oranlarının incelenmesi amacıyla düzenlenen iki tane üç boyutlu olumsuzluk tablosu logaritmik doğrusal modellerin özel bir durumu olan Homojen Tekdüze İlişki modeli ile analiz edilmiştir. Homojen Tekdüze İlişki modelinde virüs yayılma hızı ve vaka ölüm oranları dikkate alınarak, ülkelerin pandemi önleyici politikaları ve demokratik gerileme risk düzeyleri karşılaştırılmıştır. Pandemi önleyici politika sıkılaştıkça, Covid-19 koronavirüsünün yayılım hızı azalmaktadır. Bu durum önleyici politikaların sıkılaşmasını daha olası kılacak ve ölüm oranının ortalama altına düşmesiyle birlikte ülkelerdeki sıkı politikaların gevşeme olasılığı artacaktır.

**Anahtar Kelimeler-** Covid-19 Pandemi, Demokratik Gerileme Risk Düzeyi, Homojen Tekdüze İlişki Modeli, Log-Linear Modeller, Önleyici Politikalar

### ABSTRACT

Countries have implemented their own policies during the Covid-19 pandemic process. The aim of this study is to examine the risk of democratic decline as a result of the preventive policies implemented by countries after increasing cases and death rates as well as the rate of virus spread and case fatality rates in the countries. This paper is the first to analyze countries' virus spread and case fatality rates together with their risk values of democratic decline. Data sets from a total of 148 countries can be accessible from publicly available sources. The variables related to the pandemic process management of the selected countries are taken as the government Covid-19 response stringency index and risk of democratic decline. Three-way contingency tables are generated with

<sup>1</sup>İletişim: [merveposlu@hacettepe.edu.tr](mailto:merveposlu@hacettepe.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-4940-8675>)

*Yüksek Lisans Öğrencisi, İstatistik Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Ankara, Türkiye*

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [mlk@hacettepe.edu.tr](mailto:mlk@hacettepe.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5443-6278>)

*İstatistik Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Ankara, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [spxl@hacettepe.edu.tr](mailto:spxl@hacettepe.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-3364-6388>)

*İstatistik Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Ankara, Türkiye*

coronavirus effective reproduction number and the death rate from Covid-19 positive variables. Homogeneous Uniform Association model, which is a special case of the log-linear model with ordinal variables, is used for the contingency tables arranged from the raw data. As a result of this study, making preventive policies more likely to be tightened causes to reduce coronavirus spread rate. In this case, it will make tightening of preventive policies more likely in the countries and the likelihood of loosening of tight policies in the countries will increase as the death rate falls below the average.

**Keywords- Covid-19 Pandemic, Democratic Decline Risk Level, Homogeneous Uniform Association Model, Log-Linear Models, Preventive Policies**

## I. GİRİŞ

Pandemi, tüm dünyada çok geniş bir alana yayılarak etkisini gösteren salgın hastalık anlamına gelir. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) tarafından bir hastalığın pandemi olabilmesi için birtakım kriterler belirlenmiştir: Hastalığa yeni bir virüsün veya mutasyona uğramış bir etkenin neden olması, başka bir canlıdan insana kolayca geçmesi ve insandan insana da kolay ve sürekli bir şekilde bulaşması [1]. Bu kriterlere dayalı olarak, 2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan ve büyük bir hızla tüm dünyayı etkisi altına alan yeni koronavirüs (Covid-19) hastalığı küresel bir tehdit oluşturduğu için pandemi olarak ilan edilmiştir [2]. Uluslararası Virüs Taksonomisi Komitesi (International Committee on Taxonomy of Viruses, ICTV), hastalığa sebep olan virüsü SARS-CoV-2 olarak isimlendirmiş ve daha sonra Dünya Sağlık Örgütü resmi olarak Covid-19 adının verildiğini duyurmuştur [3]. Paules vd. [4] bu hastalığın basit bir soğuk algınlığından daha fazlası olduğunu ve halk sağlığı alanında çok acil olarak birtakım önlemler alınmasının ne kadar hayati olduğunu vurgulamışlardır. 2019 yılında Çin'in Wuhan kentinde bu salgın ilk başladığında hastalarda ateş, öksürük, solunum güçlüğü, kas ağrısı, boğaz ağrısı, göğüs ağrısı ve ishal gibi belirtiler gözlenmiştir [5]. Covid-19 hastalığı başladığı günden bu yana dünya genelini etkisi altına almıştır. Tüm dünyada Covid-19 hastalığından ölenlerin sayısı 3 milyonu ve enfekte olan insan sayısı ise 150 milyonu aşmıştır [6]. Koronavirüsün, yayılma hızına ve virüs kaynaklı ölümler üzerindeki etkisine bakıldığında küresel boyutlarda önlem almak gerekli hale gelmiştir [7].

Ülkelerin bazıları salgın öncesi koruyucu önlemler almış iken, bazıları ise önlem alma konusunda geç kalmışlardır. Yapılan çalışmalarda, bu hastalığın insandan insana geçişinin çok kolay olduğu göz önünde bulundurularak alınacak önlemlerin insan kaynaklı politikalar şeklinde olması gerektiği vurgulanmıştır [8]. Günden güne seyri değişen koronavirüs yayılımının farklı coğrafyalarda değişken politikalarla yönetildiği gözlemlenmiştir. Bu politikaların uygulanma şekli toplumdaki virülansa, risk faktörlerine ve ülkenin kaynaklarına bağlı olarak değişmiştir. Bu değişkenliğin demokratik yöntemlere aykırı tutumları da beraberinde getirmesiyle demokratik açıdan gerileme riski kavramı ortaya çıkmıştır. V-Dem (Varieties of Democracy) Enstitüsü, "Pandemik Gerileme Projesi" ile hükümetlerin, Covid-19'a yanıt olarak acil durum tedbirlerinde demokratik standartları ne ölçüde ihlâl ettiğini değerlendiren bir çalışma yaparak verileri açık kaynak şeklinde sunmuştur [9].

Salgın zamanlarında insanlarda kaygı düzeyinin yükseldiği gözlenmiş ve bununla ilgili literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır [10-13]. Avustralya'da at influenzası için yüksek riskli enfeksiyon bölgelerinde yaşayanların enfekte olmayanlara kıyasla çok daha yüksek olasılıkla psikolojik sıkıntılar yaşadığı görülmüştür [10]. Jones vd. [11] tarafından yeni bir influenza virüsü A (H1N1) salgınının risk algısını incelemek amacıyla yapılan çalışmada, insanların başlangıçta bu salgından yüksek düzeyde endişe duyduktan sonra, anksiyete düzeylerinin virüsün acil bir tehdit olarak algılanmasıyla birlikte azaldığını göstermişlerdir. Miglani [12], Hindistan'da Covid-19 pandemisinde eve kapanmanın akıl sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiş ve belirli yaş ve meslek gruplarındaki insanların kaygı düzeylerini değerlendirmiştir. 18-30 yaş grubundakilerin diğer yaş gruplarına göre ve devlette çalışanların özel sektörde çalışanlara göre daha az stres yaşadığı ortaya çıkmıştır. Buna karşın, yalnız yaşayanların yanı sıra, 70 yaş üstündekilerin daha yüksek risk altında oldukları için ölüm korkusunun daha yüksek olduğu bulunmuştur. Zhang vd. [13], tıbbi sağlık çalışanlarının Covid-19 salgını sırasında tıbbi olmayan sağlık çalışanlarına göre daha fazla psikososyal sorunu olup olmadığını araştırmışlardır. Tıbbi sağlık çalışanlarında daha yüksek uykusuzluk prevalansı, anksiyete ve depresyon gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, kırsal kesimde yaşamının, kadın olmanın ve Covid-19 hastaları ile temas riski altında olmanın uykusuzluk, anksiyete ve depresyon için en yaygın risk faktörleri olduğu bulunmuştur. Covid-19 hastalığının bazı değişkenler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olup olmadığı, iki boyutlu olumsuzluk tabloları oluşturularak kategorik veri çözümlemesinde sık kullanılan ki-kare analizi ve logaritmik doğrusal (log-doğrusal) modelleri ile incelenmiştir [12-14]. Bhaskar vd. [14], Covid-19 salgınının artış hızını tahmin etmek için log-doğrusal

modellerden yararlanmıştır. Bilindiği gibi, kategorik veri çözümlemesi, niteliksel araştırmalardan toplanan verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesinde çok sayıda yöntem içerir [15].

Önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada Covid-19 pandemi sürecinde ülkelerin salgına yönelik demokratik önlemleri kategorik veri çözümlemesi ile incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kategorik olarak elde edilmiş sıralanabilir (ordinal) değişkenlerin analizi için klasik log-doğrusal model kullanmak yerine, log-doğrusal modellerin özel bir hali olan, bu değişkenlerin etkilerinin daha detaylıca incelenebilmesini imkân sağlayan ve ulusal literatürde daha önce hiç kullanılmayan Homojen Tekdüze İlişki (HOTİ) (Homogeneous Uniform Association Model) modelini tanıtmak ve Covid-19 verileri üzerinde farklı bir analiz yöntemi ile uygulama yapmaktır. Covid-19 verilerine göre iki tane üç boyutlu olumsuzluk tablosu düzenlenmiştir. İkinci bölümde, 148 ülke kapsamında açık kaynaklardan toplanan Aralık (2019) ve Ağustos (2020) ayları arasındaki Covid-19 verisi tanıtılmış ve HOTİ modeli hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde IBM SPSS 23.0 programı kullanılarak HOTİ modeli ile veriler analiz edilmiş ve analizlere ilişkin bulgular yorumlanmıştır. Dördüncü bölümde ise, bu çalışmadaki analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

## II. MATERYAL VE METOT

Araştırmaya katılan 148 ülkenin demokratik gerileme riski indeksi (pandemic democratic violation index-*pandem*), pandemi önleyici politika (*pöp*) düzeyleri, koronavirüs yayılma hızı (reproduction number- $R_t$ ) ve koronavirüsten kaynaklanan ölüm oranı (vaka ölüm oranı-VÖÖ) bilgileri kamuoyuna açık internet sitelerinden elde edilmiştir [16, 17].

Ülkelerin *pandem* ve *pöp* değişkenleri kategorize edilerek iki tane  $R \times C \times K$  olumsuzluk tablosu düzenlenmiştir. Ancak 21 ülkenin  $R_t$  ve 10 ülkenin VÖÖ değişkenlerine ait güncel verilerine ulaşamadığından, bu ülkelerin verileri olumsuzluk tablolarına eklenememiştir. *pöp*, *pandem* ve  $R_t$  değişkenlerinin kamuoyuna açık verileri, düzenli bir şekilde Aralık 2019-Ağustos 2020 tarih aralığında toplanmıştır. Bu nedenle analizler bu veriler üzerinden yapılmıştır. Uygulamada kullanılan değişkenler aşağıda açıklanmıştır:

**Pandemi demokratik gerileme risk düzeyi (*pandem*):** Covid-19 toplumlara sağlık anlamında en büyük zararı vermiş olsa da gerek ekonomik gerekse sosyal anlamda birçok şeyi değiştirmiştir. Bu nedenle pandemi süreci bir bakıma kriz yönetimini de gerektirmiş olup ivedi politika ihtiyaçları doğurmuştur. Hızla gelişen ve değişen pandemi hükümetlere baskı oluşturmuş ve demokratik usullere aykırı davranma potansiyelini açığa çıkarmıştır. Hükümetlerin pandemi sürecinde demokratik usulleri ihlali sebebiyle demokratik açıdan gerileme risk düzeyi “Düşük”, “Orta” ve “Yüksek” olarak üç düzeyli olarak ifade edilmiştir [9].

**Pandemi önleyici politika (*pöp*):** Oxford Covid-19 Devlet Müdahale Takibi (OxCGRT), okulların kapanması ve seyahat kısıtlamaları vb. gibi 17 göstergeyle ilgili olarak hükümetlerin salgına yanıt vermek için aldıkları politika tepkileri hakkında sistematik olarak bilgi toplamaktadır. Bu bilgilere göre, farklı ülkelerin pandemi karşısında tedbir politikalarını karşılaştırarak 100 puan üzerinden bir indeks belirlemiştir [16]. *pöp* değişkeni “Sıkı” ve “Gevşek” olmak üzere iki düzeyli olarak kategorize edilir. Bu çalışmada 100 üzerinden 60’ın altında puan alan ülkelerin politikası “Gevşek”; 60 ve üzeri puan alan ülkeler “Sıkı” politikalı olarak alınmıştır.

**Virüs yayılma hızı ( $R_t$ ):** Belirli bir t zamanında salgın yayılma potansiyelini belirler. Covid-19 virüsünün insan nüfusunda gerçek zamanlı olarak nasıl yayıldığını göstererek, salgın durumunun güncel görüntüsünü verebilir [18].

Ortalama yayılma hızı 1.0’ ın üzerindeyse, koronavirüs hızlıca yayılıyor; 1.0’ın altında ise koronavirüsün yayılımı duruyor anlamına gelir.  $R_t$ , Çin’de yapılan ilk çalışmalarda Covid-19 koronavirüsü için 2.2 ile 2.7 arasında bulunmuştur. Bu, her 6-7 gün içinde enfekte olan kişi sayısının ikiye katlanacağı anlamına gelmektedir [8]. Bu çalışmada,  $R_t$  virüs yayılma hızı iki kategoriye ayrılmıştır: 1:  $R_t \leq 1.0$  ve 2:  $R_t > 1.0$ .

**Vaka ölüm oranı (VÖÖ):** Teyit edilen ölüm sayısının teyit edilen vaka sayısına bölünmesi ile elde edilir. Bu değişken yüzde (%) olarak ifade edilir. Ölüm oranının yaşlı nüfusa sahip toplumlarda oldukça yüksek olduğu bulunmuştur [19].

Bu çalışmada incelenen 148 ülkenin 138’inin VÖÖ değişkenine ait verilerine göre, vaka ölüm oranlarının ortalaması 3.62 olarak bulunmuştur. Buna göre, vaka ölüm oranı iki kategoriye ayrılarak incelenmiştir: 1:  $\leq 3.62$  ve 2:  $> 3.62$ .

### A. Homojen Tekdüze İlişki (HOTİ) Modeli

Üç yönlü  $R \times C \times K$  boyutlu olumsuzluk tablosunda satır değişkeni  $X$ , sütun değişkeni  $Y$  ve tabaka değişkeni  $Z$  olmak üzere,  $n_{ijk}$ ,  $i=1, 2, \dots, R$ ;  $j=1, 2, \dots, C$ ;  $k=1, 2, \dots, K$ ,  $X$  satır değişkeninin  $i$ . düzeyine,  $Y$  sütun değişkeninin  $j$ . düzeyine ve  $Z$  tabaka değişkeninin  $k$ . düzeyine karşılık gelen gözlenen sıklığı ifade etsin. Buna göre, bir  $R \times C \times K$  boyutlu olumsuzluk tablosu Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 1.**  $R \times C \times K$  boyutlu olumsuzluk tablosu

		<b>Z</b>					
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	<b>K</b>	<b>Toplam</b>	
<b>1</b>	<b>1</b>	$n_{111}$	$n_{112}$	$\dots$	$n_{11K}$	$n_{11.}$	
	<b>2</b>	$n_{121}$	$n_{122}$	$\dots$	$n_{12K}$	$n_{12.}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	<b>C</b>	$n_{1C1}$	$n_{1C2}$	$\dots$	$n_{1CK}$	$n_{1C.}$	
<b>2</b>	<b>1</b>	$n_{211}$	$n_{212}$	$\dots$	$n_{21K}$	$n_{21.}$	
	<b>2</b>	$n_{221}$	$n_{222}$	$\dots$	$n_{22K}$	$n_{22.}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	<b>C</b>	$n_{2C1}$	$n_{2C2}$	$\dots$	$n_{2CK}$	$n_{2C.}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
<b>R</b>	<b>1</b>	$n_{R11}$	$n_{R12}$	$\dots$	$n_{R1K}$	$n_{R1.}$	
	<b>2</b>	$n_{R21}$	$n_{R22}$	$\dots$	$n_{R2K}$	$n_{R2.}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	<b>C</b>	$n_{RC1}$	$n_{RC2}$	$\dots$	$n_{RCk}$	$n_{RC.}$	
<b>Toplam</b>		$n_{.1}$	$n_{.2}$	$\dots$	$n_{.K}$	$n_{...}$	

Üç yönlü ya da daha yüksek dereceden olan olumsuzluk tablolarında eğer tüm değişkenler nominal ( $N$ ) (sınıflanabilir ölççek) ise log-doğrusal model çözümlemesi yapılır. Ancak değişkenlerden en az birisi ordinal ( $O$ ) (sıralanabilir ölççek) ise o zaman log-doğrusal modeller yerine ordinal değişkeni de dikkate alan daha özel bazı log-doğrusal modeller kullanılmalıdır. Örneğin,  $X$  satır,  $Y$  sütun ve  $Z$  tabaka değişkenlerinin ordinal olduğu bir  $R \times C \times K$  boyutlu olumsuzluk tablosu aynı zamanda  $O \times O \times O$  tablosu olarak tanımlanır ve bu tablonun analizi için modele sıralanabilir değişkenler arasındaki ikili etkileşimler katılmalıdır. Sıralanabilir değişkenler arasındaki tüm ikili etkileşimlerin yer aldığı log-doğrusal modeli HOTİ modeli olarak adlandırılır [20-22].

Tablo 1’deki üç yönlü  $R \times C \times K$  boyutlu olumsuzluk tablosunda  $X$  satır,  $Y$  sütun ve  $Z$  tabaka değişkeni ordinal olsun.  $E_{ijk}$ ,  $i=1, 2, \dots, R$ ;  $j=1, 2, \dots, C$ ;  $k=1, 2, \dots, K$ ;  $i$ . satır,  $j$ . sütun ve  $k$ . tabaka düzeyine karşılık gelen beklenen sıklık olmak üzere, HOTİ modeli Denklem (1)’deki gibi tanımlanır:

$$\log(E_{ijk}) = u + u_{1(i)} + u_{2(j)} + u_{3(k)} + \beta^{12} X_i Y_j + \beta^{13} X_i Z_k + \beta^{23} Y_j Z_k \quad (1)$$

Denklem (1)’de,

- $u$ : Sabit etki
- $u_{1(i)}$ :  $X$  satır değişkeninin  $i$ . düzey etkisi,
- $u_{2(j)}$ :  $Y$  sütun değişkeninin  $j$ . düzey etkisi,
- $u_{3(k)}$ :  $Z$  tabaka değişkeninin  $k$ . düzey etkisi,
- $\beta^{12}$ :  $X$  satır ve  $Y$  sütun değişkenleri arasındaki ilişki parametresi,
- $\beta^{13}$ :  $X$  satır ve  $Z$  tabaka değişkenleri arasındaki ilişki parametresi,
- $\beta^{23}$ :  $Y$  sütun ve  $Z$  tabaka değişkenleri arasındaki ilişki parametresi,
- $X_i$ :  $X$  satır değişkeni için  $i$ . skor değeri,

- $Y_j$  :  $Y$  sütun değişkeni için  $j$ . skor değeri,
- $Z_k$  :  $Z$  tabaka değişkeni için  $k$ . skor değeri,

olarak ifade edilir. Denklem (1)'deki HOTİ modelinde her bir  $\beta$  parametresi için hesaplanan  $\exp(\beta)$ , odds oranını verir. Denklem (1)'deki HOTİ modelinin serbestlik derecesi (sd) aşağıdaki gibi hesaplanır [21, 22]:

$$sd = RCK - [1 + (R - 1) + (C - 1) + (K - 1) + 3] = RCK - R - C - K - 1.$$

HOTİ modeli parametrelerinin önem kontrolü  $H_0$ : Parametre = 0 yokluk hipotezine göre test edilir.

$$Z = \frac{\text{Parametre tahmini}}{\text{St. Hata (Parametre tahmini)}}$$

olmak üzere,  $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$  ise,  $H_0$  hipotezi reddedilir ve "HOTİ modelinde ilgilenilen parametre istatistiksel olarak anlamlıdır" şeklinde yorum yapılır. Denklem (1)'deki  $u_{1(i)}$ ,  $u_{2(j)}$  ve  $u_{3(k)}$  parametreleri için  $H_0$  hipotezinin reddedilmesi, sırasıyla,  $X$  satır,  $Y$  sütun ve  $Z$  tabaka değişkenlerinin ilgili düzeylerinin ana etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir.  $\beta^{12}$ ,  $\beta^{13}$  ve  $\beta^{23}$  parametreleri için  $H_0$  hipotezinin reddedilmesi ise, sırasıyla,  $X$  satır ve  $Y$  sütun değişkenlerinin ikili etkileşiminin,  $X$  satır ve  $Z$  tabaka değişkenlerinin ikili etkileşiminin ve  $Y$  sütun ve  $Z$  tabaka değişkenlerinin ikili etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir.

HOTİ modeline uyumun değerlendirilmesi için Olabilirlik Oran Ki-Kare ( $G^2$ ) ve Pearson Ki-Kare ( $\chi^2$ ) test istatistiklerinden yararlanılır [15, 21]:

$$G^2 = 2 \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K n_{ijk} \ln \left( \frac{n_{ijk}}{E_{ijk}} \right)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K \frac{(n_{ijk} - E_{ijk})^2}{E_{ijk}}$$

$n_{ijk}$  gözlenen sıklıklar ile  $E_{ijk}$  beklenen sıklıkları karşılaştırmak amacıyla  $\chi^2$  test istatistiğine alternatif bir test olan  $G^2$  testi, yokluk ( $H_0$ ) hipotezine göre  $\chi^2$  testine asimtotik olarak eşdeğerdir.  $H_0$  hipotezi doğru olduğunda  $G^2$  testi Ki-Kare dağılımı gösterir [15, 21].

### III. BULGULAR

Bu çalışmada incelenen üç yönlü 2x3x2 boyutlu olumsuzluk tabloları Tablo 2 ve Tablo 3'teki gibidir. Ülkelerin  $pöp$  ve  $pandem$  değişkenlerine göre, Covid-19 yayılma hızı ( $R_t$ ) Tablo 2'de ve VÖO Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 2.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve  $R_t$  değişkenlerine ait 2x3x2 boyutlu olumsuzluk tablosu

Pandemi Önleyici Politika( $pöp$ )	Demokratik Gerileme Risk Düzeyi( $pandem$ )	Koronavirüs Yayılma Hızı ( $R_t$ )		Toplam
		$\leq 1.0$	$>1.0$	
Gevşek	Düşük	14	21	35
	Orta	9	7	16
	Yüksek	3	7	10
Sıkı	Düşük	13	18	31
	Orta	12	9	21
	Yüksek	6	8	14
Toplam		57	70	127

**Tablo 3.** *pöp, pandem* ve VÖO değişkenlerine ait 2x3x2 boyutlu olumsuzluk tablosu

Pandemi Önleyici Politika( <i>pöp</i> )	Demokratik Gerileme Risk Düzeyi( <i>pandem</i> )	Vaka Ölüm Oranı (VÖO)		Toplam
		≤ 3.6	> 3.6	
Gevşek	Düşük	26	12	38
	Orta	15	3	18
	Yüksek	11	2	13
Sıkı	Düşük	21	10	31
	Orta	16	8	24
	Yüksek	12	2	14
Toplam		101	37	138

Türkiye'nin de aralarında bulunduğu toplam 148 ülkenin *pandem, pöp, R<sub>t</sub>* ve VÖO değişkenlerine göre dağılımı Tablo 4'teki gibidir. 148 ülkenin 75'inin (%50.7'sinin) demokratik gerileme risk düzeyi "Düşük", 101'inin (%73.2'sinin) vaka ölüm oranı " $\leq 3.6$ " ve 69'unun (%54.3'ünün) koronavirüs yayılma hızı ( $R_t$ ) " $> 1.0$ " olarak bulunmuştur (Tablo 4). Ülkelerin verileri küçükten büyüğe sıralandığında, Türkiye  $R_t$  koronavirüs yayılma hızı bakımından 84. ve VÖO bakımından 72. sıradadır.

**Tablo 4.** 148 ülkenin *pandem, pöp, R<sub>t</sub>* ve VÖO değişkenlerine göre dağılımı

Değişkenler	Ülke sayısı (n)	Yüzde (%)
Demokratik Gerileme Risk Düzeyi ( <i>pandem</i> )		
Düşük	75	50.7
Orta	45	30.4
Yüksek	28	18.9
Toplam	148	100.0
Pandemi Önleyici politika ( <i>pöp</i> )		
Gevşek	74	50.0
Sıkı	74	50.0
Toplam	148	100.0
Vaka Ölüm Oranı (VÖO) (%)		
≤ 3.62	101	73.2
> 3.62	37	26.8
Toplam	138	100.0
Koronavirüs Yayılma Hızı ( $R_t$ )		
≤ 1.0	58	45.7
> 1.0	69	54.3
Toplam	127	100.0

Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen olumsuzluk tablolarının çözümlenmeleri için Denklem (1)'e dayalı olarak, sırasıyla, Denklem (2) ve Denklem (3)'teki HOTİ modelleri kullanılmıştır ( $i=1, 2; j=1, 2, 3; k=1, 2$ ).

$$\log(E_{ijk}) = u + pöp_{(i)} + pandem_{(j)} + R_{t(k)} + \beta^{12} pöp_i pandem_j + \beta^{13} pöp_i R_{t_k} + \beta^{23} pandem_j R_{t_k} \quad (2)$$

$$\log(E_{ijk}) = u + pöp_{(i)} + pandem_{(j)} + VÖO_{(k)} + \beta^{12} pöp_i pandem_j + \beta^{13} pöp_i VÖO_k + \beta^{23} pandem_j VÖO_k \quad (3)$$

Denklem (2) ve Denklem (3)'e göre, HOTİ modeli için serbestlik derecesi  $sd=4$ 'tür. Tüm değişkenlerin ordinal olduğu bir  $0 \times 0 \times 0$  olumsuzluk tablosunu HOTİ modeli ile çözebilmek için model tanımına göre tasarım

matrisinin oluşturulması gerekir. Tablo 2 ve Tablo 3'teki olumsuzluk tablolarının HOTİ modeline göre çözümlenmeleri için gerekli olan tasarım matrisleri SPSS programında sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'daki gibi tanımlanır.

Tablo 5 ve Tablo 6'da Beta12, Beta13 ve Beta23 değişkenleri sırasıyla Denklem (1)'deki  $\beta^{12}$ ,  $\beta^{13}$  ve  $\beta^{23}$  parametrelerine karşılık gelmektedir. Buna göre, Tablo 5 ve Tablo 6 için, Beta12 değişkeni *pöp* ve *pandem* değişkenlerinin katsayılarının çarpımından oluşur. Tablo 5'te, Beta13 değişkeni *pöp* ve  $R_t$ , Beta23 değişkeni *pandem* ve  $R_t$  değişkenlerindeki katsayıların çarpımından oluşur.

**Tablo 5.** *pöp*, *pandem* ve  $R_t$  değişkenleri için HOTİ modelinin tasarım matrisi

<i>pöp</i>	<i>pandem</i>	$R_t$	Beta12	Beta13	Beta23	Sıklık
1	1	1	1	1	1	14
1	1	2	1	2	2	21
1	2	1	2	1	2	9
1	2	2	2	2	4	7
1	3	1	3	1	3	3
1	3	2	3	2	6	7
2	1	1	2	2	1	13
2	1	2	2	4	2	18
2	2	1	4	2	2	12
2	2	2	4	4	4	9
2	3	1	6	2	3	6
2	3	2	6	4	6	8

**Tablo 6.** *pöp*, *pandem* ve VÖO değişkenleri için HOTİ modelinin tasarım matrisi

<i>pöp</i>	<i>pandem</i>	VÖO	Beta12	Beta13	Beta23	Sıklık
1	1	1	1	1	1	26
1	1	2	1	2	2	12
1	2	1	2	1	2	15
1	2	2	2	2	4	3
1	3	1	3	1	3	11
1	3	2	3	2	6	2
2	1	1	2	2	1	21
2	1	2	2	4	2	10
2	2	1	4	2	2	16
2	2	2	4	4	4	8
2	3	1	6	2	3	12
2	3	2	6	4	6	2

Benzer olarak, Tablo 6'da Beta13 ve Beta23 değişkenleri VÖO değişkenine göre hesaplanır. IBM SPSS 23.0 programında, Tablo 2 ve Tablo 3'teki  $0 \times 0 \times 0$  olumsuzluk tablolarının Denklem (2) ve Denklem (3)'teki HOTİ modellerine göre çözümlenmeleri *Loglinear* → *General* ana menüsünde yapılmıştır. İncelenen HOTİ modeline göre, *pöp*, *pandem*,  $R_t$  veya VÖO değişkenleri "faktör"; tasarım matrisinin parametreye ilişkin sütunları ise eşdeğişken (covariate) olarak atanır.

**Tablo 7.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve  $R_t$  değişkenleri için HOTİ modeli uyum iyiliği sonuçları

	Değer	Sd	$p$
Olabilirlik Oran ( $G^2$ )	3.396	4	0.494
Pearson Ki-Kare ( $\chi^2$ )	3.386	4	0.495

Tablo 7’de  $pöp$ ,  $pandem$  ve  $R_t$  değişkenlerine ait  $2 \times 3 \times 2$  boyutlu olumsuzluk tablosunun HOTİ modeli ile çözümlemesi sonucunda elde edilen uyum iyiliği sonuçları verilmiştir. Tablo 7’ye göre, “ $H_0$ : HOTİ modeline uyum vardır.” yokluk hipotezi kabul edilir ( $G^2=3.396$ ,  $p>0.10$ ). Bir başka ifade ile, Tablo 2’deki veriler için Denklem (2)’de ifade edilen HOTİ modeline uyum olduğu bulunmuştur.

**Tablo 8.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenleri için HOTİ modeli uyum iyiliği sonuçları

	Değer	Sd	$p$
Olabilirlik Oran ( $G^2$ )	2.097	4	0.718
Pearson Ki-Kare ( $\chi^2$ )	2.130	4	0.712

Tablo 8’de  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenlerine ait  $2 \times 3 \times 2$  boyutlu olumsuzluk tablosunun HOTİ modeli ile çözümlemesi sonucunda elde edilen uyum iyiliği sonuçları verilmiştir. Tablo 8’de uyum iyiliği test sonuçlarına bakıldığında, “ $H_0$ : HOTİ modeline uyum vardır.” yokluk hipotezi kabul edilir ( $G^2=2.097$ ,  $p>0.10$ ). Tablo 3’teki olumsuzluk tablosunun, Denklem (3)’teki tüm ikili etkileşimleri içeren HOTİ modeline uyum gösterdiği bulunmuştur.

**Tablo 9.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve  $R_t$  değişkenleri için HOTİ modeline göre hesaplanan beklenen sıklıklar ve artıklar

$pöp$	$pandem$	$R_t$	Beklenen sıklıklar	Artıklar
1	1	1	14.54	-0.54
1	1	2	19.97	1.03
1	2	1	7.30	1.70
1	2	2	9.68	-2.68
1	3	1	4.17	-1.17
1	3	2	5.34	1.66
2	1	1	14.59	-1.59
2	1	2	16.90	1.10
2	2	1	9.45	2.55
2	2	2	10.57	-1.57
2	3	1	6.96	-0.96
2	3	2	7.53	0.47

Tablo 9’daki beklenen sıklıklar sütununda  $pöp$ ,  $pandem$  ve  $R_t$  değişkenlerinin Denklem (2)’deki HOTİ modeli ile analizine göre elde edilen  $E_{ijk}$  değerleri ve artıklar sütununda ise gözlenen sıklıklar ile beklenen sıklıklar arasındaki farklar ( $n_{ijk} - E_{ijk}$ ) gösterilmektedir.



**Tablo 10.** *pöp*, *pandem* ve  $R_t$  değişkenleri için HOTİ modeline ait parametre tahmin sonuçları

Parametre	Tahmin	St.Hata	Z	p	%90 Güven Aralıkları	
					Alt sınır	Üst sınır
Sabit etki	1.378	2.213	0.623	0.533	-2.26	5.02
<i>pöp</i>						
Gevşek	0.081	0.704	0.114	0.909	-1.08	1.24
Sıkı	0	.	.	.	.	.
<i>pandem</i>						
Düşük	1.691	1.067	1.585	0.113	-0.06	3.45
Orta	0.781	0.590	1.323	0.186	-0.19	1.75
Yüksek	0	.	.	.	.	.
$R_t$						
$\leq 1.0$	-0.523	0.664	-0.787	0.431	-1.61	0.57
$> 1.0$	0	.	.	.	.	.
$\beta^{12}$	0.255	0.232	1.097	0.273	-0.13	0.64
$\beta^{13}$	-0.171	0.359	-0.475	0.635	-0.76	0.42
$\beta^{23}$	-0.034	0.232	-0.148	0.882	-0.42	0.35

Tablo 10’da, Tablo 2’deki *pöp*, *pandem* ve  $R_t$  değişkenlerine ait  $0 \times 0 \times 0$  olumsuzluk tablosunun Denklem (2)’deki HOTİ modeli ile çözümlemesi sonucunda elde edilen parametre tahminleri, standart hataları ve tahminlerin %90 güven aralıkları verilmiştir. *pöp* değişkeni için “Sıkı”, *pandem* değişkeni için “Yüksek” ve  $R_t$  değişkeni için “ $>1.0$ ” düzeyi referans kategori olarak alınmıştır.  $\beta^{12}$ ,  $\beta^{13}$  ve  $\beta^{23}$  parametreleri ise sırasıyla, *pöp* ve *pandem*, *pöp* ve  $R_t$  ve *pandem* ve  $R_t$  değişkenleri arasındaki ikili ilişkileri ifade eden parametrelerdir ( $\beta^{12}=0.255$ ,  $\beta^{13}=-0.171$ ,  $\beta^{23}=-0.034$ ).

Tablo 10’da, *p*-değerlerine bakıldığında, ikili ilişki parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir ( $p>0.10$ ). Parametre tahminleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamasına rağmen kavramsal olarak ne anlama geldiğini göstermek amacıyla aşağıdaki gibi yorumlanmıştır: Virüs bulaşma hızı  $R_t$  ne olursa olsun, pandemi önleyici politikanın (*pöp*) “Sıkı” olmasına göre “Gevşek” olması, ülkenin demokratik gerileme riskinin (*pandem*) “Yüksek” olmasına göre “Orta” olmasını ya da “Orta” olmasına göre “Düşük” olması olasılığını  $\exp(0.255)=1.3$  kat artırdığı bulunmasına rağmen, bu odds oranı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Demokratik gerileme riski (*pandem*) ne olursa olsun, pandemi önleyici politikanın (*pöp*) “Sıkı” olmasına göre “Gevşek” olması, virüs yayılım hızı  $R_t$ ’nin “ $\leq 1.0$ ” olması olasılığını  $\exp(-0.171)=0.84$  kat artırır. Odds oranı 1’den küçük olduğu için, odds oranının tersi alınarak tekrar yorumlanmalıdır. *pöp* değişkeninin “Gevşek” olmasına göre “Sıkı” olması, virüs yayılım hızı  $R_t$ ’nin “ $\leq 1.0$ ” olması olasılığını  $1/0.84=1.19$  kat artırdığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, *pöp* ne olursa olsun, demokratik gerileme riski *pandem*’in “Yüksek” olmasına göre “Orta” olması ya da “Orta” olmasına göre “Düşük” olması olasılığı, virüs yayılım hızı  $R_t$ ’nin “ $\leq 1.0$ ” olması olasılığını  $\exp(-0.034)=0.96$  kat arttırmaktadır. Odds oranı  $<1$  olduğu için tersi alınarak şu şekilde yorum yapılabilir: Demokratik gerileme riski *pandem*’in “Düşük” olmasına göre orta olması ya da “Orta” olmasına göre “Yüksek” olması olasılığı, virüs yayılım hızı  $R_t$ ’nin “ $\leq 1.0$ ” olması olasılığını  $1/0.96=1.04$  kat artırır.

**Tablo 11.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenleri için HOTİ modeline göre hesaplanan beklenen sıklıklar ve artıklar

$pöp$	$pandem$	VÖO	Beklenen sıklıklar	Artıklar
1	1	1	25.84	0.16
1	1	2	10.96	1.04
1	2	1	16.08	-1.08
1	2	2	4.32	-1.32
1	3	1	10.08	0.92
1	3	2	1.72	0.28
2	1	1	20.65	0.35
2	1	2	11.55	-1.55
2	2	1	15.94	0.06
2	2	2	5.66	2.34
2	3	1	12.41	-0.41
2	3	2	2.79	-0.79

**Tablo 12.**  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenleri için HOTİ modeline ait parametre tahmin sonuçları

Parametre	Tahmin	St.Hata	Z	p	%90 Güven Aralıkları	
					Alt sınır	Üst sınır
Sabit etki	1.355	2.288	0.592	0.554	-2.41	5.12
<i>pöp</i>						
Gevşek	0.718	0.688	1.042	0.297	-0.42	1.85
Sıkı	0	.	.	.	.	.
<i>pandem</i>						
Düşük	0.462	0.939	0.492	0.623	-1.08	2.01
Orta	0.227	0.513	0.443	0.658	-0.62	1.07
Yüksek	0	.	.	.	.	.
$R_t$						
$\leq 1.0$	0.680	0.726	0.936	0.349	-0.52	1.87
$> 1.0$	0	.	.	.	.	.
$\beta^{12}$	0.216	0.223	0.968	0.333	-0.15	0.58
$\beta^{13}$	0.277	0.391	0.709	0.478	-0.037	0.92
$\beta^{23}$	-0.456	0.269	-1.697	0.09*	-0.90	-0.01

\*:  $p < 0.10$

Tablo 11'deki beklenen sıklıklar sütununda  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenlerinin Denklem (3)'teki HOTİ modeli ile analizine göre elde edilen  $E_{ijk}$  değerleri ve artıklar sütununda ise gözlenen sıklıklar ile beklenen sıklıklar arasındaki farklar ( $n_{ijk} - E_{ijk}$ ) gösterilmektedir.

Tablo 12'de, Tablo 3'te verilen  $pöp$ ,  $pandem$  ve VÖO değişkenlerine ait  $O \times O \times O$  olumsallık tablosunun Denklem (3)'teki HOTİ modeline göre yapılan çözümleme sonuçları verilmiştir. VÖO değişkeni için ">3.62" düzeyi referans kategori olarak alınmıştır. Tablo 12'de,  $\beta^{12}$ ,  $\beta^{13}$  ve  $\beta^{23}$ , sırasıyla,  $pöp$  ve  $pandem$ ,  $pöp$  ve VÖO,  $pandem$  ve VÖO değişkenleri arasındaki ikili ilişki parametreleridir ( $\beta^{12}=0.216$ ,  $\beta^{13}=0.277$ ,  $\beta^{23}=-0.456$ ).  $pöp$ değişkeni için  $pandem$  satır etki parametresi 0.216 ve VÖO satır etki parametresi 0.277 olarak tahmin edilmiştir.  $p$ -değerlerine bakıldığında,  $pandem$  ve VÖO satır etki parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir ( $p > 0.10$ ). Ancak,  $pandem$  değişkeni için VÖO satır etki parametresi -0.456 olarak tahmin edilmiştir.  $pandem$  ve VÖO değişkenleri için ilişki parametresini ifade eden bu değer istatistiksel olarak anlamlı

bulunmuştur ( $p < 0.10$ ). Parametrenin negatif işaretli olması *pandem* değişkeni ile VÖO değişkeni arasında negatif yönlü bir ilişki olduğunu gösterir.

Tablo 12'ye göre, vaka ölüm oranı VÖO ne olursa olsun, pandemi önleyici politikanın (*pöp*) "Sıkı" olmasına göre "Gevşek" olması, ülkenin demokratik gerileme riskinin (*pandem*) "Yüksek" olmasına göre "Orta" olmasını ya da "Orta" olmasına göre "Düşük" olması olasılığını  $\exp(0.216)=1.24$  kat artırır. Demokratik gerileme riski (*pandem*) ne olursa olsun, pandemi önleyici politikanın (*pöp*) "Sıkı" olmasına göre "Gevşek" olması, vaka ölüm oranının (VÖO) " $\leq 3.62$ " olması olasılığını  $\exp(0.277)=1.32$  kat artırır. Pandemi önleyici politika (*pöp*) ne olursa olsun, demokratik gerileme riskinin (*pandem*) "Yüksek" olmasına göre "Orta" olması ya da "Orta" olmasına göre "Düşük" olması olasılığı, VÖO'nun " $\leq 3.62$ " olması olasılığını  $\exp(-0.456)=0.63$  kat artırır. Odds oranı 1'den küçük olduğu için, odds oranının tersi alınarak yorumlama yapılmalıdır. Buna göre, *pöp* değişkeni ne olursa olsun, *pandem* değişkeninin "Düşük" olmasına göre "Orta" olması ya da "Orta" olmasına göre "Yüksek" olması olasılığı, VÖO'nun " $\leq 3.62$ " olması olasılığını  $1/0.63=1.59$  kat artırır.

#### IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Aralık 2019'da Çin'in Wuhan şehrinden başlayan ve hâlâ etkisi süregelen pandemi, küresel bir problem olsa ve küresel bir mücadeleyi gerektirse de Covid-19 ile ilgili olarak ülkelerin izledikleri politikalar farklılık göstermektedir. Covid-19 salgını ile ilgili ülkelerin takip ettikleri önleyici politikalar ülkelerin kendi iç dinamiklerine göre farklılıklar yaratmıştır. Örneğin, Güney Kore test sayısını yüksek tutmuş, Almanya sağlık altyapısını güçlendirmeye çalışmış ve Çin ise vatandaşlarına çok sıkı denetleme uygulamıştır. İngiltere "sürü bağışıklığı" politikasını uymayı denemiş ancak artan vaka sayıları karşısında bu politikadan vazgeçmiştir. Bazı ülkeler okul ve işyerlerinin kapatmanın ve yurtiçi ve yurtdışı seyahat yasağı getirmenin yanı sıra, mali ve/veya izleme politikaları gündeme getirmişlerdir. Pandemi önleyici politika (*pöp*) olarak adlandırılan yaklaşımda, 100 skorluk bir indeks üzerinden ülkeler değerlendirilmiştir. 60 altı puan alan ülkeler "Gevşek"; 60 ve üzeri puan alan ülkeler "Sıkı" politika uyguluyor anlamına gelmektedir. Demokratik gerileme risk düzeyi (*pandem*) değişkeni, pandemi sürecinde demokratik süreçlerden ne derece sapma olduğunu gösteren bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

İncelenen 148 ülkenin 75'i (%51'i) "Düşük"; 45'i (%30'u) "Orta" ve 28'i (%19'u) "Yüksek" demokratik gerileme riskine sahiptir. Bu çalışmada, bu iki faktör hem virüs bulaşma hızı ( $R_t$ ) hem de Covid-19 pozitif ölüm oranları (vaka ölüm oranları-VÖO) değişkenleri ile çaprazlanarak iki tane üç boyutlu olumsuzluk tablosu oluşturulmuştur. Bu çalışma kategorik veri çözümlemesinde ordinal değişkenlerin olduğu üç boyutlu olumsuzluk tablolarını detaylıca inceleme imkânı sağlayan ve daha önceden ulusal literatürde hiç kullanılmayan HOTİ modelinin tanıtılması bakımından bir ilktir. Bu çalışmada *pöp*, *pandem*,  $R_t$  ve VÖO değişkenlerine göre oluşturulan olumsuzluk tabloları için HOTİ modeline uyum olduğu bulunmuştur. HOTİ modeli ile yapılan analiz sonuçlarına göre, pandemi önleyici politikanın sıkılaşması, Covid-19 koronavirusunun yayılım hızını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, virüs bulaşma hızı ne olursa olsun, pandemi önleyici politikanın (*pöp*) "Sıkı" olmasına göre "Gevşek" olması, ülkenin demokratik gerileme riskinin (*pandem*) "Yüksek" olmasına göre "Orta" olmasını ya da "Orta" olmasına göre "Düşük" olması olasılığını artırdığı bulunmuştur. Ülkelerin pandemi önleyici politikalarını sıkılaştırması demokratik gerileme risklerini yükseltecektir.

Bu çalışmada, olumsuzluk tablolarına uygulanan modelden elde edilen tahminler ışığında, devam eden pandemi süreci normalleşme adımları sebebiyle birçok ülkenin de sıkı politikalarını gevşettiğini göstermiştir. Bunun sonucu olarak, ülkelerin %50'sinin "Gevşek"; %50'sinin "Sıkı" politika izledikleri görülmektedir. Daha esnek politikalar izleyen ülkelerde demokratik açıdan gerileme riskinin de düşük olduğu gözlenmiştir.  $R_t$  değerine ilişkin elde edilen olumsuzluk tablosunda ise ülkelerin çoğunluğunda virüsün etkili üreme oranının 1.0'ın üzerinde olduğu dolayısıyla da virüs yayılımının halen devam ettiği çıkarımında bulunulmuştur. Bu çıkarım normalleşme süreci içerisinde olan ülkeler için tedbir politikalarında öngörü sağlayacaktır. Bu çalışmanın Covid-19 ile ilgili olan önceki çalışmalardan farkı, kategorik veri çözümlemesinde tüm değişkenlerin sıralanabilir olduğu durumda kullanılan HOTİ modeli ile devletlerin pandemi önleyici politikalarına ve demokratik gerileme risk düzeylerine göre, Covid-19 koronavirusunun yayılma hızı ve vaka ölüm oranlarının incelenmiş olmasıdır.

Yapılan tahminler doğrultusunda, hükümetlerin salgın önleyici politikaları sıkılaştıkça demokratik gerileme riski de artacaktır. Ayrıca, tedbir politikalarının sıkılaşma durumu virüs yayılım hızının 1.0'ın üzerinde çıkması durumunda daha olasıdır. Tedbir politikalarının sıkılaşması da ölüm oranının ortalamanın altına düşmesini daha olası kılacak ve ülkelerin pandemi önleyici politikalarını gevşetme olasılığı da artacaktır. Bu çalışma bir uygulama niteliği taşımaktadır ve daha sonra yapılacak çalışmalara yardımcı olmayı amaçlamaktadır. İçerisinde bulunduğumuz pandemi sürecinde her ülkenin kendi dinamikleri doğrultusunda aldığı önlemler diğer ülkelere de örnek olmuş ve gelecek için bir referans noktası sağlamıştır. Bulgulara dayanarak kriz sürecinde ortaya çıkan

baskının gerek politik gerek demokratik açılardan salgın yönetimine etkisi ve normalleşme süreci devamında tehdit oluşturabilecek koronavirüs dalgalarında süreç yönetimi konusunda karşılaştırmalar yapılabilir. Uzun süren pandemi sürecinde dünya ülkelerine bakıldığında ülkelerin pandemi yönetiminde farklı stratejiler izlediği, bu süreçte bazı ülkeler başarılı olurken bazılarının başarısız olduğu gözlenmektedir. Ülkelerin demografik özellikleri de çok önemli bir faktör olmuştur. Örneğin bazı ülkelerde nüfusunun önemli bir kısmını 65 yaş üstü yaş grubu oluştururken, bazı ülkelerde genç nüfusa sahiptir. Ayrıca yönetim sistemleri ve sağlık kurumları kapasiteleri de önemli rol oynamıştır. Ülkeler yeni vaka sayılarının mevcut sağlık kapasitesi eğrisinin üzerine çıkmaması için büyük gayret sarfetmiştir. Yaygın kitlesel testler, takip, karantina, yerel örgütlenmelerden alınacak destekler salgın yönetiminde önemli rol oynamıştır. Salgın yönetiminde aynı zamanda ekonomiyi desteklemek için uygulanan sosyal ve ekonomik politikalarda çok önem kazanmaktadır. Covid-19 pandemisinin dünyada yarattığı etki sadece can kaybı olmamış aynı zamanda sağlık sistemleri, makro ve mikro düzeydeki ekonomiler, insanlar üzerinde yarattığı ruhsal tahribatlar da uzun vadede etkisini devam ettirecektir. Aşı uygulamasında ise aşırı zamanında ulaşma ve toplumun yeterli sayıda aşılınması gibi bir strateji planlaması çok daha önem kazanmıştır. Bu sürecin sadece bir hastalık olarak düşünülmemesi bunun yarattığı ekonomik, psikolojik, sosyolojik etkilerinin de göz önüne alındığı çok boyutlu yaklaşımlar ile sistem simülasyonları yapılarak interdisipliner anlamda olay daha makro düzeyde değerlendirilmelidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Munster, V. J., Koopmans, M., van Doremalen, N., van Riel, D. & de Wit, E. (2020). A novel coronavirus emerging in China-key questions for impact assessment. *New England Journal of Medicine*, 382, 692-694.
- [2] World Health Organization. (2020a). *Q&A on coronaviruses (COVID-19)*. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>, (02.08.2020).
- [3] World Health Organization (2020b). *Naming the coronavirus disease (COVID-19)*. [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it), (02.08. 2020).
- [4] Paules, C. I., Marston, H. D. & Fauci, A. S. (2020). Coronavirus infections-more than just the common cold. *JAMA*, 323 (8), 707-708.
- [5] Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, Y., Qiu, Y., Wang, J., Liu, Y., Wei, Y., Xia, J., Yu, T., Zhang, X. & Zhang, L. (2020). Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet*, 395 (10223), 507-513.
- [6] Worldometer (2021). *Coronavirus Updates*. <https://www.worldometers.info/coronavirus>, (09.05.2021).
- [7] Zhu, H., Wei, L. & Niu, P. (2020). The novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Global Health Research and Policy*, 5(6), 1-3.
- [8] Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K.S.M., Lau, E.H.Y., Wong, J. Y., Xing, X., Xiang, N., Wu, Y., Li, C., Chen, Q., Li, D., Liu, T., Zhao, J., Liu, M., Tu, W., Chen, C., Jin, L., Yang, R., Wang, Q., Zhou, S., Wang, R., Liu, H., Luo, Y., Liu, Y., Shao, G., Li, H., Tao, Z., Yang, Y., Deng, Z., Liu, B., Ma, Z., Zhang, Y., Shi, G., Lam, T. T. Y., Wu, J. T., Gao, G. F., Cowling, B. J., Yang, B., Leung, G. M. & Feng, Z. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*, 382(13), 1199-1207.
- [9] V-Dem Institute (2020). *The Pandemic Backsliding Project (PanDem)*. <https://github.com/vdeminstitute/pandem>, (12.08.2020).
- [10] Taylor, M. R., Kingsley, E. A., Garry, J. S. & Raphael, B. (2008). Factors influencing psychological distress during a disease epidemic: data from Australia's first outbreak of equine influenza. *BMC Public Health*, 8, 1-13.
- [11] Jones, J. H. & Salathe, M. (2009). Early assessment of anxiety and behavioural response to novel swine-origin influenza A (H1N1). *Plos One*, 4 (12), 1-8.
- [12] Miglani, A. (2020). Effect of lockdown during COVID-19: An Indian perspective. *International Journal of Science and Healthcare Research*, 5 (3), 55-61.
- [13] Zhang, W., Wang, K., Yin, L., Zhao, W., Xue, Q., Peng, M., Min, B., Tian, Q., Leng, H., Du, J., Chang, H., Yang, Y., Li, W., Shangguan, F., Yan, T., Dong, H., Han, Y., Wang, Y., Cosci, F. & Wang, H. (2020). Mental health and psychosocial problems of medical health workers during the COVID-19 epidemic in China. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 89, 242-250.
- [14] Bhaskar, A., Ponnuraja, C., Srinivasan, R. & Padmanaban, S. (2020). Distribution and growth rate of COVID-19 outbreak in Tamil Nadu: A log-linear regression approach. *Indian Journal of Public Health*, 64, 188-191.

- [15] Saraçbaşı, T. & Aktaş Altunay, S. (2016). *Kategorik Veri Analizi*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- [16] Oxford Covid-19 Government Response Tracker. (2020). *Covid Policy Tracker*. <https://github.com/OxCGRT/covid-policy-tracker>, (11.08.2020).
- [17] WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. (2020). *Situation by Country, Territory or Area*. <https://covid19.who.int>, (08.08.2020).
- [18] Abbott, S., Hellewell, J., Thompson, R. N., Sherratt, K., Gibbs, H. P., Bosse, N. I., Munday, J. D., Meakin, S., Doughty, E. L., Chun, J. Y., Chan, Y.-W. D., Finger, F., Campbell, P., Endo, A., Pearson, C. A. B., Gimma, A., Russell, T., CMMID COVID modelling group, Flasche, S., Kucharski, A. J., Eggo, R. M. & Funk, S. (2020). Estimating the time-varying reproduction number of SARS-CoV-2 using national and subnational case counts. *Wellcome Open Research*, 5, 112.
- [19] Altın, Z. (2020). Covid-19 pandemisinde yaşlılar. *Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi Dergisi*, 30 (2), 49-57.
- [20] Ishii-Kuntz, M. (1994). *Ordinal Log-Linear Models (Quantitative Applications in the Social Sciences)*. SAGE Publications, USA, 72.
- [21] Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 729.
- [22] Simonoff, J. S. (2003). *Analyzing Categorical Data*. Springer Verlag Publication, New York, 498.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Fiziksel Kimliği Koruma ve İmaj Geliştirme Üzerine Bir Yerleşim Deneyimi: Osmaneli (Bilecik) Örneği

### A Settlement Experience on Protection of Physical Identity and Image Enhancement: The Example of Osmaneli (Bilecik)

Özlem Candan Hergül<sup>1\*</sup>, İrfan Dönmez<sup>2</sup>, Hilal Kahveci<sup>3</sup>, Mine Poyraz<sup>4</sup>

*Geliş / Received: 22/04/2021*

*Revize / Revised: 08/06/2021*

*Kabul / Accepted: 08/06/2021*

#### ÖZ

Yoğun kentleşme hareketleri, aşırı tüketim, enerji kaynaklarının bilinçsiz kullanımı, çeşitli sebeplerle insanların büyük kentlere göç etmesi ve hızlı nüfus artışı günümüz kentlerinin ortak sorunlarıdır. Kentlerle ilgili sorunların farkına varan bazı yerel yönetimler 1999 yılında İtalya'da Yavaş Kent Hareketi (Cittaslow Movement) adında bir kentsel hareket başlatmışlardır. Yavaş Kent Hareketi'nin temel hedefi, mekanların gelişimini iyi yemek, sağlıklı çevreler, sürdürülebilir ekonomi ve toplumsal yaşamın geleneksel ritüelleri esas alınarak beslemektir. Yavaş Kent olmaya aday kentler; yerel sanat ve zanaatleri teşvik etmenin yanı sıra ürünleri bölgeyi tanımlı kılan, bölgeye kimlik ve imaj kazandıran modern endüstrinin desteklenmesini de sağlamak üzere faaliyet gösterirler. Ayrıca, yapı çevrenin karakterinin korunması, ağaç dikimi; yeşil alanların, bisiklet yollarının ve yayalaştırılmış bölgelerin artırılması, meydanların reklam panoları ve neolardan arındırılmış olması, araba alarmlarının yasaklanması, gürültü kirliliğinin, ışık kirliliğinin ve hava kirliliğinin azaltılması, alternatif enerji kullanımının desteklenmesi, toplu taşımanın ve yeni düzenlemeler içinde ekoloji dostu mimarinin geliştirilmesi de Yavaş Kent'lerin zorunlu uygulamalarından bazılarıdır.

Bilecik ili Ankara, İstanbul, Eskişehir, Bursa gibi büyük kentlere yakın olmasıyla coğrafi olarak, çeşitli uygarlıklara ev sahipliği yapması ve Osmanlı Devleti'nin kuruluşunda merkez görevi görmesi ve Kurtuluş Savaşı'nda verdiği mücadelelerle tarihi olarak önemli bir konumdadır. Çalışma ile Osmaneli kentinin Yavaş Kent Hareketi'ne katılmaya uygunluk durumunun incelenmesi, Yavaş Kent Hareketi'ne katılmanın Osmaneli kent imajını geliştirmeye yönelik yapacağı olumlu fiziksel etkilerin saptanması ve tasarıma yönelik önerilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Kent Kimliği, Kent İmajı, Yavaş Kent Hareketi, Osmaneli

#### ABSTRACT

Intense movement in the urbanization, devilish consumption, unconscious usage of energy sources, migration of people to big cities for any reason and rapid growth in the population can be counted as the common problems of the recent cities. Some local administrations in Italy, which became aware of problems about cities, initiated a

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [ozlem.hergul@bilecik.edu.tr](mailto:ozlem.hergul@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-7140-0149>)

<sup>2</sup>İletişim: [irfan.donmez@bilecik.edu.tr](mailto:irfan.donmez@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1529-0771>)

<sup>3</sup>İletişim: [hilal.kahveci@bilecik.edu.tr](mailto:hilal.kahveci@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-4516-7491>)

<sup>4</sup>İletişim: [mine.poyraz@bilecik.edu.tr](mailto:m.poyraz@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-4693-6985>)

*İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Gülümbe, Bilecik*  
*Seramik ve Cam Tasarımı Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Gülümbe, Bilecik*

movement called Slow City Movement (Cittaslow Movement) in 1999. Primary objective of the Slow City Movement is to feed the development of the spaces being predicated on the better food, sustainable economy, healthy environments, and traditional rituals of the social life. Slow city candidate cities show activity to support modern industry which their products define and give identity to the region as well as to encourage local art and craft. To protect the characteristics of built environment, planting trees, increasing the amount of green spaces, bicycle paths and pedestrianized areas, to decontaminate squares from billboards and neon, to forbid car alarms, to reduce noise pollution, light pollution and air pollution, to support alternative energy use, to develop public transport and eco-friendly architecture in new regulations are also some of mandatory implementations of Slow Cities.

Bilecik has a significant location; geographically, as it is close to major cities, such as Ankara, Istanbul, Eskişehir, Bursa and historically; hosting of various civilizations and serving as a center for the establishment of the Ottoman Empire and its struggle in the War of Independence. The aim of the study is to examine the suitability of Osmaneli city to participate the Slow City Movement as a member and to determine the positive physical effects of participating to the Slow City Movement towards improving the city image and also to develop design suggestions for the district.

**Keywords- Urban identity, urban image, Slow City Movement, Osmaneli**

## I. GİRİŞ

Kaliteli yaşama isteği, geçim sıkıntıları, görsel medyanın yarattığı kent hayatı rüyası; insanları kırsal alanlardan, kasaba ve köylerinden büyük şehirlere göç etmeye teşvik etmektedir. Bu durum da kentlerin her geçen gün daha fazla yapılaşmasına, alt yapı ve güvenlik sorunları oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Bireylerin, aileleriyle birlikte büyük şehirlerde var olma isteğinin ana nedeni; yaşadıkları kırsal alanlarda istihdam olanaklarının kısıtlı olmasıdır. Özellikle genç nüfus için iş bulmak, hayat kurmak kırsal bölgelerde zorlaşmıştır.

Büyük şehirlerin kalabalıklaşması, kentsel nice sorunu beraberinde getirirken, kırsal bölgelerde de genç nüfusun azalması, eski mesleklerin unutulması ve tarımsal faaliyetlerin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle küçük kentlerde ya da kasabalarda yapılacak girişimlerin önünün açılması o bölgedeki yaşam kalitesini ve olumlu değerleri artıracaktır.

Hızlı ve tüketime dayalı yaşam biçimleri; bireyleri ve toplumları benzer yaşam kalıplarının ve tüketim alışkanlıklarının şekillendiği, birbirinin aynısı konutlarda, yeşil alanlardan ve doğal yaşamdan uzak bir biçimde yaşamaya hapsedmektedir. Sanayi Devrimiyle başlayan bu süreç, günümüzde kapitalizm gerçeğiyle en vahşi halini almıştır. Yavaş Kent Hareketi; küçük kentler için kırsal kalkınma sağlaması açısından değerli bir yaklaşımı barındırmaktadır. Kimliğini ve yerel değerlerini koruyarak sürdürmek ve gelişmek isteyen küçük kentlerde bu hareket doğrultusunda yapılacak çalışmalar; kente yönelik nitelikli kazanımların önünü açacaktır.

Bu noktada kendi ekonomik döngüsünü sağlayan, kimlikli bir yapıya sahip ve yerel ürünleri olan yerleşimler önem kazanmaktadır. Osmaneli; Bilecik'e bağlı küçük bir yerleşim olarak; tarihi evleri, tarımsal faaliyetleri ve nitelikli kentsel dokusuyla Yavaş Kent Hareketi'ne katılma yönünde adımlar atabilecek bir yerleşimdir. Bu bağlamda araştırma kapsamında; Osmaneli'nin tarihi, kültürel ve fiziksel dokusu detaylı olarak incelenerek, Osmaneli kentinde yaşayan insanlara uygulanan anketlerle Osmaneli halkının Yavaş Kent Hareketi'ne yaklaşımı konusunda bilgi edinilmiştir. Ayrıca anketler doğrultusunda kentin imaj ve kimlik değeri taşıyan öğeleri insan algısı üzerinden tespit edilmiştir. Ayrıca kentsel kimlik değeri taşıdığı saptanan öğeler fiziksel gelişim bağlamında görselleştirilerek tasarım önerileri geliştirilmiştir.

### A. Kent Kimliği

Küresel dünya, kentleşme hızı, sanayileşme, teknolojik gelişmeler, savaşlar ve göç hareketlerinin yarattığı etkileşimler kentlerde büyük değişimlere yol açmıştır. Bu durumun neticesinde kentler; tarihi alanları zarar gören, geçmişinden kopuk, kentsel unsurların bütünsel bir tasarımı anlayışı içermediği özgün kimliği olmayan mekanlara dönüşmektedir [1]. Kent kimliği karmaşık ve çok referanslı, maddi ve manevi olgular arasındaki bağları kapsayan, yerel, kentsel, bölgesel, ulusal gibi farklı ölçekleri bulunan, farklı perspektiflerden görülebilen, bireysel, kolektif, dışsal, zaman içinde gelişen, değişen ve birçok etmeden etkilenen bir olgudur [2]. Kent kimliği tüm yerel halkın

geleneklerini, kültürünü, arzularının gruplanmış halini ifade eder. Onların ihtiyaçlarını, başarılarını, başarısızlıklarını ve geleceklerini yansıtır. Bazı zamanlarda, kent duysal yerine teknik olarak anlaşılır ve yorumlanır, yine de hisler ve duygularla örüldüğünden duysaldır. Duysal gereksinimler, diğer gereksinimlerle uyumlu ya da çatışmacı olabilir fakat kentsel mekanların tasarım ya da değerlendirilmesinde onlardan ayrı düşünülemez [3].

Kent kimliği kısaca, bir kenti diğer kentlerden ayıran niteliklerin ve kente özgü öğelerin toplamı olarak adlandırılabilir. Bu farklılıklar, doğal çevre koşullarından ve tarihsel gelişim süreci içinde kazanılmış olan sosyo-ekonomik ve kültürel çevre koşullarından kaynaklanmaktadır. Kent kimliği, fiziksel mekan ve içinde yer alan yaşam biçimi ile bir bütün oluşturmaktadır [4]. Fiziksel gelişim, kentlerde somut, görsel ve kültürel bir varlık gösterir. Kentlerin fiziksel gelişimi; anlamları, öyküleri içerir ve şekillendirir. Alanların kimlik ya da kimliklerini fiziksel varlık ve öykülerin bu kombinasyonu yaratır [5]. Bir kenti diğer kentlerden ayıran, kendi özgü niteliklerini oluşturan her şey onun kimliğidir. Kimlik, farklı alanlarda ve sosyal durumlarda zaman ve sürekliliğin şekillendirdiği öznel bir duygudur [6].

### **B. Kent İmajı**

Bir kentin imajı; kente dair, tüm fikir ve deneyimlerin bütününe kapsar ve kişiden kişiye algısal olarak değişim gösterir [7]. Kentlerin, belli bir amaca yönelik form ve karaktere sahip olması; sahip olduğu kimliğe bağlı estetik değerleri taşıması ve dolayısıyla bir kentsel imaj oluşturmaya ve duygusal belleği harekete geçirici bir nitelik taşımasını beraberinde getirmektedir [8]. Lynch (2010); kentin çevresel imajını üç bileşene ayırmaktadır: kimlik, yapı ve anlam. İmaj; bir nesnenin tanımlanmasını, dolayısıyla başka varlıklardan ayrıştırılmasını ve bir varlık olarak kabul edilmesini sağlar ve kimliğini ortaya koyar. Nesnenin imajı, yapının gözlemciyle mekansal ve dokusal ilişkisini kurar. Ayrıca, imaj; gözlemci için uygulama açısından ya da duygusal olarak bir anlam içermelidir [9].

Kısaca kent imajı kavramı; bir kentte yaşayan ya da kenti ziyaret eden bireylerin o kente dair zihinlerinde canlanan imgeleri içermektedir. Bu durumu belirleyen etkenler, kente ilişkin; fiziksel öğeler, yazılı, görsel ve sosyal medya kanalıyla edindikleri bilgiler, resimler, anılar ya da kentin geçirdiği dönüşümlere dair veriler bütünüyle şekillenmektedir.

### **C. Yavaş Kent Hareketi**

Yirminci yüzyıl kentleri gürültü, kirlilik, plansız yapılaşma, yoksulluk ve suç gibi çok sayıda sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorunlar birçok kentte yerel değerler, peyzaj, tarih, kültür ve doğal ekosistemlerin aşırı tüketimi gibi yaşanabilirlik değişkenlerinin sorgulanmasına yol açmış ve yerellik; sakinleri ve ziyaretçileri tarafından değersiz hale getirilmiştir [10]. Bu anlamda, kent alanları da özgünlükten uzak yerler haline dönüşmüş, ve de ironik bir biçimde bu süreç; profesyonel ellerce özgünleştirilmiş ve ticari olarak inşa edilmiş alanlarda ve mekanlarda geleneklerin önemsizleştiği, sterilize edildiği ve sembolik olarak basitleştirildiği ve mekansal bir kimlik yaratmak yerine insanları ticari bir kültür mirasına yakınlaştıran bir arayışı güçlendirmektedir [11].

Yavaş Hareketi, hızın egemenliği karşısında bireylerin, “anamlı bir şeyler yapmak için” zaman ayırma çabası ya da arzusu olarak görülmelidir. Bu durum, günlük yaşam içerisinde yapılan her türlü etkinlikten daha fazla tat almak, yapıları anlaşılır kılmak şeklinde özetlenebilir. Araba kullanmak yerine yürümek ya da bisiklete binmek için zaman yaratmak, hazır yemek almak yerine aile bireyleri ile birlikte geleneksel bir sofrada yemek yeme hazzını paylaşmak, yavaş yaşam uygulamaları arasındadır [12]. Yavaş Yemek ve genel olarak Yavaşlıkfelsefesinin yerleşim ölçeğindeki uygulamaları olarak sunulan Yavaş Kent, küçük ölçekli yerleşimlerin dokusunu, sakinlerinin yaşam biçimlerini ve bu ikisi arasındaki diyalektiğin yıllar içerisinde ortaya çıkarmış olduğu yerel kimliği gelecek kuşaklara aktarabilmeye yönelik politikalar üreten uluslararası bir birliktir [13]. Yavaş Kent Hareketi uluslararası bir hareket olmakla birlikte, yerel yönelik girişimler çerçevesinde bir model geliştirdiği için yerel yönetimler küreselleşmenin bazı formlarına karşı direnç kazanma uğraşı göstermektedirler [14]. Küreselleşmenin kentlere yönelik birbirine benzeştirici etkisi büyük kentler için öne çıkmakla birlikte küçük yerleşimler küreselleşme doğrultusunda kendi farklılıklarını ortaya koyarak ve fırsata çevirerek ön plana çıkmaktadırlar. Yavaş kentler, özel ve kendine özgü niteliklerini saptamak ve korumak için kent yönetimleri içerisinde stratejik gelişime yönelik hedefler belirlemektedirler [15]. Yavaş Kent Hareketi, küreselleşme kaynaklı benzeşmeye karşı sosyal ve politik bir karşı duruş sergilemekle birlikte; geleneksel ve yerel yaşam biçimini koruyarak, küreselleşmenin olumsuzluklarına karşı alternatif bir sürdürülebilir kentsel gelişim modeli ortaya koymaktadır [16].

Cittaslow, özgünlüğünü koruma arayışında olan, kimlikli kentlerden oluşan üyeliğe dayalı bir birliktir. Bu uluslararası oluşuma üye kentler; ekolojik, tarihi, kültürel değerlerini, yöresel tatlarını, özgün mimari



dokularını muhafaza etmek ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda geliştirmeyi hedeflemiş kentlerdir. Gelenekselliğin ön planda olduğu, monotonluktan uzak bir sakin yaşam modelini benimseyen bu kentleşme hareketi, küreselleşmenin yıkıcı etkileriyle yerel kimliğini koruyarak savaşmayı seçen bir politika izlemektedir. Yavaş Kent ölçütleri yedi ana başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar altındaki yaklaşık 70 madde Yavaş Kent olmak isteyen bir kent için gerçekleştirilmesi gereken değişkenlerdir.

Yavaş Kent olmak için başvuran yerleşimlerin hiçbirinden başvuru sırasında tüm gereklilikleri yerine getirmeleri beklenmemektedir. Ancak, bir kentin ölçütlerin en azından %50 sini sağlayacak durumda olması ve henüz sahip olmadığı ölçütlere yönelik girişimlerde bulunacağı yükümlülüğünü üstlenmesi gerekmektedir [17].

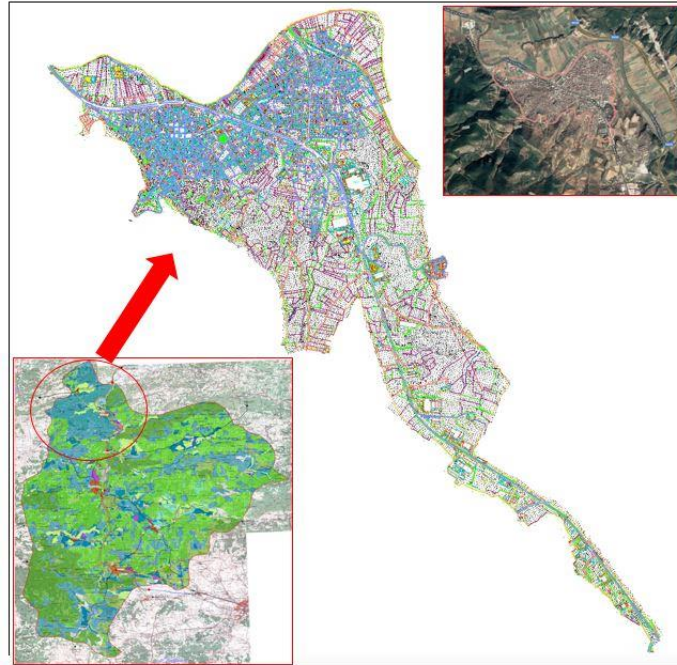
Yavaş Kent olmak için gerekli uygulamaları içeren 7 ana başlık şunlardır [18]:

1. Enerji ve çevre politikaları
2. Altyapı politikaları
3. Kentsel yaşam kalitesi politikaları
4. Tarım, turizm ve zanaat politikaları
5. Konukseverlik, farkındalık ve eğitim politikaları
6. Sosyal dayanışma konuları
7. İşbirlikleri

Dünya genelinde 30 ülkede toplam 276 yavaş kent bulunmaktadır. Türkiye’de ise 18 Cittaslow Birliği üyesi yerleşim bulunmakta ve ayrıca üyelik için hazırlanan ve adaylık başvurusunda bulunan potansiyel Yavaş kentlerle birlikte bu sayı 25 kentikapsamaktadır [19].

## II. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Araştırma alanının ana materyalini Bilecik İli’ne bağlı, il merkezinin 34 km kuzeyinde bulunan Osmaneli ilçesi oluşturmaktadır. Osmaneli’nde geçmişten bugüne gelen tarihi ve doğal peyzaj öğeleri, kentin imajını güçlendiren marka değeri taşıyan özellikleri çalışma içerisinde değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Osmaneli'nin konumu

Bilecik ili Osmaneli kentinin araştırma alanı olarak seçilmesinde aşağıdaki öğeler etkili olmuştur:

- Tarihi konakları, camileri, kilisesi gibi sit alanı olarak tescil edilmiş taşınmaz kültür varlıklarıyla; Osmaneli'nin kısmen korunmuş olan kimlikli bir dokusunun olması.
- Sakarya Nehri'nin kentten geçmesi ile önemli bir sulak alan ve rekreasyon potansiyeli oluşturması
- Doğa sporlarına olanak tanıyan bir coğrafyaya sahip olması
- Osmaneli'nde tarım faaliyetlerinin çeşitlilik sergilemesi ve elde edilen ürünlerin marka değer ve kırsal kalkınma yaratma konusunda yapacağı katkıların bulunması

Çalışma kapsamında, Osmaneli ilçesi tarihi evleri, nitelikli kentsel dokusu, yerel ürünlerinin varlığıyla kent imajı ve Yavaş Kent Hareketi'ne uygunluk kapasitesi sebebiyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu bağlamda Osmaneli ile ilgili literatürün detaylı analizi yapılmıştır. Araştırmada ikinci aşamayı arazi çalışmaları oluşturmaktadır. Bu doğrultuda Osmaneli'nde kente yönelik imaj ve marka değer taşıyan öğelerinin saptanması için anket çalışmaları yapılmıştır. Ankete ilişkin örneklem büyüklüğü belirlenmesi esasında çeşitli kaynaklar incelenmiş olup %5 örnekleme hatası ile 244 kişi [20] olarak belirlenmiştir. Anketler doğrultusunda, alanda bulunan kimlik değeri yüksek, kent imajına katkı yapabilecek öğeler (yapılar, sokaklar, yeşil alanlar, meydanlar vb.) anketlerle saptanmış ve fotoğraflanmıştır. Daha sonra araştırma alanındaki eksikliklerin giderilmesi adına kurgu-tasar görüntüleri oluşturulmuş ve tasarım önerileri bağlamında değerlendirilmiştir.

Ayrıca bu aşamada kentin Yavaş Kent Hareketi maddelerine fiziksel açıdan uygunluğunun değerlendirilmesi için, peyzaj öğelerinin analizi de yapılmıştır. Bu bağlamda kentin imaj değerini artıracak olan peyzaj öğeleri saptanmış ve daha sonra Osmaneli'nin Yavaş Kent olma potansiyeli bu doğrultuda irdelenmiştir.

### III. ARAŞTIRMA BULGULARI

Osmaneli tarihi ve doğal güzellikleri olan, tarım ürünleriyle ön plana çıkan bir yerleşim olması sebebiyle kentte imaj değeri taşıyan birçok etmen bulunmaktadır. Bu bağlamda kent imajını ortaya koymak için katılımcılara bazı sorular sorulmuştur. Bu sorulara verilen cevaplar doğrultusunda yerel halkın algısı üzerinden yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

- Osmaneli'nin imajını şekillendiren en belirgin öge mimari dokuyu oluşturan tarihi konaklardır. Bir kısmı restore edilerek korunmuş, bir kısmı ise korunamamış olsa da yerleşimin özgün mimarisini belirleyen yapılardır. Bir diğer önemli öge ise Osmaneli'nin içinden geçen Sakarya Nehri ve nehrin kenarında konumlanan tesislerdir. Ayrıca sularının şifalı olduğu belirtilen İçmeler Tesisleri'de kimlik değeri açısından etkili olduğu düşünülen bölgelerdir.
- Kent kimliğini şekillendiren ve imaj değeri taşıyan başka bir önemli belirleyici de pazarlama değeri taşıyan ürünlerin belirlenmesi ve marka değerlerinin ortaya konmasıdır. Bu konuda karpuz ve ayva öne çıkmaktadır. Ayrıca Osmaneli'nin özellikle ayvadan ve çeşitli meyvelerden yapılan lokumları da marka değeri taşımaktadır. Bununla birlikte Osmaneli'nde yerel üreticiler ve çoğunlukla kadın girişimciler tarafından üretilen 'Lefke Bezi' ismiyle adlandırılan tekstil ürününün de geçmişten bugüne kadar üretildiği ve imaj değeri taşıdığı sözlü görüşmelerde belirtilmiştir. Ayrıca Osmaneli Belediyesi Sürekli Eğitim Merkezi'nde lefke bezinden yapılan ürünlerin üretildiği ve bu konuda ustaların yetiştirildiği belirtilmiştir.
- Osmaneli'nin ön plana çıkan özellikleri aynı zamanda kimlik ve imajı yönlendirici öğelerdir. Ankette bu soruya verilen cevaplar önceki sorulara verilen cevapları destekleyici niteliktedir. Bu bağlamda Sakarya Nehri ve Tarihi konaklar en çok tercih edilen şıklar olmuştur. Daha sonra ise tarım ürünleri ve doğal güzellikler şıkları tercih edilmiştir.

Bilecik ili Osmaneli ilçesi; gerek tarihi dokusu ve mimari karakteristiği, gerek yöresel ürünleri ve kente kimlik kazandıran öğeleriyle önemli bir yerleşim alanıdır. Çalışma kapsamında Osmaneli'nin Yavaş Kent Hareketi'ne katılma uygunluğu üzerinden değerlendirmelerde bulunmak hedeflenmiştir. Bu bölümde öncelikle Yavaş Kent Hareketi'nin kent imaj ve kimliğini güçlendirmeye yönelik doğrudan ya da dolaylı parametreleri aşağıda belirtilmiştir. Bu parametrelere ilişkin açıklamalar yapılmış, Osmaneli'nin mevcut durumu ve kentin imaj ve kimliğini güçlendirecek öneri ve değerlendirmeler Tablo 1'de detaylandırılmıştır.

**Tablo 1.** Yavaş Kent Hareketi'nin imaj ve kimliğe ilişkin parametrelerinin, Osmaneli bazında değerlendirmelerini gösteren çizelge

Kent kimliği ve imajını yönlendiren parametreler	Açıklamalar	Osmaneli'nin durumu	Öneriler
Görsel kirliliğin ve trafik gürültüsünün azaltılması	Yavaş Kentlerin genelinde dükkan levhaları ve tabelaların çeşitliliğinin görsel kirlilik yaratması sebebiyle tek tip, kent estetiğine uygun kullanımlar desteklenmektedir. Trafik gürültüsüne yönelik olarak korna çalmak kısıtlanmakta ve kent merkezlerine araç girişi denetlenmektedir.	Osmaneli'de görsel kirliliğe ilişkin sokak bazında örnekler bulunmasına rağmen bazı dükkanlarda birbirine benzer doğal ahşap malzeme kullanılan levhalar bulunmaktadır.  Yerleşim temel olarak sakin bir bölge olduğu için trafik gürültüsüne yönelik rahatsız edici bir durum yoktur.	Bazı bölgelerde kullanılan tabela ve levhalar kent geneline yayılarak tüm dükkanların tabelalarının belirli bir standarda getirilmesi uygun olacaktır.
Kamusal ışık kirliliğinin azaltılması	Kent genelinde farklı yerlerden gelen aydınlatmaların ve ticari tabelalara yönelik ışıklandırmaların yarattığı karmaşayı ifade etmektedir.	Kentte bu bağlamda belirgin bir problem saptanmamıştır. Bazı bölgelerde bulunan ışık çeşitliliği kolaylıkla çözümlenebilir.	Kentteki tabela ve levhalara getirilecek standartlar ışıklandırma konusunda da kolaylık sağlayacaktır.
Kamu binalarına bağlı verimli bisiklet yolları	Kentlerde bisiklet yolları oluşturulması ve bunların aktif olarak kullanılması kentlerde motorlu araç kullanımının azaltılmasını sağlayacak ve ekolojik sisteme olumlu etkileri olacaktır.	Kentte aktif kullanılan bir bisiklet yolu bulunmamaktadır.	Kent için bir bisiklet ulaşım planı geliştirilebilir. Osmaneli'nin topoğrafik yapısı ve kullanımlar arası mesafelerin yakın olması kent içinde bisiklet dolaşımına olanak tanımaktadır.
Metro ve otobüs durakları gibi aktarma merkezlerinde bisiklet park yerleri	Kent içinde bisikletlerin park edilmesi için gerekli alanları ifade etmektedir.	Kentte bisiklet park yerleri bulunmamaktadır.	Bisiklet ulaşım planı çerçevesinde bisiklet park yerleri de belirtilmelidir.
Kente ait değerlerin iyileştirilmesi, kent merkezlerinin ve kamu binalarının değerlerinin artırılması için programlar	Kentsel meydanların, yapıların vb. kent estetiğini ve imajını belirleyen öğelerin geliştirilmesine yönelik yapılacak stratejik çalışma ve uygulamaları ifade etmektedir.	Osmaneli'de kent dokusunun temel olarak korunduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca kentteki tescilli yapıların bir kısmı farklı zamanlarda restore edilmiştir.  Kentte estetiği bozan özgün kimliğe uymayan kent öğeleri de bulunmaktadır.	Kent estetiğine yönelik bazı tasarım önerileri Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de verilmiştir.
Verimli bitkiler ve meyve ağaçları kullanılarak sosyal yeşil alanların iyileştirilmesi ve/veya oluşturulması	Kent ekosistemine uygun, endemik türlerin ve/veya doğal olarak yetişen bitki ve meyve türlerinin kentsel alanların yeşillendirilmesinde kullanılması	Osmaneli toprak örtüsü bitkisel olarak çeşitli türlerin yetişmesine uygundur. Kent içinde ve çevresinde farklı meyve ve bitki türleri yetiştirilmektedir.	Sosyal yeşil alanlar genel olarak yeşil dokuyu tamamlayan bitkilerle çeşitlendirilmiştir. Yeşil alanlara yönelik tasarım önerileri Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir.
Kentsel yaşanabilirliğin artırılması	Kentin daha yaşanabilir olması için çalışmalar yapmak. Örnek olarak işe gidiş ve çıkış saatlerinde oluşan trafik sıkışıklığını azaltmak için okulların veya kamu kurumlarının mesai saatlerini kaydırmak. İş yerlerinde kreş açılmasını teşvik etmek vb. (Anonim 2020a)	Osmaneli Yavaş Kent ruhuna uygun bir kenttir. Kent sosyal ve fiziksel olarak yaşamın kolay olduğu bir kenttir.	Kentte toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi, sosyal etkinliklerin artırılması yaşam kalitesini artıracaktır.

**Tablo 1.** (Devam Ediyor)

Marjinal alanların tekrar değerlendirilip kullanılması	Kentte atıl durumda bulunan alanların düzenlenmesi, yenilenmesi kent hayatında işlevsel bir duruma getirilmesi	Osmaneli için bu tip alan varlığı ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır.	Osmaneli Aya Yorgi Kilisesi (Şekil 4.6) marjinal sınıfta bir alan olmamakla birlikte yıkılma tehlikesi nedeniyle ziyarete açık değildir. Bu alanın orijinaline uygun bir restorasyon geçirilerek ziyarete açılması önemli bir kazanım olacaktır.
Kirlenmelerin izlenmesi ve azaltılması	Gürültü, elektrik gibi kirlilik yaratan sistemlerin izlenmesi ve azaltılmasına yönelik önlemleri kapsamaktadır.	Kentte bu anlamda büyük bir problem gözle çarpmamaktadır.	Üniversite ve BEBKA işbirliğiyle çevresel projeler üretilerek denetimler sağlanabilir.
Sosyal altyapıyı desteklemek	Kentte sosyal hayatı geliştirecek uygulamaların artırılması	Kentte yıllık olarak 'Karpuz Festivali' yapılmaktadır fakat yeterli düzeyde değildir.	Ayrıca sanatsal ve sosyal girişimlerin (konserler, sinema günleri vb.) kentin sosyal hayatına olumlu katkıları olacaktır.
Kamusal sürdürülebilir kentsel planlamanın teşviki	Kent planlamada sürdürülebilir yaklaşımların izlenmesi. Pasif ev, akıllı ev gibi teknolojilerin kullanılmasının özendirilmesi	Kentte bu konuda bir çalışma yapılmamaktadır.	Kentte sürdürülebilir çalışmalar konut bazında bulunmamaktadır. Sürdürülebilir bir kent için öncelikle kamu binalarında sürdürülebilir enerjinin kullanımı, bisiklet yollarının artırılması ve motorlu taşıt kullanımının azaltılmasının teşvik edilmesi gibi uygulamalar yapılmalıdır.
Kent içindeki kullanışlı yeşil alanların verimli bitkiler ile değerlendirilmesi	Kentteki yeşil alanlara yörede yetişen bitki türleri ve/veya meyve ağaçları dikilmesi	Osmaneli oldukça verimli toprakları bulunan, birçok meyve ve sebze yetişen bir bölgedir. Kentsel yeşil alanlarda meyve ağaçları dikim uygulaması bulunmamaktadır.	Kentte bulunan birçok park ve yeşil alanda özellikle meyve ağaçları dikimi yapılması, bu dikimler sonucunda elde edilen ürünlerin bir kooperatif altında reçel vb. yapıp satılarak değerlendirilmesi kente girdi olarak dönecektir.
Atölyelerin korunması ve değerlerinin artırılması-doğal/yerel alışveriş merkezlerinin yaratılması	Tarihi kent merkezlerinde yer alan geleneksel kasap, fırın, bakkal vb. dükkanların desteklenmesi (Anonim 2020a)	Kentte yetişen ayva lokumu, lefke bezi yerel ürünlerin satıldığı az sayıda dükkan bulunmaktadır.	Kentteki yerel ürünlerin ve kırsal kadınların ürettiği ürünlerin satılması hem kent ekonomisini güçlendirecek, hem de kentteki ürünlerin tanınırlığını artıracaktır.
Yeşil alanlarda kullanılan beton miktarı	Yeşil alanlarda kullanılan beton miktarlarının m <sup>3</sup> olarak tespit edilmesi	Osmaneli'de oldukça fazla yeşil alan bulunmaktadır. Buralarda kullanılan beton miktarına ilişkin bir çalışma bulunmamaktadır.	Osmaneli'de geniş yeşil alanlar bulunmaktadır. Buralarda kullanılan beton miktarlarını saptamak uzaktan algılama sistemleriyle ya da doğrudan arazi çalışmalarıyla yapılabilir.
El yapımı ve etiketli veya markalı esnaf/sanatkâr ürünlerinin korunması	Kentte üretilen yerel ürünlerin desteklenmesi	Kentte bu kapsamda yerel ürünlerin üretimini artırmak için (özellikle lefke bezinin üretimi) kadın girişimcilere yönelik kurslar düzenlenmektedir.	Kentte kooperatifleşme yoluyla yerel ürünlerin markalaşması desteklenebilir. Kente ilişkin üretim potansiyeli olan yerel ürünler belirlenerek bunları tanıtıcı etkinlikler artırılabilir.
Yerel ve geleneksel kültürel etkinliklerin korunması ve değerlerinin artırılması	Kentteki yerel ve geleneksel etkinliklerin korunmasına yönelik çalışmaları kapsamaktadır.	Osmaneli katmanlı bir Türk, Osmanlı ve mübadele yoluyla gelen Rum kültürünü bir arada yaşatmaktadır.	Yöresel etkinlikler ve yemekler çeşitli festivallerle desteklenerek yaşatılabilir.

**Tablo 1.** (Devam Ediyor)

Yavaş güzergahların mevcut olması	Kentte Yavaş seyahat rotaları oluşturmak ve bunları basılı olarak ve internet ortamında tanıtmak	Osmaneli halihazırda Yavaş Kent olmadığı için bir yavaş güzergahı bulunmamaktadır.	Kent için bir gezi rotası önerisi proje kapsamında geliştirilmiş ve Şekil 5.27’de gösterilmektedir.
Gençlik faaliyetlerinin yürütüldüğü alanların ve bir gençlik merkezinin mevcudiyeti	Gençlere özgü alanların bulunması ve etkinliklerin yapılması	Bu kapsamda özel alanlar bulunmamaktadır.	Kentte bu tip alanlar yaratılması gençlerin kentte daha keyifli, kaliteli zaman geçirmesini sağlayacak, ayrıca kent hayatına katılımı artıracaktır.

Yukarıda yapılan saptamalar doğrultusunda kent imajını güçlendirecek bazı temel konulara ilişkin, Osmaneli’de çekilen fotoğraflarda yapılan görselleştirme çalışmaları ile çözüm önerileri getirilmiştir. Öncelikle kent peyzajına yönelik bazı konu başlıkları belirlenerek bu başlıklar altında kent imajını geliştirmeye yönelik görselleştirme çalışmaları yapılmıştır.

Kent peyzajına yönelik üzerinde durulan konu başlıkları şu şekildedir:

- Kent Estetiği
- Meydanlar
- Sokaklar
- Yapı cepheleri
- Yeşil alanlar

#### **A. Kent Estetiği**

Kent estetiğinin artırılması, kent imajını güçlendirmenin en önemli belirleyicisidir. Kent dokusunda yaşanacak olumlu değişimler kentin, insanların anı ve hafızalarındaki yerini güçlendirecek ve Osmaneli’ye ilişkin olumlu bakış açısını destekleyecektir. Bu bağlamda kent estetiğini güçlendirmek adına iki fotoğraf üzerinde çalışma yapılmıştır. Şekil 2’de görülen ilk fotoğrafta Osmaneli’nin merkezi bir bölgesinde bulunan sokakta birbirleriyle bütünleşmeyen estetikten uzak yapılar ve donatı elemanları bulunmaktadır. Görselleştirme çalışması kapsamında yapılara estetik bir görünüm kazandırılmış, aydınlatma elemanı olarak; sürdürülebilirliğin önemli ilkelerinden olan yenilenebilir enerji kullanımının aktifleşmesini sağlamak üzere solar panelli aydınlatmalar ve geri dönüşümlü çöp kutuları tercih edilmiştir. Ayrıca yapıların önüne park eden araçlar kaldırılarak, bitkilendirme artırılmıştır.



**Şekil 2.** Kent estetiğine ilişkin birinci görselleştirme çalışması

Kent estetiği konusunda üzerinde çalışılan Şekil 3’deki ikinci fotoğrafta kent mobilyası olarak önemli bir öge olan otobüs durakları üzerine çalışılmıştır. Osmaneli’deki durağın tanımsız ve kimliksiz durumunun değişmesi için Dünya kentlerindeki farklı durak tiplerinden yola çıkılarak bir otobüs durağı çalışması yürütülmüştür.



Şekil 3. Kent estetiğine ilişkin ikinci görselleştirme çalışması

### B. Meydanlar

Kente imaj ve kimliği tamamlayıcı önemli öğelerden bir başkası, insanların toplanma noktası olan, kentlerdeki önemli etkinliklerin yapıldığı, dışarıdan gelen insanların ilk gördükleri alanlardır. Şekil 4’de görüldüğü üzere Osmaneli merkezdeki meydan genel olarak estetik açıdan tanımlı bir meydan olmakla birlikte küçük bazı düzenlemelerle daha etkili hale getirilmiştir.



Şekil 4. Osmaneli kent meydanına ilişkin birinci görselleştirme çalışması

Osmaneli oldukça küçük bir yerleşim olduğundan meydan vasfı taşıyan çok fazla alan bulunmamaktadır. İnsanların rekreatif amaçlarla kullandığı Şekil 5’de görülen ikinci alan bu kapsamda değerlendirilmiştir. Yeşil dokunun artırılması, oturma alanlarının estetik ve doğal malzemelerle zenginleştirilmesi ve döşeme elemanlarının güzelleştirilmesi fikri esas alınarak görselleştirme çalışması gerçekleştirilmiştir.



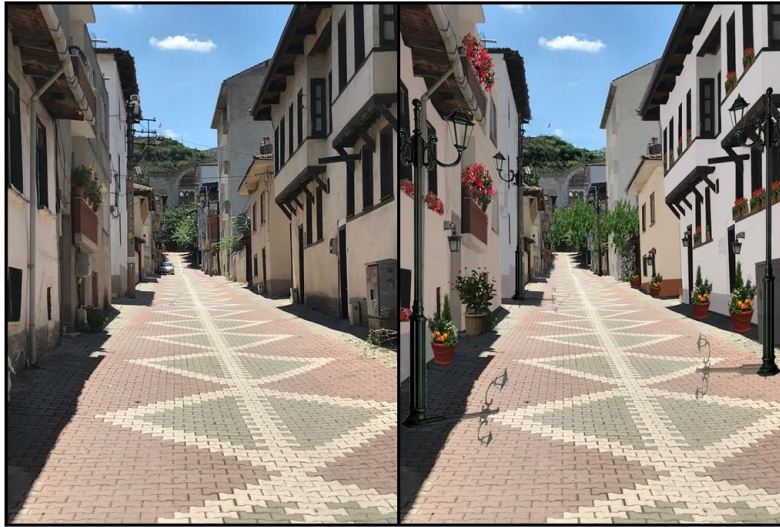
Şekil 5. Osmaneli kent meydanına ilişkin ikinci görselleştirme çalışması

### C. Sokaklar

Osmaneli'nin tarihi konut dokusu ve tescilli yapıları sayesinde sokaklar kimlikli bir nitelik taşımaktadır. Şekil 6 ve Şekil 7'de cam önü bitkileri ve saksılar yardımıyla sokaklar yeşillendirilerek daha cazip bir hale getirilmiştir. Ayrıca solar panelli aydınlatmalar sokakların etkili şekilde aydınlatılması ve güvenliğinin sağlanması açısından tercih edilmiştir. Yer döşemelerinde değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 6. Osmaneli Sokakları'na ilişkin birinci görselleştirme çalışması



Şekil 7. Osmaneli Sokakları'na ilişkin ikinci görselleştirme çalışması

### D. Yapı Cepheleri

Yapı cepheleri kent imajını güçlendiren çok önemli öğelerdir. Ayrıca Yavaş Kent Hareketi açısından yapı cephelerinin iyileştirilmesi önemli bir kavram olarak yer almaktadır. Bu kapsamda Şekil 8'de biraz yıpranmış olan yapı cephesi iyileştirilmiş ve bitkisel öğelerle zenginleştirilmiştir.



Şekil 8. Osmaneli'ndeki yapı cephelerine ilişkin birinci görselleştirme çalışması

Osmaneli'de yapılan yapı cephesine ilişkin ikinci çalışma olan Şekil 9'da Osmaneli tarihi konutlarının bazılarının geçmişte çivit mavisi olduğu bilgisinden yola çıkılarak mavi renk tercih edilmiştir. Dükkan levhaları ve tabelalarda ahşap estetik kullanımlar ve tenteli gölgelendirme elemanları kullanılmıştır. Dükkan önü oturma birimleri kimlikli Avrupa kentlerinde özellikle kullanılan, kentsel dış mekanda geçirilen zamanı keyifli kılan kent mobilyaları olarak tercih edilmiştir.



Şekil 9. Osmaneli'ndeki yapı cephelerine ilişkin ikinci görselleştirme çalışması

### ***E. Yeşil Alanlar***

Kent peyzajının önemli değerleri olan yeşil alanlar, aynı zamanda nitelikli kentsel alanlarda insanların rekreatif etkinliklerde buldukları sosyal ve fiziksel olarak önemli imaj öğeleridir. Yeşil alanların insan psikolojine olumlu etkilerini ortaya koyan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla yeşil alanların varlığı ve tasarımı önem kazanmaktadır. Osmaneli'de özellikle Sakarya Nehri kıyısında insanların etkin olarak kullandıkları yeşil alanlar bulunmaktadır. Şekil 10'da bulunan yeşil alan kentsel dokuyu güçlendirecek bitkiler ve ağaçlarla desteklenmiş ve yer döşemesi değiştirilmiştir.





Şekil 10. Osmaneli'deki yeşil alanlara ilişkin birinci görselleştirme çalışması

Şekil 11'deki ilk fotoğrafta Osmaneli'nin üst kısmında katlı konutların bulunduğu, kısmen atıl vaziyetteki bir alan görülmektedir. Bu bölge nitelikli bir yeşil alana dönüşme potansiyeli düşünülerek yeniden tasarlanmış, bitkisel ve yapısal öğelerle desteklenmiştir.



Şekil 11. Osmaneli'deki yeşil alanlara ilişkin ikinci görselleştirme çalışması

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küreselleşme; kapitalizm ve bileşenlerinin ortaya çıkardığı, tüketim odaklı sistemlerin bir ürünüdür. Bilginin ve ürünlerin tüm Dünya'da hızlı bir şekilde dağılımı küreselleşmenin olumlu bir yanı olarak görülürken, tüketime dayalı yaşam biçiminin dayatmaları kentlerde özgün dokunun kaybolmasına sebep olmaktadır. Bu sistemden mimari, yeme biçimleri ve kültürel üretim ve etkinlikler olumsuz olarak etkilenmektedir. Özellikle büyük kentlerde değişim çok daha büyük ölçüde hissedilmekle birlikte, küçük ölçekli yerleşimlerde coğrafi konum, denize kıyısı olması, rant değeri gibi belirleyicilerle farklı boyutlarda etkileşim göstermektedir.

Bilecik Türkiye'nin en küçük ölçekli ve nüfuslu illerinden biridir. Tarihi ve kültürel dokusunu koruma konusunda kent merkezi ve çeperdeki yerleşimler açısından dirençli bir yapı sergilemektedir. Osmaneli Bilecik'in ilçelerinden biri olarak, oldukça korunaklı bir tarihi silüete sahip, çok çeşitli tarım ürünleri ve yöresel lezzetleri bulunan markalaşma değeri yüksek bir yerleşimdir. Geçmişte çeşitli uygarlıklara ev sahipliği yapması, ipek böcekçiliği ve kozacılık faaliyetlerinin burada sürdürülmüş olması, Osmanlı Devleti'nin Bilecik ve çevresinde hüküm sürmesi ve mübadele döneminde yerleşen Rum halkın da etkisiyle mimari ve kültürel bir mozaik sergilemektedir.

Çalışma kapsamında; Bilecik İli Osmaneli yerleşiminin Yavaş Kent Hareketi'ne katılım potansiyelinin kentin imaj değeri üzerinden irdelenmesi amacıyla 2019-2020 yılları arasında, farklı zaman dilimlerinde araştırma alanı ile ilgili gözlemler yapılmış, fotoğraflar çekilmiş ve anket uygulamaları yapılmıştır. Çeşitli kurum ve kuruluşların yayınlarından faydalanılarak, yerel yönetim, yerel halk ve ziyaretçilerle yüz yüze görüşmeler yapılarak görsel kaynak, yazı, rapor gibi Osmaneli'ye ilişkin veriler elde edilmiştir. Elde edilen bulgular sistematik bir sınıflandırmaya tabi tutularak düzenli bir veri tabanı oluşturulmuştur. Çalışma konusunda birincil kısıtlayıcı etmen yerel halkın bir kısmının anket uygulamalarına katılma konusunda isteksizlik duyması olmuştur. Ayrıca proje süreci içerisinde Covid-19 pandemisinin başlamış olması da anket ve fotoğrafçılık konusunda elde edilen birincil verilerle yetinilmesini zorunlu kılmıştır.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere; Yavaş Kent Hareketi'ne katılmak isteyen bir kentin belirli koşulları sağlamak, diğerlerini de sağlayacağı taahhüt etmesi gerekmektedir. Osmaneli yerleşimi bu bağlamda şanslı bir pozisyonadadır. Bilecik'e bağlı küçük bir yerleşim olması sebebiyle kentsel müdahalelerden çok fazla etkilenmemiş ve özgün dokusunu korumuştur. Bununla birlikte, Osmaneli'nin kent imajını güçlendirmek ve turizm potansiyelini artırmak kente ekonomik kalkınma sağlayacaktır. Bu bağlamda Osmaneli'nin imajını vurgulamak ve Yavaş Kent olmasını sağlamak üzere aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Belediyenin ve tüm yerel yönetimlerin Yavaş Kent ağına katılma konusunda detaylı olarak bilgilendirilmesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi işbirliğiyle bu sürecin yönlendirilmesi
- Yerel halka yönelik bilgilendirme toplantıları ve çalıştaylar düzenlenmesi
- Kentteki eksikliklerin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik çalışmaların yürütülmesi
- Tescillenmiş ve tescile önerilen tarihi konut ve yapılara ilişkin bilgileri içeren afiş, döküman vb. envanterlerin çıkarılması
- Kentin imajını güçlendirmeye yönelik tüm özelliklerin bir arada değerlendirilerek turizm envanterlerinin çıkarılması
- Kente gelenlere kenti tanıtmaya yönelik bir seyahat rotası oluşturulması ve bunun için gerekli dökümanların hazırlanması
- Doğa turizmini vurgulayacak tanıtım broşürleri hazırlanması ve turizm rotaları oluşturulması
- Osmaneli'ye yönelik bisiklet rotası oluşturulması
- Yerel ve ulusal basınla entegre bir biçimde tanıtım video ve görsellerinin medyaya servis edilmesi
- Kentin tüm noktalarında kiosklar oluşturularak tüm bu tanıtıcı envanterlerin dijital ortamda ve basılı olarak insanlara ulaştırılması

### TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2018-02.BŞEÜ.07-02 no'lu proje kapsamında, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne verdiği destek için teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- [1] Perihan, M. & Aşur, F. (2020). Tarihi Kentsel Peyzaj ve Kent Kimliği İlişkisi. *Kent Akademisi: Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 13(1), 163-175.
- [2] Scheffler, N., Kulikauskas, P. & Barreiro, F. (2009). Managing Urban Identities: Aim or Tool of Urban Regeneration?. *The Urbact Tribune*, 9-13.
- [3] Aly, S. S. A. (2011). Modernization and Regionalism: Approaches for Sustainable Revival of Local Urban Identity. International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Science Direct Procedia Engineering, 21, 503-512.
- [4] Yargıç, S. (2009). Küreselleşen Kentlerde İkonik Yapıların Kentsel Kimlik Oluşumuna Etkileri Üzerine İrdeleme. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- [5] Larco, N. (2010). Both/And: Merging Global and Local Identity through Design. A Case Study of Puerto Madero, Buenos Aires. *Journal of Urban Design*, 15 (2), 195-210.
- [6] Dağ, V. & Mansuroğlu, S. (2020). Turizm Alanlarının Kent Kimliğine Etkisi: Denizli Kenti Örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24 (2), 589-604.
- [7] Fırat, A. & Kömürçüoğlu, F. (2015). Muğla Şehir Markası ve İmaj Algısı; Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Öğrencileri Üzerine Bir Alan Araştırması. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 13(26), 285-304.
- [8] Oğurlu, İ. (2014). Çevre-Kent İmajı-Kent Kimliği-Kent Kültürü Etkileşimlerine Bir Bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(26), 275-293.

- [9] Lynch, K. (2010). Kent İmgesi, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 215.
- [10] Elovich, M. A. (2012). Becoming Cittaslow a City's Journey to Becoming a Cittaslow Member. Faculty of California Polytechnic State University, In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of City and Regional Planning.
- [11] Knox, P. L. (2005). Creating Ordinary Places: Slow Cities in a Fast World, *Journal of Urban Design*, 10(1), 1-11.
- [12] Güven, E. (2011). Yavaş Güzeldir: 'Yavaş Yemek'ten 'Yavaş Medya'ya Hızlı Tüketime Dair Bir Çözüm Önerisi. *Selçuk İletişim*, 7(1), 113-121.
- [13] Gündüz, C. (2012). Pragmatism and Utopia Under the Auspices of Neoliberalism: Turning Out to be Cittaslow of Seferihisar. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyoloji Bölümü Doktora Tezi, Ankara.
- [14] Pink, S. (2009). Urban social movements and small places: Slow Cities as sites of activism. *City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action*, 13(4), 451-465.
- [15] Ersavaş Kavanoz, S. & Budak, S. (2020). Yavaş Kent'in Otantiklik/ Özgünlük Bağlamında Kent Pazarlama Stratejisi Olarak Okunması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 38 (3), 487-509.
- [16] Soyocak Özalp, S. (2020). Küresele karşı yerel: Yavaş kent yaklaşımı. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 7(61), 3297-3303.
- [17] Miele, M. (2008). CittàSlow: Producing Slowness against the Fast Life, *Space and Polity*. 12(1), 135-156.
- [18] Anonim. 2020. Web Sitesi: [www.cittaslowturkiye.org](http://www.cittaslowturkiye.org), (Erişim Tarihi: 10.01.2020)
- [19] Kayaoğlu, B. & Yazar, A. (2021). Sakin Kent (Cittaslow) ve Ekoturizmin Birlikte Uygulanması: Türkiye. *Akademik Düşünce Dergisi*, 2021(3), 3-18.
- [20] Baş, T. (2003). Anket“Anket Nasıl Hazırlanır? Anket Nasıl Uygulanır? Anket Nasıl Değerlendirilir?“, *Seçkin Yayıncılık*, 222,. Ankara.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları Tabanlı Kesir Dereceli PID Denetleyicilerle Kontrol Edilen Bir Santral Modelinin Performansının İncelemesi

## Investigation of the Performance of a Power Plant Model Controlled by Fractional Order PID Controllers Based on Nature-Inspired Optimization Algorithms

Kunter Sercan Sezer<sup>1</sup>, Nevra Bayhan<sup>2\*</sup>

*Geliş / Received: 26/04/2021*

*Kabul / Accepted: 04/05/2021*

### ÖZ

Bu çalışmada, klasik oransal-integral-türev (PID) kontrolörlerin gelişmiş hali olan kesir dereceli oransal-integral-türev (FOPID) kontrolörlerden faydalanılarak basitleştirilmiş gaz türbinli bir santral modeli için denetlemenin hassas şekilde yapılabilmesi sağlanmıştır. Klasik PID kontrolörler (denetleyiciler) üç parametre içerirken, kesir dereceli PID kontrolörler beş parametre içerir. Parametre sayısının fazla olması daha hassas denetlemenin yapılabilmesine olanak sağlar, ancak bu durum kontrolörün optimizasyonunu zorlaştırır. Kesir dereceli PID kontrolörlerin geleneksel matematiksel yöntemler ile optimizasyonu zor olduğu için; bu çalışmada, doğadan esinlenen (meta-sezgisel) optimizasyon algoritmaları arasında yer alan balina optimizasyon algoritması (BOA), salp sürüsü algoritması (SSA), yapay arı kolonisi (YAK) ve atom arama optimizasyon algoritması (AAO) kullanılmıştır. Bu dört farklı algoritmayla optimize edilen FOPID kontrolör parametreleri, basitleştirilmiş gaz türbini enerji santrali modeline uygulanmış ve sistem çıkış sinyallerinin geçici yanıt performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yerleşme süresi ve yüzde en büyük aşım, karşılaştırma kriteri olarak kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasıyla optimize edilmiş FOPID kontrolörün, bu santral modeli için yerleşme süresi ve yüzde en büyük aşım kriterleri açısından diğer algoritmalarla optimize edilmiş FOPID kontrolörlere göre daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler-** Gaz Türbinli Güç Santrali, Kesir Dereceli PID Kontrolör, Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları

### ABSTRACT

In this study, it is ensured that the control of a simplified gas turbine power plant can be performed precisely with the fractional order proportional-integral-derivative (FOPID) controllers, which are the advanced form of conventional proportional-integral-derivative (PID) controllers. While conventional PID controllers contain three parameters, fractional order proportional-integral-derivative PID controllers contain five parameters. The large number of parameters allows more precise control to be made, but this makes difficult optimization of the controller. Since fractional order PID controllers are difficult to optimize with traditional mathematical methods; in this study, whale optimization algorithm (WOA), salp swarm algorithm (SSA), artificial bee colony (ABC) and

<sup>1</sup> İletişim: [kuntersercansezer@gmail.com](mailto:kuntersercansezer@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-9428-2595>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Avcılar Kampüsü, İstanbul, Türkiye

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [nevra@iuc.edu.tr](mailto:nevra@iuc.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-7497-2377>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Avcılar Kampüsü, İstanbul, Türkiye

atomic search optimization algorithm (ASO), which are among the nature-inspired (metaheuristic) optimization algorithms, are used. FOPID controller parameters which are optimized from four different nature-inspired algorithms are applied to the simplified gas turbine power plant model and the transient responses performances of the system output signals are compared. For this aim, settlement time and percentage maximum overshoot are used as comparison criteria. The simulation results show that the FOPID controller optimized with the artificial bee colony (ABC) algorithm performs better than the rest of FOPID controllers on the settling time and overshoot for this power plant model.

**Keywords- Gas Turbine Power Plant Model, Fractional Order PID, Nature Inspired Optimization Algorithms**

## I. GİRİŞ

Günümüzde gaz türbinli güç santralleri enerji üretiminde büyük yer tutmaktadır. Bu santrallerin dinamiği, devreye alınan ya da çıkarılan yükün etkisi ile ani olarak değişiklik gösterebilmektedir. Santral çıkışındaki yükte oluşabilen bu ani değişim santral jeneratörünün dönüş hızını etkileyerek yavaşlamasına veya hızlanmasına sebep olabilir. PI ve PID gibi geleneksel denetleme metotları, böyle değişimlere hızlı cevap veremeyebilir [1, 2].

Mevcut sistemlerin yükteki değişimlere daha hızlı ve hassas yanıtlar vererek üretim-yük dengesinin sağlanabilmesi için bu çalışmada PID kontrolörlerin genelleştirilmiş hali olan kesir dereceli PID (FOPID) kontrolörler kullanılmıştır. Kesirli dereceli PID denetleyicileri, geleneksel PID denetleyicilerine kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Geleneksel PID kontrolörleri için, türev ve integral etkileri tamsayı derecelerine sahiptir ve üç katsayı parametresi içerir. Öte yandan, kesirli mertebeden PID denetleyiciler, yapılarında türev ve integral dereceleri tam sayı olması gerekmeyen toplam beş parametreye sahiptir [3, 4]. FOPID kontrolörler, PID kontrolörlere göre daha hassas ayar yapabilmeye olanak sağlarlar ancak bu avantajının yanı sıra parametre sayısının fazla olması optimize edilmelerini zorlaştırmaktadır. Bu problemin aşılabilmesi için literatürdeki doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları kullanılabilir [5].

Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarının kullanımı ve pek çok sisteme uygulanan bu algoritmaların karşılaştırmaları literatürde gittikçe önem kazanmaktadır [6]. Bu çalışmada, doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarından olan balina optimizasyon algoritmasından (BOA), salp sürüsü optimizasyon algoritmasından (SSA), yapay arı kolonisi (YAK) ve atom arama algoritmasından (AAO) yararlanılmıştır. Farklı hayvan davranışları ve içgüdülerinden esinlenerek Mirjalili ve diğerleri farklı doğa ilhamlı algoritmalar ortaya koymuştur. Bunlar arasında balina optimizasyonu algoritması ve salp sürüsü algoritması önde gelen yöntemlerdendir [7, 8]. 2005 yılında yapılan bir çalışma sonucunda bulunmuş olan yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması, doğadan esinlenmiş optimizasyon algoritmaları arasındaki önemli çalışmalardan biridir ve bu algorithma arı kolonilerinin besin ararken gösterdiği davranışlarından esinlenilmiştir [9]. 2019 yılında jeoloji alanında çok bilinmeyenli denklemlerin çözümü için yüklü parçacıkların potansiyel enerjileri sebebiyle birbirini itme ve çekme kuvvetlerinden esinlenilerek oluşturulan fizik tabanlı olan atom arama algoritması ise Zhao ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir [10].

Bu çalışmada, elektrik üretimi için tasarlanmış olan gaz türbinli bir elektrik santralının [1, 2]'deki basitleştirilmiş modeli için son yıllarda yaygın kullanımları ile önde gelen yukarıdaki dört farklı algoritma kullanarak optimize edilmiş FOPID kontrolörler uygulanarak sistemin performans analizi karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla ikinci bölümde öncelikle gaz türbinli güç santralının çalışma prensibi açıklanarak bu santralin basitleştirilmiş modeli ve FOPID kontrolör yapıları hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Ardından, ele alınan santral modeline uygulanarak karşılaştırması yapılacak olan optimizasyon algoritmaları hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Bu algoritmalar sistem modeline uygulanırken kullanılan parametreler açıklanarak, algoritmaların en uygun parametre değerlerini saptaması için ihtiyaç duyulan amaç fonksiyonu (ITAE: zaman ağırlıklı mutlak hata toplamı) hakkında teorik içerik aktarılmıştır.

Bu çalışmanın üçüncü bölümünde basitleştirilmiş gaz türbinli santral modelinin kontrolü için FOPID kontrolör içeren sistemin simülasyonu yapıp [11], yukarıda bahsi geçen doğa ilhamlı algoritmalar ile optimizasyonu sağlanarak tasarlanmış olan FOPID kontrolörler yardımıyla santral çıkışındaki istenmeyen güç dalgalanmalarına oldukça kısa sürede cevap verilmesi sağlanmıştır. Bahsedilen optimizasyon algoritmaları ile parametre değerleri belirlenmiş FOPID kontrolörün uygulandığı basitleştirilmiş gaz türbinli elektrik güç santral modelinin çıkış işaretleri, yükselme süresi ve yüzde en büyük aşım değeri kriterlerine göre performans

karşılaştırmaları yapılmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve bu doğrultuda çıkarımlar yapılmıştır.

## II. TEORİ VE YÖNTEM

### A. Basitleştirilmiş Gaz Türbin Modeli

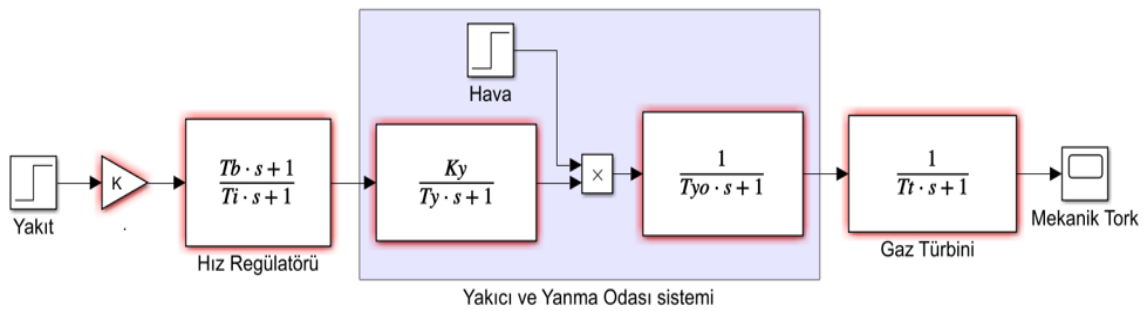
Gaz türbinleri genellikle güç kaynağı olarak kullanılır. Çalışma prensibi basittir. Güç elde etmek için gaz, türbine doğru sıkıştırılır, yakılır ve genişmesi sağlanır. Hacmi artan gaz, türbine yönlendirilir ve türbini çevirir. Bu çalışmada, [1, 2] 'deki gaz türbini modeli referans alınmıştır. Bu model yakıttan mekanik güç üretmek için bir gaz akışı sürecidir. Bu basitleştirilmiş model için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Hava akışkan olarak kullanılmıştır ve döngü boyunca ideal gaz olarak kabul edilmiştir.
- Yanma işlemi ihmal edilmiştir ve ısının dışarıdan sabit basınçta sağlandığı varsayılmıştır.
- Kompresör emiş ve türbin egzoz işlemleri ihmal edilmiştir. Sabit basınç altında türbinden çıkan akışkan, kompresöre geri döner.

Temel gaz türbini modeli Şekil 1'de gösterildiği gibi hız regülatör bloğu, yanma ve yanma odası bloğu, türbin bloğu olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Şekil 1'deki basitleştirilmiş gaz türbini modeli blok diyagramında kullanılan parametreler, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Basitleştirilmiş gaz türbin model parametreleri [1, 2]

Parametre	Değer	Açıklama
K	1	Hız regülatörü kazancı
Tb	0.65	Hız regülatörü birinci gecikme sabiti
Ti	0.1	Hız regülatörü ikinci gecikme sabiti
Ky	1	Yakıcı sistem kazanç sabiti
Ty	0.05	Yakıcı sistemin gecikme sabiti
Tyo	0.4	Yanma odası gecikme sabiti
Tt	0.1	Türbin dinamik özelliklerine bağlı gecikme sabiti



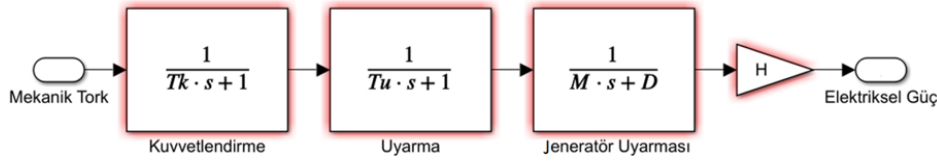
Şekil 1. Basitleştirilmiş gaz türbin modeli blok diyagramı [1, 2]

### B. Basitleştirilmiş Jeneratör Modeli

Jeneratör, mekanik gücü elektrik enerjisine çeviren bir cihazdır. Bu çalışmada gaz türbininin oluşturduğu mekanik güç, elektrik üretiminde kullanılmıştır. Simülasyonlar için kullanılan basitleştirilmiş jeneratör modeli Şekil 2'de verilmiştir [1, 2]. Kuvvetlendirme, uyarma ve jeneratör uyarma bloklarını içerir ve parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

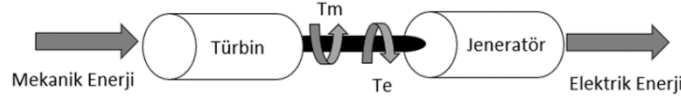
**Tablo 2.** Basitleştirilmiş jeneratör modeli parametreleri

Parametre	Değer	Açıklama
Tk	0.25	Kuvvetlendirme gecikme sabiti
Tu	1	Uyarma gecikme sabiti
M	0.1	Jeneratör gecikme sabiti
D	1	Sönüm sabit değeri
H	1	Hız regülatörü sabit değeri (Hz/MW)



**Şekil 2.** Basitleştirilmiş jeneratör modeli blok diyagramı [1, 2]

Türbin ve jeneratör arasındaki mekanik güç transferi ilişkisi Şekil 3'te modellenmiştir. Burada,  $T_m$  gaz türbini tarafından üretilen mekanik tork ve  $T_e$  ise yüke bağlı olarak değişkenlik gösteren elektriksel torktur.



**Şekil 3.** Görselleştirilmiş türbin-jeneratör ilişkisi [1, 2]

Burada  $T_m$ : mekanik tork ve  $T_e$ : elektriksel torktur. Türbin sistemi ile yakılan yakıttan elde edilen enerji, hızlandırma etkisine sahiptir ve  $T_m$  artar. Jeneratör tarafından beslenen şebekede tüketimdeki artış  $T_e$  'nin artmasına neden olur. Bu durumda,  $T_e > T_m$  olduğunda, merkezi şaft yavaşlama eğilimindedir ve frekans azalır. Frekansı sabit tutmak için  $T_m$ 'yi artırmak gerekir. Bunun için yakıt tüketimini yükseltmek ve  $T_m$  ile  $T_e$ 'yi eşitleyerek dengelemek gereklidir.  $T_m < T_e$  olduğu durumlarda yakıt tüketimini azaltarak  $T_m$ 'yi düşürmek ve frekansı korumak için  $T_e$  ile eşitleyerek kuvvetin dengesini sağlamak gereklidir.

Santralin işletilmesi sırasında bu işlemler defalarca tekrarlanır. Santralin kontrol altında tutulması ve üretilen elektriğin sabit frekansta tutulması için bu kontrol süreci gereklidir. Bu noktada jeneratör açılma hızı ile yükteki güç değişimi arasındaki ilişkiyi ifade eden denklemler, aşağıdaki gibidir:

$$T_T = Ia \quad (1)$$

$$M = I\omega \quad (2)$$

$$P_T = \omega T_T = \omega Ia = Ma \quad (3)$$

$T_T$  toplam tork olduğunda,  $I$  faz başına akım,  $\omega$  açısal hız,  $a$  alan akısı ve  $M$  momentumdur.  $\omega_0$ , jeneratör milinin başlangıçtaki dönüş frekansdır ve  $\Delta\omega$ , frekans değişimi olarak adlandırılır.  $P_T$  toplam güç,  $P_m$  gaz türbini tarafından üretilen mekanik güç ve  $P_e$  ise yük değişimiyle ilişkili elektriksel güçtür. Başlangıç güç durumları ile rotor frekansı arasındaki ilişkiyi gösteren denklemler de aşağıda verilmiştir.

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega = \omega_0 + at \quad (4)$$

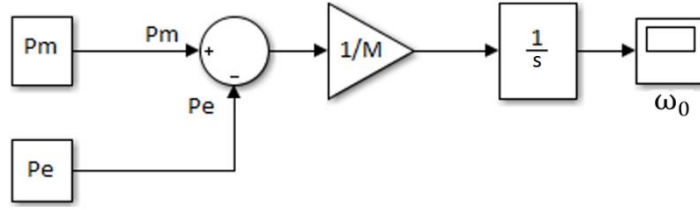
$$T_T = Ia = I \frac{d}{dt} \Delta\omega \quad (5)$$

$$P_T = P_m - P_e \quad (6)$$

$$P_T = \omega_0 I \frac{d\Delta\omega_0}{dt} = M \frac{d\Delta\omega_0}{dt} \quad (7)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{M_S} P_T = \frac{1}{M_S} P_m - P_e \quad (8)$$

Denklem (8) yardımıyla Şekil 4'teki blok diyagramı, oluşturulur.



Şekil 4. Rotor hızı ile mekanik ve elektriksel güç arasındaki ilişkisi gösteren blok diyagramı[1, 2]

Yük değişimi ve frekansa etkisi de denklem (9) 'da ifade edilmiştir.

$$\Delta P_e = \Delta P_L + \Delta P_D \rightarrow \Delta P_L = D \Delta \omega \rightarrow D = \frac{\Delta \omega}{\Delta P_L} \quad (9)$$

Burada, D, sönümlenme sabitiyken  $\Delta P_L$  ise yükteki güç değişimidir. D, yük değişimi için yaklaşık %1 olan frekanstaki değişim yüzdesidir. Örneğin, %1'lik bir yük değişiminde %1'lik bir frekans değişikliği olduğunda, sönümlenme oranı denklem (9)'dan elde edilir. Sönümlenme faktörü  $D = 1/1 = 1$ 'dir. Yük sönümlenme modeli, Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Jeneratör uyarılma diyagramı [1, 2]

Otomatik voltaj regülatör takviyesi ve söndürme blokları eklendikten sonra, jeneratör modeli Şekil 2'deki gibi olur [1, 2]. Denklem (8) ve (9)'a göre, bu çalışmada analiz edilen kontrolör frekans değişimini engellemeli ve sabit tutmalıdır.

### C. Kesir Dereceli PID Kontrolör (FOPID Kontrolör)

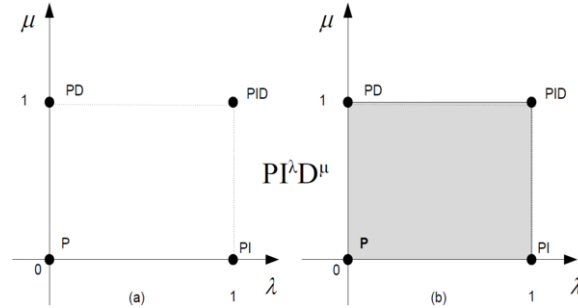
Kesir dereceli PID kontrolör, klasik PID kontrolörlerin genelleştirilmiş halidir [3-5]. Klasik PID kontrolörlerdeki gibi kesir dereceli PID kontrolörler de oransal katsayı, türev ve integral etkilerinden oluşurlar. Ancak klasik PID kontrolörlerde türev ve integral etki mertebesi tamsayı iken; kesir dereceli PID kontrolörlerde türev ve integral etki mertebeleri kesir sayılı olabilir. FOPID'nin genelleştirilmiş transfer fonksiyonu denklem (10) 'da verilmiştir.

$$G(s) = K_p + K_I \frac{1}{s^\lambda} + K_D s^\mu, \quad (\mu, \lambda > 0) \quad (10)$$

Burada,  $K_p$  oransal kazanç,  $K_I$  integral kazanç,  $K_D$  türevsel kazançtır ve  $\lambda$  integral terimin kesirli mertebesidir,  $\mu$  ise türev terimin kesirli mertebesidir. Burada  $\lambda$  ve  $\mu$ , 1'e eşitse, kontrolör bir PID tipi olacaktır.  $\lambda = 1$  ve  $\mu = 0$  ise, bir PI kontrolörü olacaktır.  $\lambda$  ve  $\mu$ , her ikisi de 0'a eşitse, P kontrolör elde edilir. Tüm bu denetleyici türleri, FOPID kontrolörün özel durumlarıdır. Şekil 6'daki mertebeler haritaları, FOPID'nin daha geniş

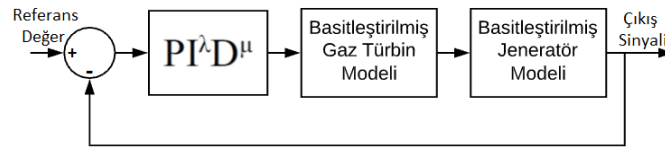


çözüm kümesine sahip olduğunu ve geleneksel PID'den daha hassas kontrol sağlayabileceğini göstermektedir [5, 12].



Şekil 6. (a) Klasik PID kontrolör türev-integral kuvvet haritası, (b) Kesir dereceli PID kontrolör türev-integral kuvvet haritası [5]

Şekil 7, FOPID ( $PI^\lambda D^\mu$ ) denetleyicisini içeren basitleştirilmiş santral modelinin kapalı döngü sisteminin genel yapısını göstermektedir. FOPID denetleyicinin geleneksel PID denetleyicisine göre iki ekstra parametresi vardır. Bu, daha iyi bir denetleyici performansı sağlayabilir ve genel sistemin performansını da olumlu yönde etkilemesi beklenir.



Şekil 7. FOPID kontrolör sistem modeli

Yüksek sayıda parametre, FOPID denetleyici optimizasyonunu zorlaştırır. FOPID denetleyicisini zorlu matematiksel yöntemlerle optimize etmek kolay olmadığından; doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları bu konuda kolaylık sağlar.

#### D. Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları

Doğadan esinlenen algoritmalar, çözülmesi zor olan optimizasyon problemleri için kabul edilebilir sürede optimum çözüme yakın değerler verebilen alternatif yöntemlerdir. Amaçları, arama uzayını özel yöntemlerle tarayarak istenilen değerleri bulmaktır. Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları, optimuma en yakın değerleri belirlemek için amaç fonksiyonuna ihtiyaç duyarlar. Literatürde çeşitli amaç fonksiyonları yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Bunlardan en popüler olanları hatanın mutlak değerinin integrali (IAE), hatanın karesinin integrali (ISE), zaman ağırlıklı hatanın karesinin integrali (ITSE) ve hatanın mutlak değerinin integrali (ITAE)'dir. Bu çalışmada parametrelerin uygunluğunu belirlemek için denklem (11)'de verilen ve performans ölçütü değerlerinin minimizasyonunu amaçlayan ITAE kullanılmıştır, çünkü en kısa yerleşme süresine ve yüzde aşım miktarına sahip olunması amaçlanmıştır.

$$ITAE = \int_0^T t |e| dt \quad (11)$$

Bu çalışmada kullanılan BOA, SSA, YAK ve AAO doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları ele alınan basitleştirilmiş gaz türbinli santral modeline uygulanırken ITAE fonksiyonu ile parametrelerin uygunluk değerleri saptanmıştır. Bu dört algoritmayı ana hatlarıyla inceleyecek olursak, sırasıyla aşağıdaki gibidirler:

1) *Balina Optimizasyonu Algoritması (BOA)*: Kambur balinaların avlanmaları sırasında sergiledikleri davranışlar incelenerek bilgisayar ortamında matematiksel olarak benzetimi yapılmış ve balinanın avını yakalamış gibi bilgisayardaki bir dizi işlem sonucunda amaçlanan çözüme yakın değerlere ulaşılmasını sağlayan balina optimizasyonu algoritması geliştirilmiştir [7]. Kambur balinalar küçük balıklarla beslenirler ve genellikle bu küçük balıkları toplu şekilde avlarlar. Avlanırken kendilerine özgü "kabarcık ağı" diye adlandırılan özel bir davranış sergileyerek küçük balık sürüsüne gidip daralan bir çember çizerek etraflarında kabarcıklar çıkartmak

yolu ile bir araya toparlanmalarını sağlar ve sonrasında küçük balık sürüsüne doğrudan saldırırlar. Bu yöntem ile daha az çaba harcayarak avlanma sürecinden daha verimli sonuçlar elde ederler. Bunun yanı sıra zaman zaman direkt olarak küçük balık sürülerine yöneldikleri de bilinmektedir. Bu balinaların avlanma davranışlarının matematiksel benzetimi denklem (12) ve (13)'de verilmiştir [5, 7].

$$D = |C X_{best} - X_t| \quad (12)$$

$$X_{t+1} = \begin{cases} X_{best} - A D, & A < 1 \\ X_{rand} - A D, & A \geq 1 \end{cases}, \quad p < 0.5 \text{ ise } C = 2r \\ D e^{bl} \cos(2\pi l) + X_{best}, \quad p \geq 0.5 \text{ ise } C = 1 \quad (13)$$

Denklem (12)'de  $D$  besin ile balina konumu arasındaki doğrusal uzaklığı;  $X_{best}$  uygunluk değeri en iyi besin konumunu;  $X_t$  balina konumunu temsil etmektedir.  $C$ , denklem (14)'de verilmiştir. Burada  $r_1$  ise  $[0,1]$  aralığında rastgele bir sayıdır.

$$C = 2 r_1 \quad (14)$$

Denklem (13)'de  $X_{t+1}$  balinanın yeni konumunu,  $b$  spiral şeklin sağlanması için gerekli katsayı sabitini;  $l$   $[-1,1]$  aralığında rastgele bir sayıyı,  $p$  ise  $[0,1]$  aralığında rastgele bir sayı olan besinin olasılık değerini ifade etmektedir. Burada  $A$ , denklem (15)'de verilen şekilde hesaplanır. (15)'de  $r_2$ ,  $[0,1]$  aralığında rastgele bir sayı,  $a$   $[-1,1]$  aralığında iterasyon sayısı ile doğru orantılı olarak azalan bir parametredir

$$A = 2 a r_2 - a \quad (15)$$

Algoritma başlangıcında balina sayısı belirlenir ve arama uzayında rastgele dolaşmaları için rastgele konumlara atanır. Ardından buldukları konumların amaç fonksiyonu yardımı ile uygunluk değerleri hesaplanır ve bu değere bağlı olarak denklem (13) kullanılarak konumları güncellenir ve bu süreç iterasyon sayısı kadar tekrarlanarak uygunluk değeri en iyi olan konum algoritma çıktısı olarak atanır.

2) *Salp Sürüsü Algoritması (SSA)*: Salpler yapıları denizanasına benzeyen renksiz deniz canlılarıdır. Hareket ederken vücut şekillerinden faydalanarak suyu pompalarlar. Sürü halinde yaşayan bu canlı türü avlanırken birbirine tutunarak zincir oluşturur. Bu şekilde hareket kabiliyetlerini arttırarak daha geniş bir alanı tarayarak besine ulaşabilirler. Bu avlanma davranışından faydalanılarak salp sürüsü algoritması oluşturulmuştur [8]. Algoritma başlangıcında sürü bireyleri arama uzayına rastgele olarak dağıtılır ve amaç fonksiyonu yardımı ile uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değerleri en iyi olan konum lider salpi temsil eder. Geriye kalanlar sürü bireyidir. Salp zinciri besin arama süreci boyunca yer değiştirirken yönlendirmeyi lider salp yapar ve diğer salpler zinciri bozmayacak şekilde onu takip eder. Bu süreç algoritma sırasında iterasyon sayısı kadar tekrarlanır. Lider salpin yer değiştirme hareketi matematiksel olarak modellenmiş ve denklem (16)'da verilmiştir.

$$X^{1(lider)} = \begin{cases} X_{besin} + c_1 ((ub - lb)c_2 + lb), & c_3 \geq 0 \\ X_{besin} - c_1 ((ub - lb)c_2 + lb), & c_3 < 0 \end{cases} \quad (16)$$

Denklem (16)'da  $X^l$  lider salpin konumunu,  $X_{besin}$  besin konumunu,  $C_2$  ve  $C_3$   $[0,1]$  aralığında rastgele sayıları belirtir. Burada  $c_1 = 2e^{-(4l/L)}$  ile hesaplanır. Diğer salplerin hareketleri ise denklem (17) kullanılarak gerçekleştirilecektir  $X_{yeni}$  salplerin yeni konumlarını temsil etmektedir.

$$X_{yeni}^i = \frac{X^i + X^{i-1}}{2} \quad (17)$$

İterasyon sayısı kadar tekrarlanan süreç sonunda uygunluk değeri en iyi olan konum, algoritma çıktısı olarak atanır.

3) *Yapay Arı Kolonisi (YAK)*: Yapay arı kolonisi algoritması, arı topluluklarının besin toplama esnasındaki davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuş matematiksel benzetimin optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanıldığı işlem dizisidir [9]. Arı kolonilerinde bireyler arasında hiyerarşik yapı vardır. Üç tip arı mevcuttur. Bunlar: kraliçe arı, erkek arı ve işçi arılardır. Kraliçe arı ve erkek arıların görevleri yönetimde yer alarak

kolonideki arı popülasyonunun devamlılığını sağlamaktır. İşçi arılar ise görevlerine göre üçe ayrılır. Bunlar besin kaynağından kovana besin taşıyan görevli işçi arılar, besin konumundan kovana ulaşan görevli işçi arılardan besin hakkında bilgi alan gözcü işçi arılar ve yeni besin kaynakları keşfetmekten sorumlu olan izci işçi arılardır. Algoritma başlangıcında işçi arı sayısı belirlendikten sonra arama uzayında konumları rastgele olarak denklem (18) kullanılarak atanır.

$$X_0^i = X_{\min} + \text{rand}() (X_{\max} - X_{\min}), \quad i \in [1, \dots, n] \text{ ve } n > 1 \quad (18)$$

Burada  $X_0^i$ , arama uzayı içerisindeki  $n$  adet parçacık (besin) konumunu ifade eder.  $X_{\min}$  arama uzayının alt sınırlarını ve  $X_{\max}$  arama uzayının üst sınırlarını ifade eder.  $\text{rand}()$  fonksiyonu ise  $[0,1]$  aralığında eşit olasılıklara sahip rastgele sayıları ifade eder. Belirlenmiş olan besin konumlarının uygunluk (fitness) değerleri hesaplanır. Ardından amaç fonksiyonu kullanılarak uygunluk (fitness) değerleri hesaplanır. Besinlerin uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak gözcü arılar, görevli işçi arıları denklem (19) kullanılarak besin ve kovan arasında yönlendirir.

$$X_{t+1}^i = X_t^i + \Phi_i * (X_t^i - X_t^k) \quad (19)$$

$X_{t+1}^i$ , besinin komşu konumunu ve  $X_t^i$  değişkeninin yeni değerini sembolize etmektedir.  $X_t^i$  mevcut besin konumu;  $X_t^k$  bilinen besin kaynaklarından rastgele birinin konumudur.  $\Phi_i$  ise  $[-1,1]$  aralığında rastgele değer alan ağırlık katsayısıdır. Bir besine algoritma başında belirlenmiş olan limit değeri ( $L$ ) kadar görevli arı yollandığında ve bu süreçte uygunluk değeri mevcut en iyi değerden daha iyi bir değere ulaşamazsa bu besin kaynağı tükenmiş olarak kabul edilir ve görevli işçi arı, izci işçi arı olarak yeni besin kaynağı arayacak şekilde arama uzayında rastgele konumlara yollanır. Bu süreç algoritma başlangıcında belirlenmiş olan iterasyon sayısı kadar tekrarlanır ve sonuç olarak ulaşılabilen en iyi uygunluk değerine sahip konum, algoritma çözümü olarak atanır.

4) *Atom Arama Algoritması (AAO)*: Atom arama algoritması, fizik kurallarından esinlenilerek atomlar arasındaki etkileşimin matematiksel olarak benzetimi ile oluşturulmuş ve optimizasyon problemlerine çözüm olarak sunulan bir işlem dizisidir [10]. Maddenin yapısı gereği atomlar arasında etkileşim mevcuttur ve itme ile çekme kuvvetleri mevcuttur. Bu kuvvetlerden atomlar arası potansiyel enerji atomlar arası uzaklık cinsinden ifade edilmek istendiğinde literatürde yaygın olarak Lennard-Jones potansiyel denklemi kullanılmaktadır. Buna ek olarak atomlar arasında kovalanet bağ kaynaklı ikinci bir kuvvet daha vardır. Denklem (20)'de uygulanan net kuvvet  $F_{net}$  verilmiştir.

$$F_{net} = F_i + G_i \quad (20)$$

$F_i$  atomlar arası potansiyel enerji kuvveti;  $G_i$  atomlar arası kovalent bağ etkileşim kuvvetini temsil etmektedir. Burada  $F_i$  ve  $G_i$  sırasıyla denklem (21-24) kullanılarak hesaplanır.

$$F_{ij} = -\eta(t) \left[ 2(h_{ij}(t))^{-13} - (h_{ij}(t))^{-7} \right] \quad (21)$$

$$\eta(t) = a \left( 1 - \frac{t-1}{T} \right)^3 e^{-\frac{20t}{T}} \quad (22)$$

$$G_i(t) = \lambda(t) (X_{best}^d(t) - X_i^d(t)) \quad (23)$$

$$\lambda(t) = \beta e^{-\frac{20t}{T}} \quad (24)$$

Denklem (21)'deki  $\eta(t)$  derinlik parametresi denklem (22) ile hesaplanır.  $h_{ij}(t)$  parametresi atom türünün karakteristik özellikleri ve konumlarına bağlı olarak hesaplanabilen bir değişkendir.  $a$  derinlik ağırlığı,  $t$ :  $t$  an gerçekleştirilen deneme (iterasyon) numarası,  $T$  toplamda gerçekleştirilecek olan deneme (iterasyon) sayısıdır. Denklem (23)'teki  $X_{best}^d(t)$  uygunluk değeri en iyi olan atom konumunu;  $X_i(t)$   $t$  an konum güncellemesi için kuvvet hesabı yapılan atomun konumunu;  $\lambda(t)$  Lagrangian çarpanını;  $\beta$  ise Lagrangian çarpan ağırlığıdır. Bir

atoma etkiyen net kuvvetin hesaplanmasından sonra Newton yasalarından faydalanılarak  $m_i$ 'nin atom kütlelerini temsil eden eşitlik (25) ile ise atomun ivmesi bulunur.

$$a_i = \frac{F_i + G_i}{m_i} \quad (25)$$

Denklem (25)'de denklem (21) ve (23) yerine konulduğunda denklem (26) elde edilir.

$$\begin{aligned} a_i(t) &= \frac{F_i(t)}{m_i(t)} + \frac{G_i(t)}{m_i(t)} \\ &= -\left(1 - \frac{t-1}{1}\right)^3 e^{-\frac{20t}{T}} \sum_{j \in K_{best}} \frac{rand_j \left[ 2 \left( h_{ij}(t) \right)^{-13} - \left( h_{ij}(t) \right)^{-7} \right]}{m_i(t)} \\ &\quad + \beta e^{-\frac{20t}{T}} \frac{X_j^d(t) - X_i^d(t)}{\|X_i^d(t), X_j^d(t)\|_2} + \beta e^{-\frac{20t}{T}} \frac{X_{best}^d(t) - X_i^d(t)}{m_i(t)} \end{aligned} \quad (26)$$

Burada  $m_i(t)$  denklem (27) ve (28) kullanılarak bulunur.

$$M_i(t) = e^{-\frac{Fit_i(t) - Fit_{best}(t)}{Fit_{worst}(t) - Fit_{best}(t)}} \quad (27)$$

$$m_i(t) = \frac{M_i(t)}{\sum_{j=1}^N M_j(t)} \quad (28)$$

Burada  $Fit_i$  ivmesi hesaplanan atomun amaç fonksiyonuna sokulması ile elde edilen uygunluk değeridir (fitness).  $Fit_{best}$  mevcut atom konumları içerisinde en iyi (min) uygunluk değeri;  $Fit_{worst}$  ise mevcut atom konumları arasında en kötü (max) uygunluk değeridir.  $N$  ise toplam atom sayısını temsil eder. Atom ivme değeri bulunduktan sonra denklem (29) ve (30) ile anlık hız  $V(t+1)$  ve bir sonraki konum  $X(t+1)$  belirlenir.

$$V_i(t+1) = rand v_i(t) + a_i(t) \quad (29)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + v_i(t+1) \quad (30)$$

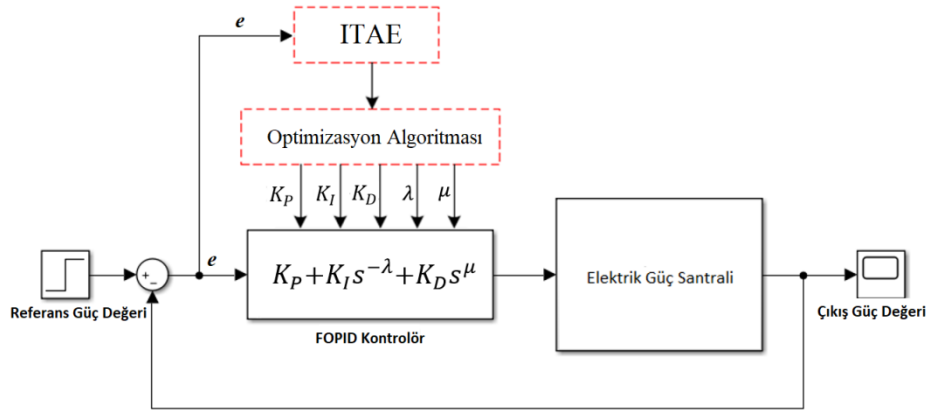
Bu matematiksel modeller kullanılarak bir atoma etkiyen kuvvet ve algoritma işleyişindeki bir sonraki konumu saptanır. Bu işlem algoritma başlangıcında belirlenmiş olan atom sayısı ve bu atomlar arasında iterasyon sayısı göz önünde bulundurularak tekrarlanır. İşlem dizisi sonucunda uygunluk değeri en iyi olan konum, algoritma çıktısı olarak atanır.

### III. BULGULAR

Denetleyici ve optimizasyon algoritmalarının sistem modeline nasıl uygulandığı Şekil 8'de görülmektedir. Şekil 8'de  $e$ , hatayı temsil etmektedir ve sistem çıkış değeri ile referans değer arasındaki farka eşittir. Optimizasyon algoritmalarının sistem modeline uygulanması sırasında,  $e$  (hata) sinyalini sıfıra yakın minimum seviyede tutmak ve sistem çıkış sinyalinin kısa bir yerleşme süresinin sağlanması için ITAE hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Algoritmaların çalışması sırasında, her bir ajan için FOPID denetleyicisinin başlangıç parametreleri, kullanılan algoritma prensiplerine uygun şekilde belirlenir. Daha sonra parametreler sistem modelinde yazılarak ITAE hesaplanır ve uygunluk değerleri bulunur. Bu süreç tüm arama bireyleri (parçacıkları) için geçerlidir (nüfus kadar). Algoritma çalıştırılarak uygunluk değerleri belirlenen popülasyon bireylerinin pozisyonları güncellenir. Bu süreç, yineleme sayısı boyunca tekrar tekrar devam eder ve sistem modeli üzerinde farklı parametre grupları test edilir. Yinelemeler sonucunda en düşük ITAE değerine sahip ajan (parametre grubu), yani en düşük uygunluğa sahip parametre grubu ( $K_p, K_I, K_D, \lambda, \mu$ ) algoritmanın çıktısı olarak belirlenir.

Burada, amaç fonksiyonu sonucunda en düşük değere sahip parametre değerlerini bulmak, algoritmaların

temel amacıdır. Şekil 8'de, FOPID denetleyicisinin ve parametrelerinin ( $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$ ) basitleştirilmiş gaz türbini enerji santrali modeline uygulanması, optimizasyon algoritmasının sisteme uygulanması ve amaç fonksiyonunun (ITAE) hata sinyali ( $e$ ) ile hesaplanması görselleştirilerek verilmiştir. Bu çalışmada simülasyon referans güç değeri olarak 50 saniye +1, 50 saniye -1 uygulanmıştır. Böylelikle sistemin hem pozitif hem de negatif alanlardaki cevapları ölçülerek +1'den -1'e geçerken sistemin ani değişime verdiği tepkiyi gözlemlemek mümkün olmuştur. Simülasyonlarda, arama uzayı sınırları  $K_p$ ,  $K_I$  ve  $K_D$  kazanç parametreleri için 0.001'den 20'ye ve  $\lambda$ ,  $\mu$  parametreleri için ise 0.001'den 2'ye kadar kabul edildi.



Şekil 8. Kesir dereceli PID kontrolör ile kontrol edilen basitleştirilmiş güç santral modeli [5]

BOA algoritması ile yapılan simülasyonlarda Tablo 3'de verilmiş olan parametre değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3. BOA için simülasyon parametreleri

Parametreler	Değer
Parçacık sayısı	50
İterasyon sayısı	30
$K_p$ , $K_I$ , $K_D$ , $\lambda$ , $\mu$ (alt sınır)	[0.001, 0.001, 0.001 0,001 0,001]
$K_p$ , $K_I$ , $K_D$ , $\lambda$ , $\mu$ (üst sınır)	[20, 20, 20, 2, 2]
b	1

SSA algoritması ile yapılan simülasyonlarda Tablo 4'de verilmiş olan parametre değerleri kullanılmıştır.

Tablo 4. SSA için simülasyon parametreleri

Parametreler	Değer
Parçacık sayısı	50
İterasyon sayısı	30
$K_p$ , $K_I$ , $K_D$ , $\lambda$ , $\mu$ (alt sınır)	[0.001, 0.001, 0.001 0,001 0,001]
$K_p$ , $K_I$ , $K_D$ , $\lambda$ , $\mu$ (üst sınır)	[20, 20, 20, 2, 2]

YAK algoritması ile yapılan simülasyonlarda Tablo 5’de verilmiş olan parametre değerleri kullanılmıştır.

**Tablo 5.** YAK için simülasyon parametreleri

Parametreler	Değer
Parçacık sayısı	50
İterasyon sayısı	30
$K_p, K_I, K_D, \lambda, \mu$ (alt sınır)	[0.001, 0.001, 0.001 0,001 0,001]
$K_p, K_I, K_D, \lambda, \mu$ (üst sınır)	[20, 20, 20, 2, 2]
Limit (L)	80

AAO algoritması ile yapılan simülasyonlarda Tablo 6’da verilmiş olan parametre değerleri kullanılmıştır.

**Tablo 6.** AAO için simülasyon parametreleri

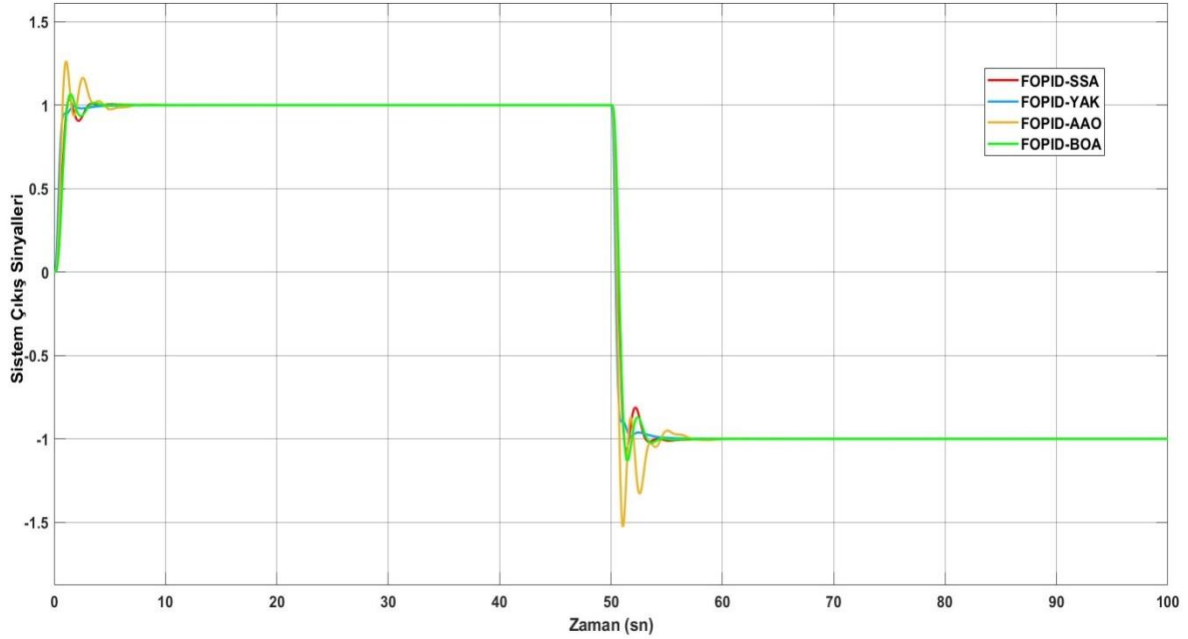
Parametreler	Değer
Parçacık sayısı	50
İterasyon sayısı	30
$K_p, K_I, K_D, \lambda, \mu$ (alt sınır)	[0.001, 0.001, 0.001 0,001 0,001]
$K_p, K_I, K_D, \lambda, \mu$ (üst sınır)	[20, 20, 20, 2, 2]
$\alpha$ (Derinlik ağırlığı)	50
$\beta$ (Lagrangian çarpanı ağırlığı)	0.2

Tablo 3-Tablo 6’da verilen başlangıç değerleri ile gaz türbini santral modeline bu çalışmada ele alınan dört doğa ilhamlı optimizasyon algoritması uygulanarak Tablo7’de verilen FOPID kontrolör parametreleri bulunmuştur.

**Tablo 7.** FOPID kontrolör parametre değerleri

BOA-FOPID	SSA-FOPID	YAK-FOPID	AAO-FOPID
$K_p = 0.7225$	$K_p = 1.2776$	$K_p = 2.74$	$K_p = 1.3061$
$K_I = 1.3633$	$K_I = 1.3483$	$K_I = 1.9575$	$K_I = 3.4435$
$K_D = 0.7399$	$K_D = 0.4471$	$K_D = 0.5182$	$K_D = 1.1787$
$\lambda = 1.0144$	$\lambda = 1.1975$	$\lambda = 1.0110$	$\lambda = 1.4377$
$\mu = 0.3308$	$\mu = 0.5463$	$\mu = 1.3100$	$\mu = 0.5512$

Tablo 7’deki parametre değerleri kullanılarak gaz türbini santral modeline FOPID kontrolör uygulandığında Şekil 9’da gösterilen çıkış sinyalleri elde edilir.

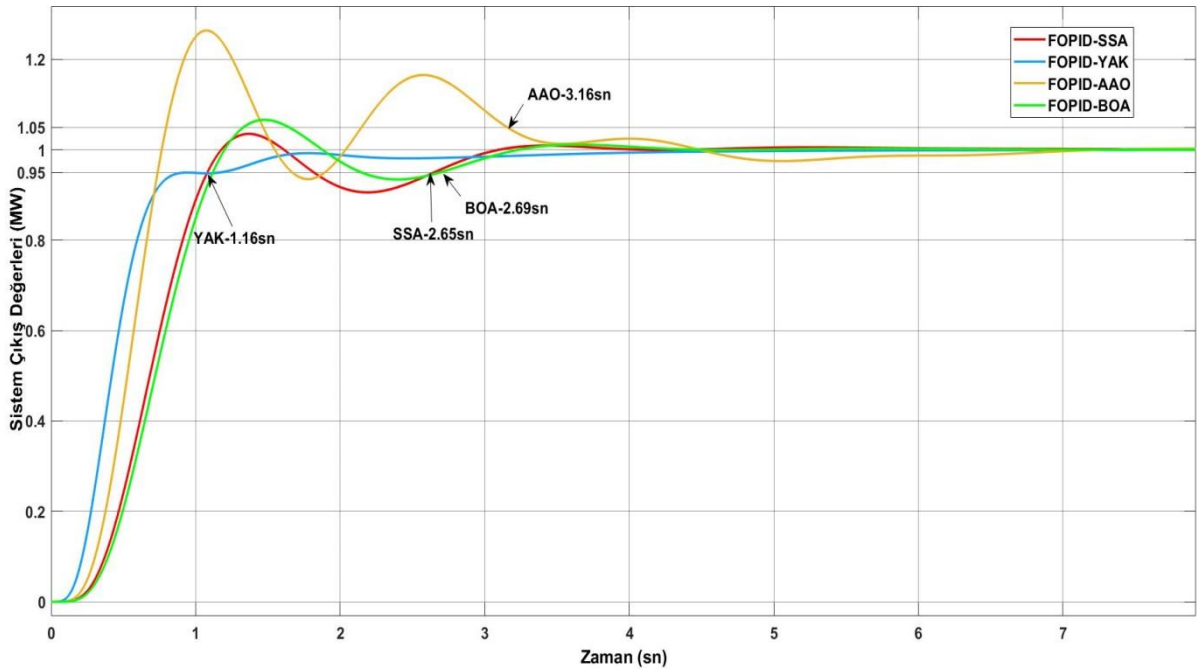


Şekil 9. Sistem çıkış sinyalleri genel görünümü

Optimize edilmiş FOPID denetleyicilerinin net bir performans karşılaştırmasını yapmak için yerleşme süresi ve en büyük yüzde aşım kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler değerlendirilirken referans değerinin hem pozitif (0-50 sn arası +1) hem de negatif (50-100 sn arası -1) olarak uygulanması, sistem davranışının farklı koşullar altında gözlemlenmesini sağlamıştır.

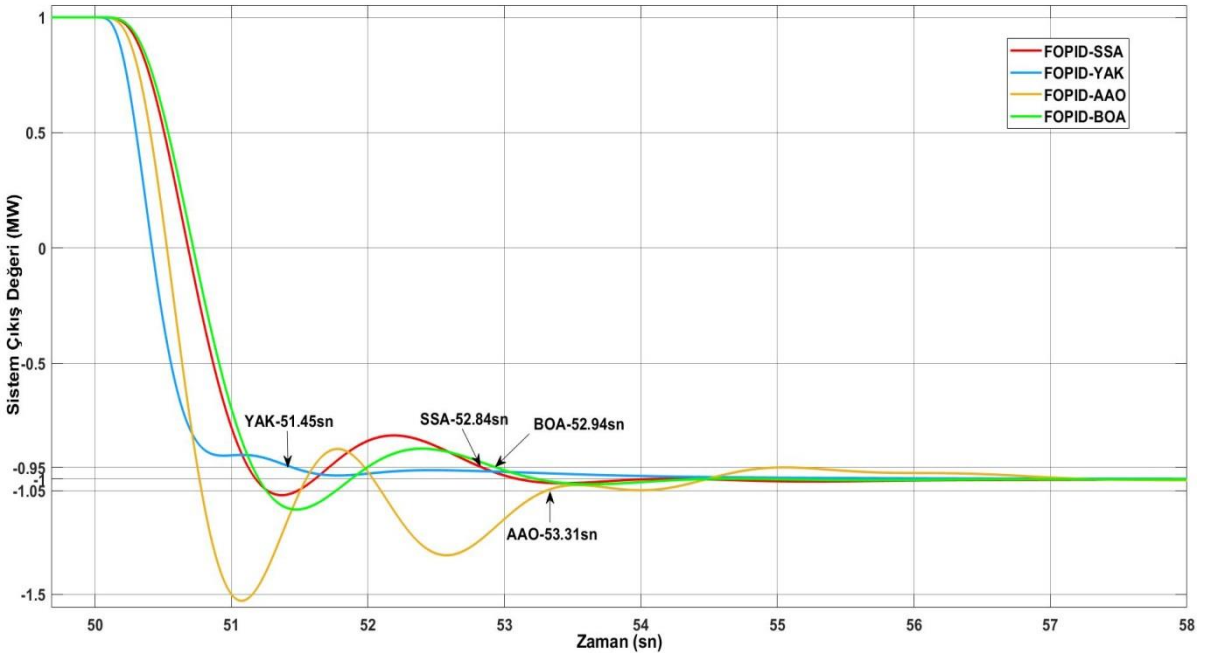
Yerleşme süresi, literatürde en çok kullanılan yaklaşım kriteri olan % 5'lik tolerans bandı esas alınarak uygulanmıştır ve çıkış sinyalinin ilk kez % 5'lik bant aralığına girdiği ve tekrar çıkmadığı süredir. Karşılaştırmaları daha net bir şekilde yapabilmek için, pozitif bölgedeki (0-50 sn arası) çıkış sinyallerinin geçici rejimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'da BOA, SSA, YAK ve AAO algoritmaları ile optimize edilmiş FOPID kontrolörler uygulanmış gaz türbin santral modeli sisteminin çıkış sinyallerinin üzerinde gerekli yerlerde yerleşme süreleri, oklarla gösterilmiştir. Pozitif bölgede %5'lik bant aralığı değerlendirildiğinde Şekil 10'da verilmiş olan çıkış işaretlerinin yerleşme süreleri incelendiğinde; YAK-FOPID'nin uygulandığı sistem çıkışının en küçük yerleşme süresine sahip olduğu görülmüştür. Geriye kalan üç optimizasyon algoritmasının uygulandığı sistem çıkış eğrilerine bakıldığında ise, yerleşme sürelerinin en küçükten en büyüğe doğru sırayla SSA-FOPID, BOA-FOPID, AAO-FOPID için olduğu görülür.

Yüzde en büyük aşım ise sistem yanıtının en büyük değeri ile sabit durum değeri arasındaki farkın sabit durum değerine oranının yüzde ifadesidir. Şekil 10'da görülen sistem çıkış işaretleri için pozitif bölgede yüzde en büyük aşım değerlendirildiğinde; YAK-FOPID'nin uygulandığı sistem çıkışının en küçük aşımına sahip olduğu görülür. Geriye kalan üç optimizasyon algoritmasının uygulandığı sistem çıkış eğrilerine bakıldığında ise, aşım miktarlarının en küçükten en büyüğe doğru sırayla SSA-FOPID, BOA-FOPID, AAO-FOPID için olduğu görülür.



Şekil 10. Pozitif bölgede yaklaşılandırılmış sistem çıkış sinyalleri

Negatif bölgedeki (50-100 sn arası) çıkış sinyallerinin geçici rejimi Şekil 11'de verilmiştir. Negatif bölgedeki yerleşme zamanlarının (oklarla gösterilen) ve en büyük aşımın sıralamaları, pozitif bölgedekiyle aynıdır.



Şekil 11. Negatif bölgede yaklaşılandırılmış sistem çıkış sinyalleri

Pozitif ve negatif bölgeler için yerleşme süreleri ve yüzde aşım değerleri Tablo 8'de verilmiştir.



**Tablo 8.** Sistem cevabının geçici rejim performans kriter değerleri.

Algoritma- Kontrolör	Pozitif Bölge		Negatif Bölge	
	Yerleşme süresi	Aşım	Yerleşme süresi	Aşım
BOA-FOPID	2.69 sn	% 6,65	2.94 sn	% 13,0
SSA-FOPID	2.65 sn	% 3,51	2.84 sn	% 6,82
YAK-FOPID	1.16 sn	% 0	1.45 sn	% 0
AAO-FOPID	3.16 sn	% 26,40	3.31 sn	% 51,2

YAK algoritması ile optimize edilmiş FOPID kontrolörü uygulamanın, gaz türbini santralinin çıkış sinyalinin hem pozitif hem de negatif bölgesinde yerleşme süresi açısından diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği Tablo 8 incelendiğinde görülmektedir. Diğer üç algoritma da değerlendirildiğinde hem pozitif hem de negatif bölge için yerleşme süreleri en küçükten en büyüğe doğru sıralandığında sırasıyla SSA-FOPID, BOA-FOPID, AAO-FOPID olduğu görülür. Yüzde en büyük aşım açısından değerlendirildiğinde ise YAK algoritması ile elde edilen FOPID denetleyici parametrelerinin uygulandığı sistemin hem pozitif hem de negatif bölgelerdeki çıkış eğrisi değerlerinin diğerlerinden küçük olduğu ve hatta hiç aşım yapmadığı (%0 olduğu) görülmektedir. SSA algoritması ile optimize edilmiş FOPID kontrolörü uygulanmış gaz türbini santral sistemi cevap eğrisinin, pozitif bölgede % 3,51 aşım ile; negatif bölgede ise % 6,82 aşım ile ikinci en küçük yüzde aşım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. BOA ve AAO algoritmaları ile optimize edilmiş olan FOPID kontrolörlerin kullanıldığı sistem çıkış eğrileri incelendiğinde BOA ile optimize edilen sistem çıkış sinyalinin hem pozitif bölgede hem de negatif bölgede üçüncü sırada aşım değerine sahip olduğu ve AAO ile optimize edilen FOPID kontrolöre sahip sistem çıkış sinyalinin ise diğerlerine göre en büyük yüzde aşım miktarına sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda YAK algoritması ile optimize edilen FOPID kontrolör parametrelerinin hem yüzde aşım miktarı kriterine hem de yerleşme süresi kriterine göre diğerlerinden bu sistem için daha üstün olduğu anlaşılmaktadır.

#### IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, basitleştirilmiş bir gaz türbinli güç santral modelinin kontrolü için doğadan esinlenen algoritmalar olan BOA, SSA, YAK ve AAO algoritmaları yardımıyla parametre optimizasyonu yapılmış kesir dereceli PID (FOPID) kontrolörler kullanılmıştır. Bu algoritmalarla optimize edilmiş FOPID kontrolörlerin uygulandığı gaz türbin santralinin çıkış sinyallerinin hem pozitif hem de negatif bölgelerinde yerleşme süresi ve yüzde aşım kriterleri açısından karşılaştırmalar yapıldığında; ele alınan dört optimizasyon algoritması içinde yapay arı kolonisi algoritması (YAK) ile elde edilen FOPID kontrolör sayesinde sistem çıkış sinyalinin hiç aşım yapmadığı ve diğerlerine göre kısa sürede yerleştiği görülmüştür. Bu sonuçlarla, YAK ile optimize edilmiş FOPID kontrolörlerin gaz türbinli elektrik santrallerine uygulandığında; oluşan yük değişimlerine vereceği hızlı cevaplar ile verim artışının sağlanabileceği düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Arıkuşu, Y., Bayhan, N. & Tiryaki, H. (2019), Comparison of Conventional and Modern Controllers for a Gas Turbine Power Plant, *Electrica*, 19(2), 146-157.
- [2] Tiryaki, H. (2013). Modern Kontrol Yöntemlerinin Yük Dağıtım Sistemlerinde Uygulanması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Podlubny, I. (1994) Fractional Order Systems and Fractional Order Controllers, Slovak Academy of Sciences Institute of Experimental Physics.
- [4] Göktürk, E. (2009). Kesirli PID Tasarım Yöntemi ve Klasik PID ile Karşılaştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Sezer, K. S. (2021), Metasezgisel Algoritmalarla Optimize Edilmiş Kesir Dereceli PID kontrolörler ile Gaz Türbin Elektrik Santralinin Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Tzanetos, A. & Dounias, G. (2021), Nature inspired optimization algorithms or simply variations of metaheuristics?, *Artificial Intelligence*, 54, 1841–1862
- [7] Mirjalili, S. & Lewis, A. (2016), The Whale optimization Algorithm, *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67.

- [8] Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H. & Mirjalili, S.M., (2017), Salp Swarm Algorithm: A Bio-Inspired Optimizer for Engineering Design Problems, *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191.
- [9] Karaboğa, D. (2005), An Idea Based on Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, Technical Report-TR06, Erciyes University, Kayseri, October 2005.
- [10] Zhao, W., Wang, L. & Zhang, Z., (2018), A Novel Atom Search Optimization for Dispersion Coefficient Estimation in Groundwater, *Future Generation Computer Systems*, 91, 601-610.
- [11] MATLAB 2020a Reference Manual, 2020. (Licence no: 40914345)
- [12] Hekimoğlu, B. (2020). Çekirge optimizasyon algoritması kullanılarak çok makinalı güç sistemi için gürbüz kesir dereceli PID kararlı kılıcısı tasarımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 165-180, DOI: 10.17341/gazimmfd.449685.

*Araştırma Makalesi–Research Article*

# İHA Bataryasının Şarj Padi ile Dengeli Şarj Edilmesi ve Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi

## Balanced Charging of UAV Battery with Charging Pad and Real Time Monitoring System

Hakan Üçgün<sup>1\*</sup>, Uğur Yüzgeç<sup>2</sup>, Cüneyt Bayılmış<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 02/05/2021*

*Revize / Revised: 08/06/2021*

*Kabul / Accepted: 10/06/2021*

### ÖZ

Elektronik sistemlerin ayrılmaz bir parçası olan bataryalar, güç kaynağı olarak önemli roller oynamaktadırlar. Günümüzde mobil araçlar, elektronik cihazlar ve yedek güç gibi birçok alanda şarj edilebilir bataryalar kullanılmaktadır. Bataryaların şarj veya deşarj işlemi sırasında takip edilmesi, performans açısından bataryanın ömrünün korunmasını ve güvenliğini sağlamaktadır. Batarya Yönetim Sistemleri (BMS: Battery Management Systems), bataryanın sahip olduğu hücreleri, balanslı bir şekilde şarj veya deşarj ederek hücrelerdeki dengenin korunmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, bataryaların ömrünü uzatabilme ve optimize edebilme imkânı sağlar. Bu çalışma kapsamında, İnsansız Hava Araçlarında (İHA) kullanılan Lityum Polimer (LiPo) bataryalarının şarj işlemi sırasında takip edilmesine imkân sağlayacak bir sistem gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile LiPo bataryasının hücre gerilim değerleri, hazırlanan bir arayüz ile gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler-** İHA, LiPo Batarya Şarj, Gerçek Zamanlı İzleme, Batarya Yönetim Sistemi

### ABSTRACT

Batteries, which are an essential part of electronic systems, play an important role as a power source. Today, rechargeable batteries are used in many areas, such as mobile vehicles, electronic devices, and backup power. Monitoring the batteries during the charging or discharging process ensures the protection and safety of the battery life in terms of performance. Battery Management Systems (BMS) ensure that the balance in the cells is maintained by charging or discharging the cells of the battery in a balanced way. These systems provide the ability to extend the life and optimize of the batteries. In this study, a system has been developed that will allow the monitoring of Lithium Polymer (LiPo) batteries used in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) during the charging process. With the developed system, the voltage values of the LiPo battery cells are monitored in real time with an interface.

**Keywords-** UAV, LiPo Battery Charge, Real-Time Monitoring, Battery Management System

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [hakan.ucgun@bilecik.edu.tr](mailto:hakan.ucgun@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-9448-0679>)

Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr](mailto:ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>)

Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

<sup>3</sup>İletişim: [cbayilmis@sakarya.edu.tr](mailto:cbayilmis@sakarya.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-1058-7100>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

## I. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte pek çok uygulama son kullanıcıya sunulmuştur. İlk zamanlarda askeri amaçlarla görev yapan İnsansız Hava Araçları (İHA), günümüzde pek çok farklı alanda kullanılmakta ve gördüğü ilgi gün geçtikçe artmaktadır [1]. Farklı yapılarla ve şekillere sahip olan İHA'lar, uzun süreli ve dayanıklılık gerektiren görevlerde kullanılabilirler ve genel olarak yüksek manevra kabiliyeti, otonom uçuş, konum takibi, esnek uçuş gibi kabiliyetlere sahiptirler [2, 3]. Pek çok avantajının olmasının yanı sıra düşük uçuş süresi, sınırlı yük miktarı gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

İHA'larda enerji kaynağı olarak çoğunlukla yüksek yoğunluklu Lityum Polimer (LiPo) bataryalar kullanılmaktadır [4, 5]. NiMh ve NiCd gibi bataryalarla karşılaştırıldığında, LiPo bataryasının yüksek enerji yoğunluğu, düşük deşarj oranı, yüksek hücre voltajı, esnek form faktörü, bellek etkisi eksikliği ve benzeri gibi birçok avantajı bulunmaktadır [6, 7]. LiPo bataryaları, sıcaklık etkisi, elektrik yükü ve kullanım ömrü gibi parametreler yüzünden bazı sorunlar yaşamakta ve buna bağlı olarak düşük sürelerde deşarj olmaktadır. Bu durumun sonucunda İHA'ların uçuş süresini azalmaktadır [8].

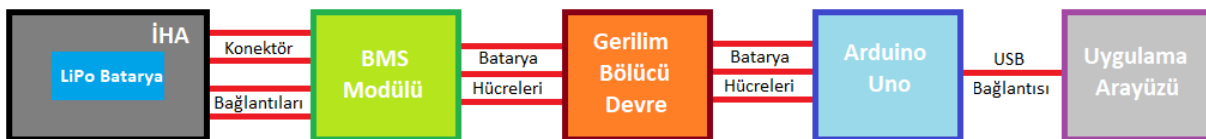
LiPo bataryalarda depolanan enerjinin daha verimli kullanılması ve bataryanın dengeli şarj/deşarj işleminin gerçekleştirilmesi için Batarya Yönetim Sistemleri (BMS: Battery Management Systems) kullanılmaktadır [1]. BMS'ler, LiPo bataryalar için anahtar modülü görevi görürler. Şarj/deşarj parametrelerinin kontrolü, batarya hücrelerinin voltajlarının ve şarj durumunun ölçümü, batarya hücrelerinin şarj/deşarj özelliklerinin eşitlenmesi, ana denetleyiciye batarya paketinin durumu hakkında bilgi verilmesi gibi işlemleri yapmaktadırlar. Bataryalara gelebilecek olası hasarlara karşı da kritik önlemler alabilmektedirler [6]. Bu görevleri gerçekleştirmek için BMS'ler, bataryanın şarj durumunu (SoC: State of Charge) ve Kalan Kullanım Ömrü (RUL: Remaining Useful Life) [9] hakkındaki bilgileri kullanmaktadır.

Şarj işlemi esnasında balanslı veya balanssız olarak şarj edilen bataryaların hücrelerinde ısınma, şişme ve yapısal olarak bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu gibi problemlerin meydana gelmesi bataryaların kullanım ömrünün kısalmasına veya tamamen bozulmasına neden olabilmektedir. Bataryaların şarj işlemi sırasında takip edilmesi ile meydana gelebilecek hücresel ısınma, şişkinlik ve yapısal bozulmalara karşı müdahaleler yapılarak ortaya çıkabilecek problemler engellenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, İHA'larda kullanılan LiPo bataryasının BMS modülü aracılığıyla şarj edilmesi ve şarj işlemi sırasında bataryanın hücre gerilim değerlerinin gerçek zamanlı olarak takip edilebilmesine imkân sağlayacak bir sistem gerçekleştirilmiştir. Sistemde denetleyici olarak Arduino Uno mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Sistemde bataryanın hücrelerinden gelen gerilim değerlerini almak için gerilim bölücü devre kullanılmıştır. LiPo bataryasının şarjı esnasındaki hücre gerilim değerlerini izlemek için bir arayüz tasarlanmıştır. Arduino ile arayüz arasında kablolu veri aktarım işlemi yapılmıştır. Elde edilen veriler grafiksel olarak kullanıcıya aktarılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma, düşük maliyetli bir izleme sistemi sunmasının yanı sıra LiPo bataryasının balanslı bir şekilde şarj edilmesi ile performansının artırılmasına imkân sağlamaktadır.

## II. BATARYA ŞARJ İZLEME SİSTEMİ MATERYALLERİ

İHA bataryalarının şarj edilmesi esnasında takip edilmesine imkân vermek amacıyla gerçekleştirilen sistemin çalışma prensibi Şekil 1'de verilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde, İHA üzerinden bulunan bataryayı şarj etmek için bir şarj pedi kullanılmıştır. Şarj işlemi, İHA'nın bacaklarında bulunan konektörlerin şarj pedine temas etmesiyle başlamaktadır. Temas işleminden sonra BMS modülüne bağlı olan LiPo bataryasına enerji akışı başlatılmaktadır. LiPo bataryasındaki hücrelerin sahip oldukları gerilim değerleri BMS modülü aracılığıyla alınmaktadır. Hücrelerden elde edilen gerilim değerleri, gerilim bölücü devreler aracılığıyla Arduino Uno kontrolcü kartına analog olarak gönderilmektedir. Arduino kartı içerisinde işlenen veriler seri haberleşme yöntemi ile uygulama arayüzüne gönderilir. Uygulama arayüzü ile anlık LiPo bataryasının hücre bilgileri kullanıcıya aktarılmaktadır.



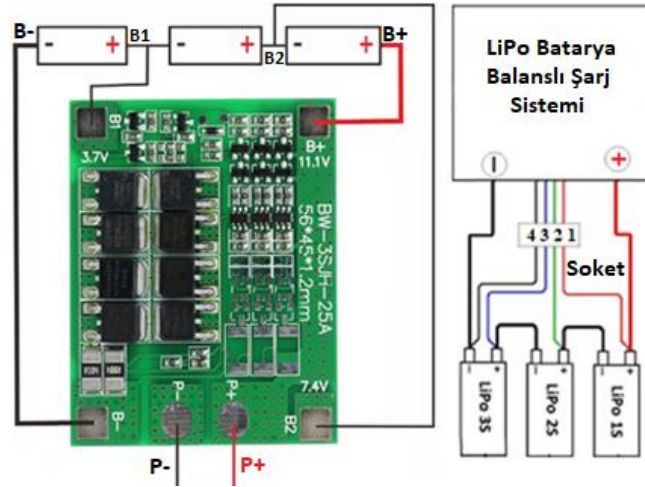
Şekil 1. Batarya Şarj İzleme Sisteminin Çalışma Prensibi

### A. Batarya Yönetim Sistemi (BMS: Battery Management Systems)

Elektronik cihazlarda kullanılan çok hücreli Lityum bataryaların performanslarını belirleyen en önemli hususlardan birisi, hücrelerdeki şarj dengesidir. Bu durum bataryaların kullanım ömrüne etki etmektedir. Batarya yönetim sistemlerinin, ana işlevi batarya şarj dengesinin korunmasıdır [10]. BMS, şarj edilebilir bir pil hücrelerini veya pil paketini yöneten elektronik bir sistemdir. Batarya sistemlerinde bir koruyucu gibi davranarak bataryaların o andaki çalışma durumlarını inceleyip optimum çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar. Her bir hücredeki ortaya çıkan uyumsuzlukları, diğer elektriksel ve termal anormallikleri izleyerek bataryanın güvenliğini ve verimliliğini sağlar [11].

BMS kartları, batarya verimini en üst düzeyde tutmak ve şarj esnasında aşırı şarj durumunu ortadan kaldırmak amacıyla hücrelerdeki sıcaklık, akım, voltaj gibi parametrelerdeki değişiklikleri takip ederler. Yapılan ölçüm ve hesaplamaların ardından optimal değerlerin aşılması durumunda gerektiğinde şarj sistemine müdahalede bulunarak sistemin korunmasını sağlarlar. Gerekli durumlarda en yüksek gerilimli hücreden en düşük gerilimli hücreye enerji akışı sağlanmaktadır. Şekil 2’de BMS kartı ile LiPo bataryası arasındaki bağlantı diyagramı verilmiştir. Kart üzerindeki;

- B- girişi LiPo’nun hem “-” hattına hem de balans soketinin 4. soketine hattının girişine,
- B1 hattı balans soketinin 3. soketine,
- B2 hattı balans soketinin 2. soketine,
- B+ hattı ise Balans soketinin 1. soketine hem de LiPo’nun “+” hattına bağlanmaktadır.
- P+ ve P- hatlarına şebekeden verilen gücün “+” ve “-” hatları bağlanmıştır.



Şekil 2. BMS kartı ile LiPo Batarya Arasındaki Bağlantı Diyagramı

### B. Arduino Uno Mikrodenetleyicisi

Açık kaynaklı bir elektronik platform olan Arduino, günümüzde donanımsal ve yazılımsal pek çok projede kullanılabilir hale gelmiştir. Üzerinde bulunan pinler aracılığıyla çeşitli donanımların kullanılmasına imkân sağlayan kart, IDE ortamında geliştirilen yazılımlar ile kontrol edilebilmektedir. Arduino'nun basit, anlaşılması ve kullanımı kolay bir sözdizimi vardır [12]. Arduino Uno kartı, en sık kullanılan kartlardan bir tanesidir. Kart içerisinde, 16 MHz Atmega328 işlemcisi, 32 KB program hafızası, 1 KB EEPROM, 2 KB RAM, 14 dijital, 6 analog G/Ç pini bulunmaktadır [13]. Kart sahip olduğu donanımsal birimler aracılığıyla IoT sistemleri, elektronik araçlar, gömülü uygulamalar gibi pek çok projelerde kullanılmaktadır.

### C. Gerilim Bölücü Devre

Gerilim bölücü devreleri, girişe uygulanan yüksek seviyedeki voltajları, alçak seviyelere indirmek için kullanılan devrelerdir. Gerilim bölücü işlemi genel olarak iki adet direnç kullanılarak yapılmaktadır. Dirençlerin kullanıldığı bölücü devrelerinde yüksek seviyeli giriş gerilimleri farklı voltaj dilimlerine ayrılır ve ölçülebilir bir seviyede çıkış gerilimi elde edilir [14]. Çıkış gerilimi, Denklem (1) ile hesaplanmaktadır.

$$V_{Out} = (V_{In} \times R_{Alt}) / (R_{Ust} + R_{Alt}) \quad (1)$$

Mikroişlemcilerde, sensör değerlerini ölçmek için gerilim bölücü devreleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan Arduino kartının girişi seviyesinin maksimum 5 volt olması ve LiPo batarya hücrelerinden elde edilen voltaj değerlerinin (maksimum 4.2, 8.4 ve 12.6) olması sebebiyle herhangi bir problem yaşanmaması için gerilim bölücü devresi kullanılmıştır. Bu devre aracılığıyla batarya hücrelerinin maksimum voltaj seviyesi 4.2 volt olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede, Arduino kartında meydana gelebilecek elektriksel problemlerin önüne geçilmiştir.

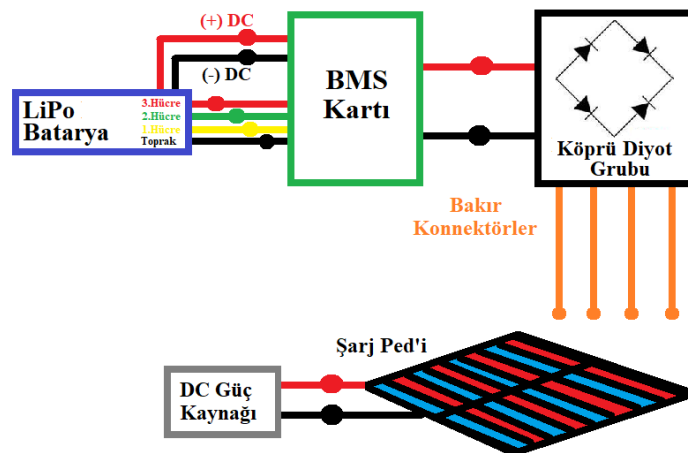
#### D. Kullanıcı Arayüzü

Çalışma kapsamında akım ve gerilim değerlerinin gerçek zamanlı ve anlık olarak izlenmesini sağlamak amacıyla bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Masaüstü uygulaması olarak gerçekleştirilen arayüz, C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Arduino Uno kartı ile arayüz arasında seri haberleşme protokolü ile veri alışverişi yapılmaktadır. Arayüzde ilk olarak, Arduino Uno mikrodenetleyici kartı ile bilgisayarın seri haberleşmesini sağlayan port kontrolü ve bağlantısı yapılmaktadır. Seri port bağlantısının yapılmasından sonra, Arduino kartı aracılığıyla LiPo bataryasının voltaj değerleri 2 sn. aralıklarla arayüze gönderilmektedir. Seri port üzerinden gelen hücresel ve toplam voltaj değerlerine ek olarak anlık tarih ve saat bilgileri eklenerek arayüz üzerinden kullanıcılara aktarılmaktadır. Alınan veriler arayüz üzerinden takip edilmekte ve kullanıcı tarafından kaydedilmektedir. Kaydedilen veriler daha sonra grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır.

### III. BATARYA ŞARJ İZLEME SİSTEMİNİN TASARIMI

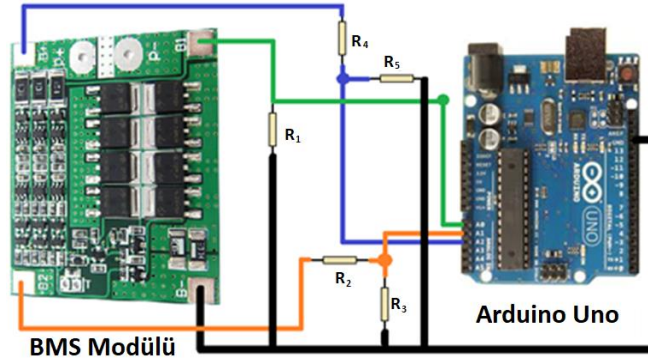
Batarya şarj izleme sistemi iki aşamalı olarak yapılmaktadır. İlk aşamada İHA, şarj pedine iniş yaptığında şarj işlemi başlayacak, ikinci aşamada ise şarj esnasında takip işlemi yapacak olan sistem devreye girecektir. Geliştirilen şarj sisteminde İHA'nın ayaklarına bağlı konektörler ile şarj ped'inin, İHA'nın iniş şekline bakılmaksızın ve kısa devre olma ihtimalini ortadan kaldırarak, temas etmesiyle şarj işleminin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple İHA üzerindeki konektörlerin uçlarına köprü diyotları bağlanmıştır. Konektörlerin pozitif uçları bir diyottayken, negatif uçları ise diğer diyota bağlanmıştır. İniş sırasındaki kutup değişikliklerinden meydana gelebilecek kısa devre durumları bu şekilde aşılmaktadır.

LiPo bataryasının BMS kartı ve şarj ped'i aracılığıyla şarj edilmesi işlemine ait blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Geliştirilen sistemde, ilk olarak LiPo batarya ile BMS kartı, güç kabloları ve hücre bilgilerini veren balans kablosu aracılığıyla birbirlerine bağlanır. Bağlantı sonrası LiPo bataryasına ait hücrelerin gerilim değerleri ve toplam gerilim değeri BMS kartı aracılığıyla okunabilmektedir. İkinci adımda, BMS kartı ile köprü diyot grubu arasında güç kabloları ile bağlantı yapılarak LiPo bataryaya şarj ped'i üzerinden güç verecek sistemin ilk aşaması gerçekleştirilmiş olur. Köprü diyot grubuna bağlanan ve İHA'nın bacaklarına yerleştirilen bakır konektörlerin, şarj ped'ine teması halinde güç aktarımı gerçekleştirilerek BMS kartı aracılığıyla LiPo bataryanın balanslı bir şekilde şarj edilmesi sağlanacaktır.



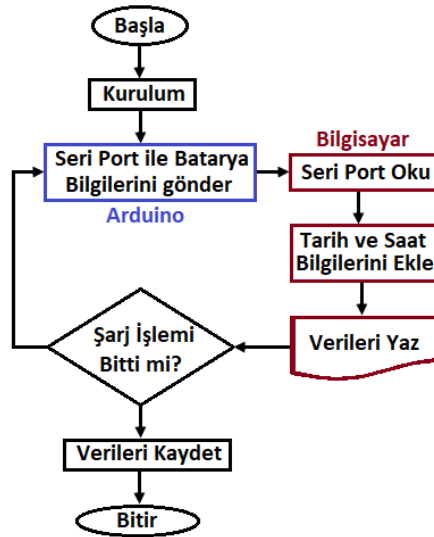
Şekil 3. Geliştirilen Şarj Sistemi Blok Diyagramı

LiPo bataryasının hücre gerilim bilgilerinin, BMS ve Arduino kartları aracılığıyla transfer edilmesi işleminin blok diyagramı Şekil 4’te gösterilmiştir. BMS kartı üzerinden elde edilen hücre voltaj bilgileri gerilim bölücü devre aracılığıyla Arduino kartının analog girişlerine aktarılmaktadır. Kart içerisinde yapılan işlemler ile hücre bilgileri elde edilmekte ve seri iletişim protokolü aracılığıyla kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır.



Şekil 4. Şarj Takip Sisteminin Blok Diyagramı

LiPo bataryasının şarj takip sisteminin algoritması Şekil 5’te verilmiştir. Algoritmada ilk olarak sensör kalibrasyonları, seri haberleşme bağlantılarının yapılması gibi kurulumlar yapılmaktadır. Şarj işleminin başlamasının ardından Arduino kartı aracılığıyla seri port üzerinden batarya hücre bilgileri gönderilmektedir. Bilgisayar arayüzü ile seri port üzerinden gönderilen veriler okunmakta ve bu verilere ek olarak tarih ve saat bilgileri eklenmektedir. Elde edilen son kullanıcı verisi ekrana yazdırılarak kullanıcının şarj işlemini takip etmesi sağlanmaktadır. Şarj işlemi bitene kadar bu adımlara devam edilmektedir. Şarj işleminin bitiminde sonra veriler kaydedilerek şarj grafikleri elde edilmektedir.



Şekil 5. Şarj Takip Sisteminin Algoritması

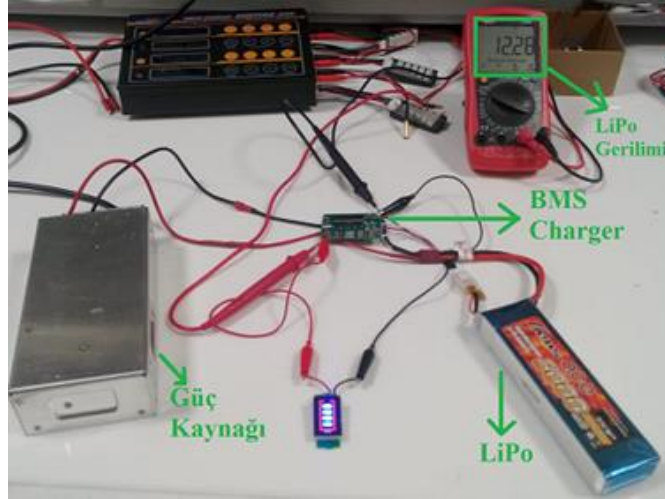
#### IV. UYGULAMA TESTLERİ

Çalışma kapsamında dört farklı test işlemi gerçekleştirilmiştir. Test işlemleri aşağıdaki adımları takiben yapılmıştır.

1. BMS Kartı ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi
2. BMS Kartı ve Şarj Ped'i ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi
3. BMS ve Arduino ile LiPo Bataryasının Hücre Bilgilerinin Takip Edilmesi
4. Gerçek Zamanlı Batarya Hücre Bilgilerinin Takip Edilmesi

### A. BMS Kartı ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

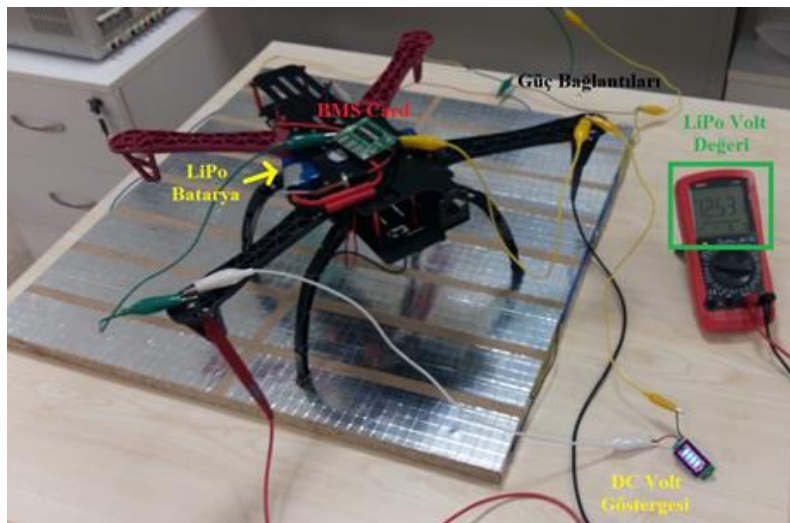
Şekil 6'da BMS şarj kartı ile LiPo bataryaların şarj edilmesine yönelik görsel verilmiştir. Güç kaynağından gelen gerilim değeri ve akım değerleri BMS kartı üzerinden LiPo pili şarj etmek amacıyla kullanılmakta ve balanslı şarj etme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ölçümler esnasında LiPo gerilimi "12.28V" olarak görülmektedir. Bu çalışma ile LiPo bataryasının DC gerilim üzerinden şarj edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Şarj işlemleri sırasında LiPo bataryasının içerisindeki her hücrenin eşit değerlerde bulunması bataryanın zarar görmemesi için balanslı şarj işlemi yapılmıştır.



Şekil 6. BMS Kartı ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

### B. BMS Kartı ve Şarj Ped'i ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

Donanımsal olarak şarj ped'i üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik görsel Şekil 7'de verilmiştir. DC güç kaynağı ve şarj ped'i arasında kablo bağlantıları yapılarak şarj ped'ine güç verilmiştir. Şarj ped'i üzerindeki "+" ve "-" güç hatları için alüminyum folyolar kullanılmıştır. Konektörlerin bu hatlar ile temas etmesi halinde BMS kartına elektrik aktarımı yapılmaktadır. BMS kartı aracılığıyla LiPo bataryanın balanslı bir şekilde şarj edilmesi sağlanmaktadır. Görseldeki voltmetrede görülen "12.531 V" değeri LiPo bataryanın anlık olarak sahip olduğu voltaj değerini göstermektedir.



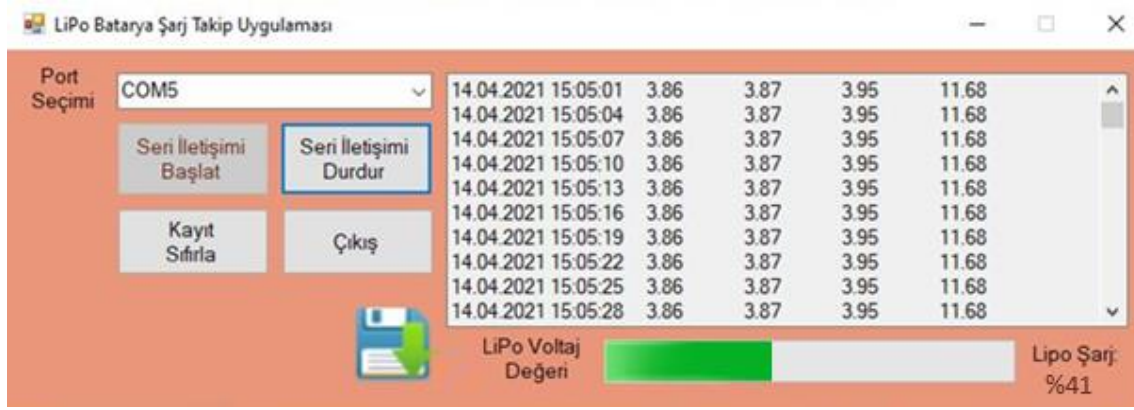
Şekil 7. BMS Kartı ve Şarj Ped'i ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi



### C. BMS ve Arduino ile LiPo Bataryasının Hücre Bilgilerinin Takip Edilmesi

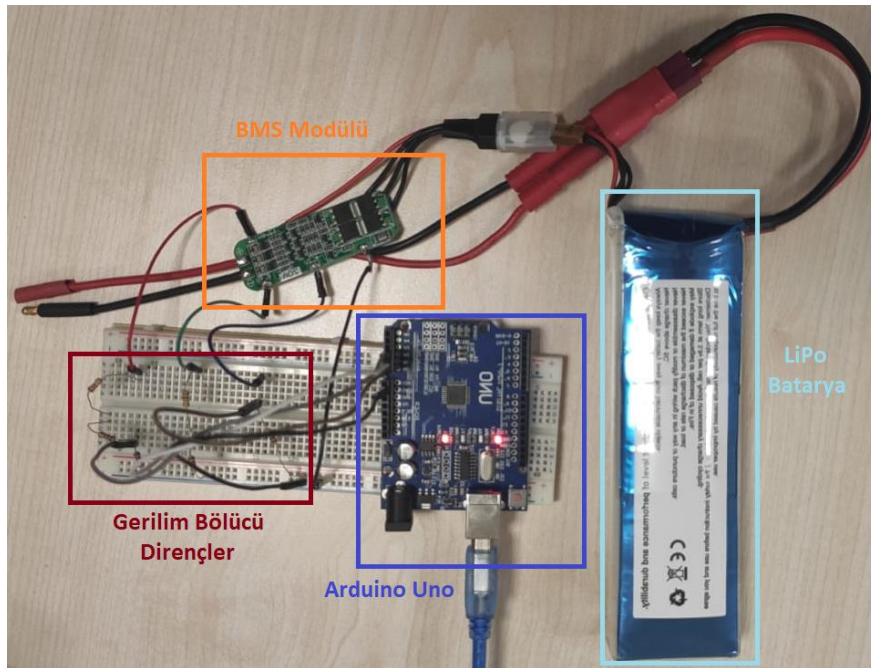
LiPo batarya hücre voltaj değerlerinin arayüz üzerinden takibine yönelik görsel Şekil 8’de verilmiştir. BMS kartı aracılığıyla Arduino kartına analog gönderilen batarya gerilim değerleri, Arduino içerisinde dijital çevrim işlemlerine tabi tutulmaktadır. Voltaj gerilim değerleri elde edildikten sonra, seri haberleşme birimi aracılığıyla arayüze gönderilmektedir. Arayüzde sırasıyla 1.hücrenin, 2.hücrenin, 3.hücrenin ve toplam gerilim değerleri gösterilmektedir. Anlık takip yapılabilmesi için o anki tarih ve zaman bilgileri de eklenerek veri satırları oluşturulup ekrandaki forma yazdırılmaktadır. Arayüzde, LiPo bataryasının sahip olduğu gerilim miktarı yüzdelik olarak gösterilmektedir. Yüzde hesabı işlemi yapılırken, LiPo bataryasının en verimli çalıştığı alt ve üst seviyeler olan 11.1V ve 12.6V değerleri seçilmiştir. Yüzde hesabı formülü Denklem 2’de verilmiştir.

$$LiPo\% = ((V_{LiPo} - V_{AltSeviye}) / (V_{UstSeviye} - V_{AltSeviye})) * 100 \quad (2)$$



Şekil 8. Arayüz ile batarya hücrelerinin takibi

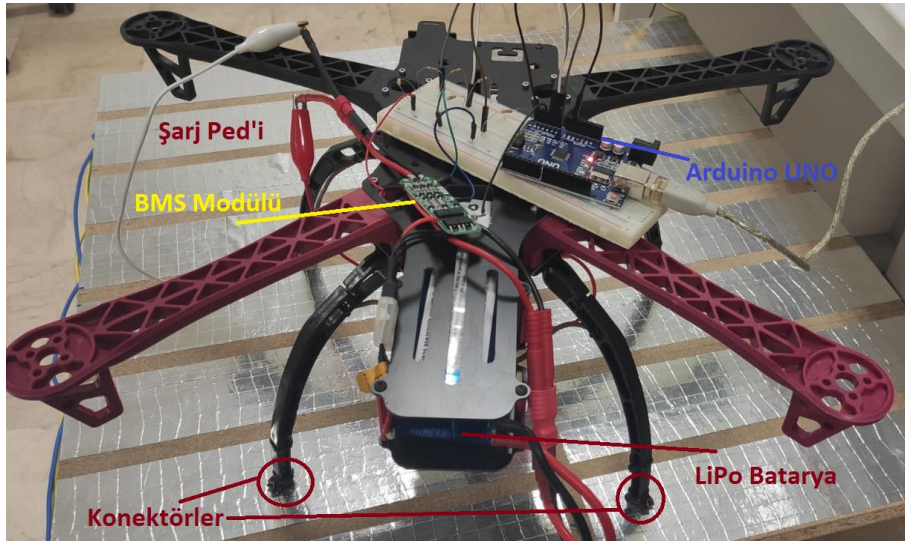
Arayüz üzerinden takip işlemi yapılırken kullanılan devre, Şekil 9’da verilmiştir. Şekilde BMS kartı, gerilim bölücü devre, Arduino kartı ve LiPo bataryasının bağlantıları verilmiştir.



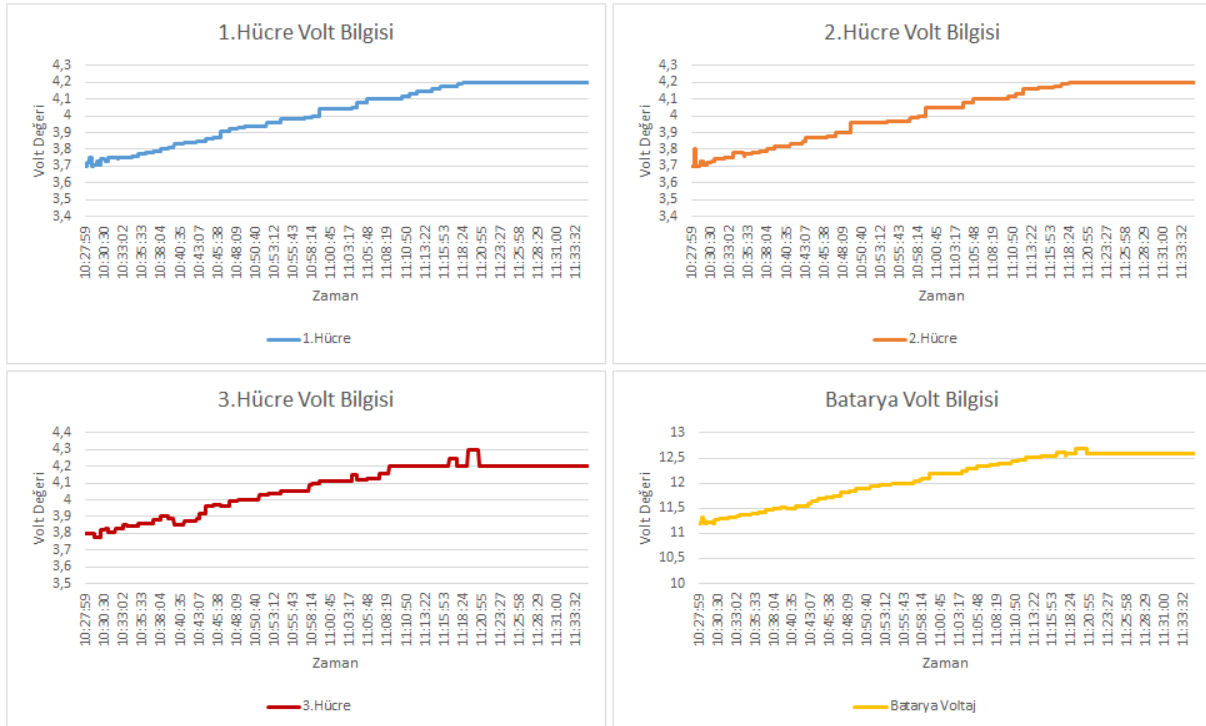
Şekil 9. Şarj takip devresi

#### D. Gerçek Zamanlı Batarya Hücre Bilgilerinin Takip Edilmesi

LiPo batarya gerilim bilgilerinin şarj esnasında takip edilmesi işlemi çalışma kapsamında temel amaç olarak ele alınmıştır. Bu amacı gerçekleştirmeden önce belirli test aşamalarından başarıyla geçilmiş ve uygulamanın son adımında şarj takip sistemi bütünsel olarak ele alınmıştır. Bu adımda şarj ped'i aracılığıyla şarj edilen LiPo bataryasının anlık verileri arayüze gönderilmiş ve şarj işleminin sonucunda alınan veriler üzerinden şarj grafikleri elde edilmiştir. Şekil 10'da şarj işlemine ait görsel verilmiştir. Şarj ped'i üzerindeki İHA'nın bacaklarına bağlanan konektörler üzerinden enerji akışı sağlanmaktadır. Elde edilen enerji BMS kartına bağlı olan bataryayı şarj etmek için kullanılmaktadır. BMS kartı üzerinden yapılan şarj işlemi esnasında paralel olarak hücre bilgileri de Arduino kartına gönderilmektedir.



Şekil 10. Batarya şarj ve anlık hücre voltajı takip sistemi



Şekil 11. LiPo Batarya Şarj Grafikleri

. Şarj işlemlerinde güvenlik amacıyla gerçek donanımlı İHA yerine sadece İHA çerçevesi kullanılmıştır. Şarj işlemi sırasında arayüze gönderilen hücre voltaj değerleri ve toplam batarya voltaj değeri, şarj işleminin bitiminden sonra kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler, grafiksel olarak Şekil 11'de verilmiştir. Grafiklerde, LiPo bataryasının hücresel ve toplam voltaj değerleri gösterilmektedir. Yapılan şarj işlemi balanslı olarak gerçekleştirilmiştir ve hücrelerdeki voltaj seviyesindeki artış miktarı eşit seviyeli olarak görülmektedir.

## V. SONUÇ

LiPo bataryalar yüksek yoğunluklu enerjileri, küçük boyutları, düşük ağırlıkları ve tekrar tekrar şarj edilmeleri sebebiyle elektronik uygulamalarda sıkça kullanılan bataryalardan bir tanesi haline gelmiştir. Hücreli yapıya sahip LiPo bataryaların şarj işlemleri sırasında, yüksek akım çekmesi, yüksek sıcaklık ve basınç, kaçak akım riski, farklı hücre seviyeleri gibi bazı problemler meydana gelebilmektedir. Bu problemler bataryanın yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu gibi sorunların üstesinden gelmek amacıyla batarya yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Batarya yönetim sistemi (BMS) bir veya daha çok hücreden oluşan batarya hücrelerinin şarj ve deşarj işlemleri sırasında bataryaların denetimini ve yönetimini yapan sistemlerdir. Batarya hücrelerinde akım, gerilim, sıcaklık vb. önemli değerlerin ölçümünü yaparak, uygun değerlerin dışına çıkıldığında sisteme müdahale eden yapılardır. BMS'ler, şarj edilebilir bataryaların kontrol ve denetimini yapan elektronik sistemlerdir.

Bu çalışma kapsamında, BMS modülü aracılığıyla LiPo bataryasının şarj edilmesi ve şarj esnasında LiPo bataryasının hücrelerindeki voltaj değerlerinin takip edilmesine imkân sağlayan bir şarj sistemi geliştirilmiştir. Şarj işlemi esnasında BMS modülü ile Arduino kart arasında kurulan gerilim bölücü devresiyle batarya hücrelerinin ayrı ayrı voltaj değerleri alınmış ve analog değer olarak Arduino kartına gönderilmiştir. Arduino içerisinde yapılan dönüşüm işlemlerinden sonra elde edilen voltaj değerleri seri haberleşme protokolü ile kullanıcılar için geliştirilen arayüze gönderilmiştir. Arayüz ile şarj işlemi esnasında hücre voltaj bilgileri anlık ve gerçek zamanlı olarak kullanıcılara gösterilmektedir. Gerçek zamanlı takip işlemi ile şarj işleminde meydana gelebilecek problemlere anında müdahale edilip şarj işleminin kesilmesi sağlanabilmektedir.

Bu işlemlerin bir araya getirilmesi esnasında adım adım test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Test işlemlerinde genel olarak, şarj süreçlerinin başarılı bir şekilde yapılması ve veri transferinin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. Test adımları başarılı bir şekilde geçildikten sonra uygulamanın son adımı olan birleştirme işlemine geçilmiştir. Son adımda hem şarj işlemi hem de voltaj değerlerinin takibi işlemi yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda, bataryanın akım ve sıcaklık değerlerinin takibi ve tam donanımlı bir İHA kullanılarak şarj işleminin yapılması planlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2017-02.BŞEÜ.03-05 no'lu proje kapsamında, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nin verdiği destek için teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- [1] Sierra, G., Orchard, M., Goebel, K. & Kulkarni, C. (2019). Battery health management for small-size rotary-wing electric unmanned aerial vehicles: An efficient approach for constrained computing platforms. *Reliability Engineering and System Safety*, 182, 166–178.
- [2] Legowo, A., Sulaeman, E. & Rosli, D. (2019). Review on System Identification for Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. Dubai, United Arab Emirates, 8.
- [3] Hayat, S., Yanmaz, E. & Muzaffar, R. (2016). Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18, 2624-2661.
- [4] Bronz, M., Moschetta, J.M., Brisset, P. & Gorraz, M. (2009). Towards a Long Endurance MAV. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 1, 241-254.
- [5] Hassanalian, M. & Abdelkefi, A. (2017.) Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- [6] Yang, X., Jiang, H. & Deng, Z. (2015). Design of a Battery Management System Based on Matrix Switching Network. *IEEE International Conference on Information and Automation*, Lijiang, China, 141.
- [7] Cao, J. & Emadi, A. (2011). Batteries need electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(1), 7-35.
- [8] Gatti, M., Giulietti, F. & Turci, M. (2015). Maximum endurance for battery-powered rotary-wing aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 45, 174–9.

- [9] Pola, D. A., Navarrete, H. F., Orchard, M. E., Rabie, R. S., Cerda, M. A., Olivares, B. E., Silva, J. F., Espinoza, P. A. & Perez, A. (2015). Particle-filtering-based discharge time prognosis for lithium-ion batteries with a statistical characterization of use profiles. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(2), 710–20.
- [10] Baronti, F., Fantechi, G., Leonardi, E., Roncella R. & Saletti, R. (2011). Hierarchical platform for monitoring, managing and charge balancing of LiPo batteries. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Chicago, IL, USA, 6.
- [11] Carkhuff, B. G., Demirev, P. A. & Srinivasa, R. (2018). Impedance-Based Battery Management System for Safety Monitoring of Lithium-Ion Batteries. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(8), 6497-6504.
- [12] Marhoon, H. M. & Taha I. A. (2018). Design and Implementation of Intelligent Circuit Breaker for Electrical Current Sensing and Monitoring. *International Journal of Core Engineering & Management*, 4(11), 39-49.
- [13] Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E. & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364.
- [14] Merev, A. & Kalenderli, O. (2006). 100 ppm'den Küçük Ölçüm Belirsizliğine Sahip 100 kV Yüksek Doğru Gerilim Bölücüsü. *İTÜ Dergisi/D - Mühendislik*, 5(3), 39-50.

Araştırma Makalesi – Research Article

## Bilecik’te Tüketime Sunulan Ayva Lokumlarının Mikrobiyolojik ve Kimyasal Kalitesinin Araştırılması

### Investigation of Microbiological and Chemical Quality of Quince Delights Offered for Consumption in Bilecik

Alper Kürşat Demirkaya<sup>1</sup>, Nurşah Gülöksüz Şahin<sup>2\*</sup>

Geliş / Received: 11/05/2021

Revize / Revised: 04/06/2021

Kabul / Accepted: 05/06/2021

#### ÖZ

Bu araştırmada, Bilecik ilinde satışa sunulan geleneksel 20 adet ayva lokumu numunelerinin mikrobiyolojik özelliklerinden toplam aerobik mezofilik bakteri, *Enterobacteriaceae*, maya ve küf, koliform grubu, *Salmonella* ile *Staphylococcus aureus* sayısı ve kimyasal özelliklerinden rutubet (%), toplam kül (%), toplam şeker (%) ve pH değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgularda, referans olarak Türk Standartları TS 8444 Lokum Standardı kullanılmış ve lokumlar bu yönden değerlendirilerek hijyenik kaliteleri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Lokum numunelerinin toplam aerobik mezofilik bakteri ile maya ve küf sayıları sırasıyla 1.00–7.95 log kob/g, <1.00-6.60 log kob/g arasında, rutubet (%), toplam kül (%), toplam şeker (%) ve pH oranları sırasıyla %6.88 – 18.59, %0.09–0.42, %82.06–88.40, 5.21–7.85 aralığında bulunmuştur. Örneklerin hiçbirinde *Staphylococcus aureus* tespit edilmemiştir. Elde edilen bulgulara göre; 3 (%15.00) lokum örneği toplam aerobik mezofilik bakteri, *Enterobacteriaceae*, koliform grubu bakteri ve *Salmonella* sayıları yönünden, 5 (%25.00) lokum örneğinin rutubet miktarı (%) ve toplam şeker miktarı (%) yönünden Türk Standartları (TS 8444) lokum standardına göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada tespit edilen verilere göre lokum örneklerinin genellikle beklenen hijyenik kalite kriterlerine uygun olmadığı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** Hijyen, Lokum, Mikrobiyolojik Kalite

#### ABSTRACT

In this study, the microbiological properties of 20 traditional quince delight samples offered for sale in Bilecik province include total aerobic mesophilic bacteria, *Enterobacteriaceae*, yeast and mold, coliform group, *Salmonella* and *Staphylococcus aureus* number and chemical properties moisture (%), total ash (%), total sugar (%) and pH values were determined. In the findings obtained, Turkish Standards TS 8444 Turkish Delight Standard was used as a reference and it was tried to reveal the hygienic quality of delight by evaluating them in this respect. Total aerobic mesophilic bacteria, yeast and mold, numbers between 1.00-7.95 log cfu/g, <1.00-6.60 log cfu / g, humidity (%), total ash (%), total sugar (%) and pH ratios of Turkish delight samples, respectively. 6.88-18.59%, 0.09-0.42%, 82.06-88.40%, 5.21-7.85, respectively. *Staphylococcus aureus* was not detected in any of the samples. According to the findings obtained; 3 (15.00%) Turkish delight samples were complied with Turkish Standards (TS 8444) Turkish Standards (TS 8444) in terms of total aerobic mesophilic bacteria, *Enterobacteriaceae*, coliform group bacteria and *Salmonella* counts, moisture content (%) and total sugar content (%) of 5 (25.00%) delight

<sup>1</sup>İletişim: [alperkursorat.demirkaya@bilecik.edu.tr](mailto:alperkursorat.demirkaya@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-7994-7832>)

Gıda İşleme Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Bilecik, Türkiye

<sup>2\*</sup> Sorumlu yazar iletişim: [nursahguloksuz@gmail.com](mailto:nursahguloksuz@gmail.com) (ORCID ID: 0000-0003-0511-4472)

Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans, Bilecik, Türkiye

samples. It has been determined that it is not suitable. According to the data determined in this study, it was found that the delight samples generally did not meet the expected hygienic quality criteria.

**Keywords- Hygiene, Microbiological Quality, Turkish Delight**

## I. GİRİŞ

Lokum, Türk standartları Enstitüsü TS 8844 Lokum standardına göre "şeker, nişasta, su, katkı maddeleri ile hazırlanan lokum kütlesine gerektiğinde çeşni maddeleri, kuru ve/veya kurutulmuş meyveler vb. maddelerin ilavesiyle tekniğine uygun olarak hazırlanan bir mamuldür" diye tanımlanmıştır [1] Dünyanın en eski tatlıları arasında yer alan lokum, temelde şeker ve nişasta hammaddesinden oluşan, kökeni Selçuklulara dayanan, 15. y.y.'dan beri Anadolu'da ve Osmanlı topraklarında bilinen, Osmanlıca boğaz rahatlatan anlamına gelen rahat-ul hulküm olarak adlandırılan uluslararası üne sahip bir Türk tatlısıdır. 18. yüzyılda bir İngiliz turist tarafından Avrupa'ya taşınmıştır ve burada Türk tatlısı veya Türk zevki anlamına gelen "Turkish delight" adıyla tanınmıştır. İlerleyen zamanlarda Balkanlar ve Fransa'da "Lokhum" adıyla uluslararası şekerlik literatüründe yer almıştır [2-6]. Türk Gıda Kodeksi Lokum Tebliği'ne göre de lokum "şeker, nişasta, içme suyu ve sitrik asit veya tartarik asit veya potasyum bitartarat ile hazırlanan lokum kitlesine gerektiğinde çeşitli çeşni maddeleri, kuru ve/veya kurutulmuş meyveler ve benzeri maddelerin ilavesiyle tekniğine uygun olarak hazırlanmış üründür." diye tanımlanmıştır [7]. Lokum üretiminde Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'ne uygun renklendirici ve tatlandırıcılar kullanılmakta ve ceviz, fıstık, fındık, Hindistan cevizi gibi çeşni maddeleride ilave edilebilmektedir [8]. Lokum, ülkemiz dışında Yunanistan, Bosna Hersek, Romanya, Ermenistan ve Arnavutluk'ta da üretilmektedir [3, 4, 9]. Lokum imalatı ülkemizin her ilinde küçük işletmelerce yapılmasına rağmen artan tüketim ve ihracat nedeniyle büyük şekerleme fabrikalarında da üretilmektedir [10]. Lokum üretiminde, üretim aşamalarının son ürün kalitesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Üretilen lokumun istenen kalitede tüketiciye sunulmasında ise paketleme ve depolamanın öneminin büyük olduğu belirtilmiştir. Özellikle uygulanan yanlış depolama koşulları mikrobiyal yükün artmasına neden olabilmektedir [4]. Batu ve Kırmacı [9], lokum üretiminde potansiyel problemlerin; bileşen kusurları, pişirme sırasındaki enerji kayıpları, alet ve ekipmanların hijyen ve paslanma sorunları, personel hijyeni, paketleme ve depolama sorunları olduğunu belirtmişlerdir. Batu ve Kırmacı [9], Zorba ve İpek [11] ile Gök ve Batu [12] yapmış oldukları çalışmalarda lokum üretim hattında HACCP uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Gıda güvenliğinin öneminin arttığı günümüzde, bölgede en çok tanınan ve tüketilen tatlılardan biri olan lokumun mikrobiyal risk profili henüz mevcut değildir. Aynı zamanda, lokum üretimi yapan işletmelerin farklı hammaddeleri kullanarak lokum üretimi yapmasının yanında aynı işletmede bile hammaddelerin değişik karışım oranlarında kullanılarak standart bir ürün üretiminin sürekli olarak sağlanamaması, lokumların kimyasal bileşiminde farklılığa neden olmaktadır. Genellikle ufak çaplı bir sanayi dalı olarak çalışan işletmelerde üretilen lokumda, standart ürün üretiminin sürekliliğini sağlamak oldukça zordur. Bunlara ek olarak uygun olmayan şartlarda muhafaza edilen ürünlerdeki üretim hataları lokumlarda kusurlara neden olabilir. Bu sebeplerden ötürü her zaman standart ve aynı kalitede lokum üretimi yapılamamaktadır. Bu çalışma, Bilecik ilinde tarımsal üretimde önemli yeri olan ve özellikle Bilecik ili Osmaniye ilçesinde üretimi yoğun olan ayvadan üretilen tüketici tarafından tercih edilen ayva lokumunun kimyasal ve mikrobiyolojik kalite kriterlerinin belirlenerek, tüketici sağlığını korumak için alınması gereken önlemlerin tespit edilmesi ve uygulanması, ürünün kalitesini geliştirmeye yönelik çalışmaların yapılması için bir temel oluşturabilmek için gerçekleştirilmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Materyal

Bilecik ilinde faaliyet gösteren satış yerlerinde (şekerli ürün satışı işletmeleri, market ve fabrika satış mağazası) 200 g'lık ambalajlarda tüketime sunulan ambalajlı toplam 20 adet ayva lokum örneği, rutin satış prosedürüne ve ambalaj materyaline müdahale edilmeden rastgele örnekleme metoduna göre temin edilerek soğuk zincir kurallarına uyularak laboratuvara getirilmiş ve analizler tamamlanmaya kadar buzdolabı şartları altında (4 °C) muhafaza edilmiştir.

### B. Metot

Lokum örneklerinin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımında Plate Count Agar (PCA, Merck) kullanıldı. 37±1 °C'de 3 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler değerlendirildi. Koliform grubu bakteri sayımında Violet Red Bile Agar (VRBA, Merck) kullanıldı ve 35±1 °C'de 2 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler değerlendirildi. *Enterobacteriaceae* sayımında Violet Red Bile Dekstroz Agar (VRBD, Merck) kullanıldı

ve  $35\pm 1$  °C'de 2 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler değerlendirildi. *Staphylococcus aureus* sayımında Baird Parker Agar (BPA, Merck) kullanıldı ve  $37\pm 1$  °C'de 2 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler sayıldı. *Salmonella spp.* sayımında Brilliant Green Phenol Red Agar (Merck) kullanıldı.  $37\pm 1$  °C'de 1 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler sayıldı [13]. Maya ve küf sayımında ise Rose Bengal Chloramphenicol Agar (RBC, Merck) kullanıldı.  $22\pm 1$  °C'de 5 gün inkübe edildikten sonra oluşan koloniler değerlendirildi [14]. Lokum numunelerinin rutubet (%), toplam kül (%), toplam şeker (%) ve pH analizleri, Lokum Standardı'nda önerilen metoda göre belirlendi [2].

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma neticesinde, incelenen toplam 20 adet lokum numunesinin; kimyasal özelliklerinin ortalama değerleri Tablo 1'de, mikrobiyolojik özelliklerinin ortalama değerleri (log kob/g) Tablo 2'de ve yüzde dağılımı ile frekans sayıları Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, lokum numunelerinin rutubet (%), toplam kül (%), toplam şeker (%) ve pH oranları sırasıyla %6.88–18.59, %0.09–0.42, %82.06–88.40, 5.21–7.85 aralığında tespit edilmiştir. Türk Standartları Enstitüsü TS 8444 Lokum Standardına göre küp veya dikdörtgen prizma şeklinde meyveli lokumda olması gereken toplam rutubet miktarı en çok %15, toplam şeker (invert şeker olarak) miktarı en az %85 olması gerektiği belirtilmiştir [2]. Tespit edilen bulgular sonucunda, Türk Standartları Enstitüsü TS 8444 Lokum Standardı'na göre lokum numunelerinden 5 (%25.00) lokum örneğinin rutubet miktarı (%) ve toplam şeker miktarı (%) yönünden uygun olmadığı tespit edilmiştir [2]. Tespit edilen veriler örneklerin tümünde farklı oranda olduğu bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda, bazı faktörlere bağlı olarak lokumların kimyasal bileşenleri arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir [4, 15, 16, 17, 18]. Farklı araştırmacıların verileri ve çalışmada elde edilen sonuçların farklı olması, lokum üretiminde farklı hammadde ve/veya üretim yöntemlerindeki farklılıklardan ve depolama koşullarından kaynaklandığı öngörülebilir. Toplam aerobik mezofilik bakteri, *Enterobacteriaceae*, maya ve küf, koliform grubu bakteri, *Salmonella* ve *Staphylococcus aureus* sayıları Tablo 2'de verilmiştir. İncelenen lokum numunelerinde toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı 1.00–7.95 log kob/g arasında, numunelerin toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ortalaması ise  $2.96\pm 1.65$  log kob/g'dır. Maya ve küf sayıları  $<1.00-6.60$  log kob/g değerleri arasında ve numunelerin maya ve küf sayısı ortalama değeri ise  $1.06\pm 1.89$  log kob/g'dır. Koliform grubu bakteri sayısı  $<1.00-2.11$  log kob/g arasındadır, örneklerin koliform grubu bakteri sayısı ortalaması  $0.26\pm 0.67$  log kob/g'dır. *Enterobacteriaceae* sayısı  $<1.00-5.00$  log kob/g arasındadır, örneklerin *Enterobacteriaceae* sayısı ortalaması  $0.38\pm 1.16$  log kob/g'dır. *Salmonella* sayısı  $<1.00-2.81$  log kob/g arasındadır, örneklerin *Salmonella* sayısı ortalaması  $0.32\pm 0.74$  log kob/g'dır. Numunelerde, koliform grubu bakteri, *Enterobacteriaceae*, *Salmonella*'ya 20 adet lokum örneğinde, 17 (%85.00) numunede hiç rastlanılmazken, 3 (%15.00) örnekte sırasıyla; en az 1.00 log kob/g ve en fazla 2.11 log kob/g; en az 1.00 log kob/g ve en fazla 5.00 log kob/g; en az 1.30 log kob/g ve en fazla 2.81 log kob/g olarak bulunmuştur. Numunelerin hiçbirinde *Staphylococcus aureus* tespit edilmemiştir. Türk Standartları Lokum Standardı'na göre lokumlarda bulunabilecek toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı en çok 5.00 kob/g, fekal koliform ve *Salmonella spp.* bulunmamalıdır [2]. İncelenen açık 20 adet lokum örneğinden, 3 (%15.00) örnek toplam aerobik mezofilik bakteri, *Enterobacteriaceae*, koliform grubu bakteri ve *Salmonella* sayıları yönünden Türk Standartları lokum standardına göre uygun olmadığı belirlenmiştir [2]. Bu sonuçlara göre hijyen ve sanitasyon kurallarına uyulmadığı anlaşılmaktadır. Çalışmamızda elde edilen bulgular, İpek [18], Doyuran ve ark. [4], Sırken ve Çadircı [19], Özyaral ve ark. [20] ve Molla [21]'nin yapmış oldukları çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

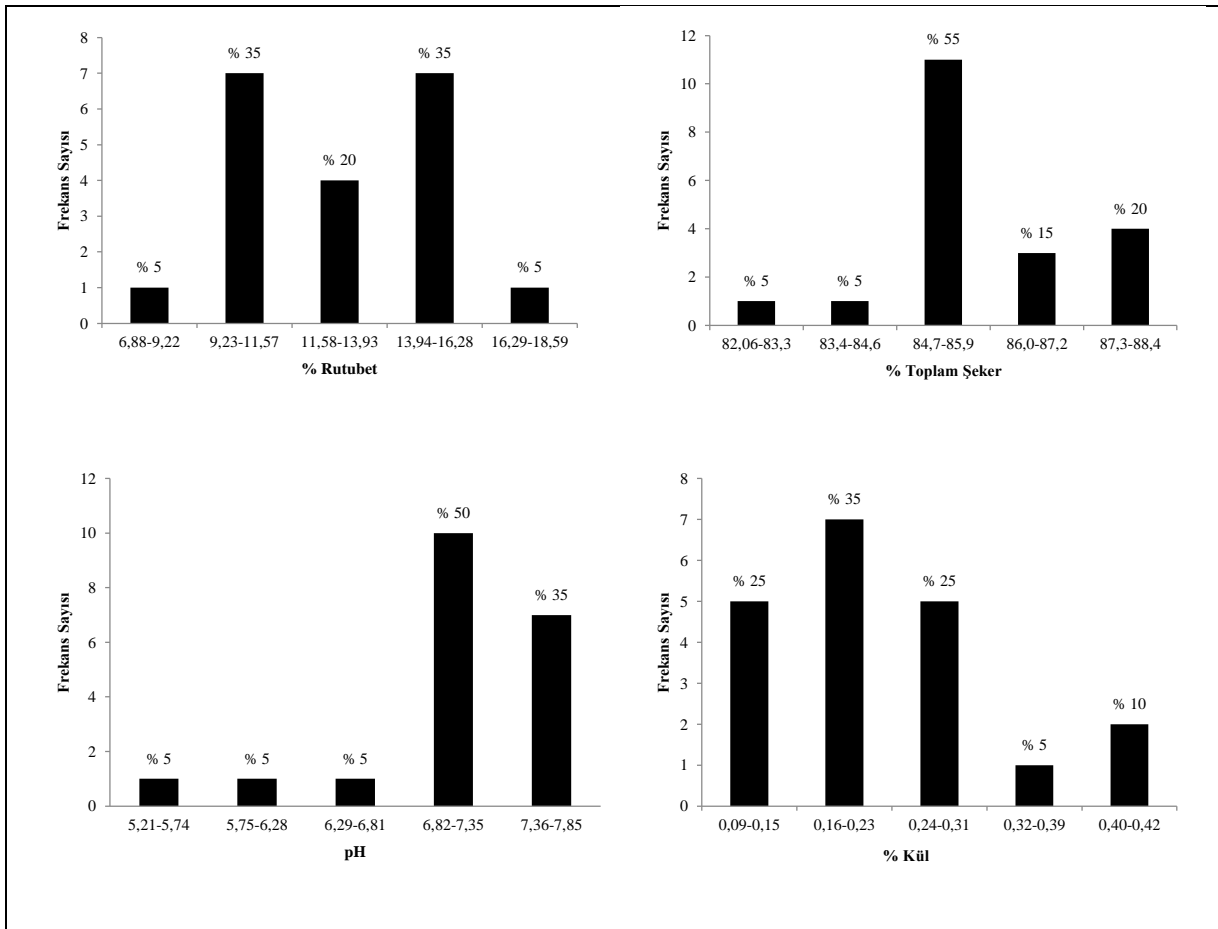
Tablo 1. Lokum numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

Özellik	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama
Rutubet (%)	20	6.88	18.59	$12.81\pm 2.68$
Toplam Kül (%)	20	0.09	0.42	$0.22\pm 0.10$
Toplam Şeker (%)	20	82.06	88.40	$85.94\pm 1.58$
pH	20	5.21	7.85	$7.13\pm 0.60$

Tablo 2. Lokum numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları

Özellik	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama
TMAB*	20	1.00	7.95	2.96±1.65
Koliform grubu bakteri	20	<1.00	2.11	0.26±0.67
Maya ve Küf	20	<1.00	6.60	1.06±1.89
Enterobacteriaceae	20	<1.00	5.00	0.38±1.16
Salmonella spp.	20	<1.00	2.81	0.32±0.74
Staphylococcus aureus	20		<1.00	

\*TMAB: Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri



Şekil 1. Lokum numunelerinin yüzde dağılımı ile frekans sayıları

#### IV. SONUÇ

Sonuç olarak; Bilecik ilinde tüketilen lokumların, üretiminde kaliteli hammadde kullanılmaması, üretim esnasında kullanılan her türlü alet, ekipman, ortam ve personel hijyeninin eksik olması, hijyenik olmayan ambalaj materyallerinin kullanılması veya hijyenik olmayan metotlarla yapılıyor olması ve üretim tekniklerindeki farklılıklar nedeniyle mikrobiyal yükünün, belirlenen sınır değerlerinin üzerinde saptanmasında ve kimyasal özelliklerin farklı olmasında etkilidir. Ürünün raf ömrünün uzatılması ve halk sağlığı açısından, üretimde hijyen kurallarına uyulması ve üretim metotlarında standardizasyon sağlanmalıdır. Bu koşullar ise üretimde gelişmiş teknolojilerin kullanımı ve bilinçli uygulamaların sürekliliği ile mümkün olabileceği öngörülmektedir.



#### KAYNAKLAR

- [1] Altan, A. (2001). Özel Gıdalar Teknolojisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yayınları*, No,178, Adana.
- [2] TSE, (1990). Türk Standartları Enstitüsü, TS 8444 Lokum Standardı, Ankara.
- [3] Batu, A. (2006). Türk lokumu üretimi tekniği ve kalitesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 35-46.
- [4] Doyuran, S. D., Gültekin, M. & Güven, S. (2004). Geleneksel gıdalardan lokum üretimi ve özellikleri. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu. 23-24 Eylül, Van. 334-342.
- [5] Kavak, D. D. & Akpunar, E. B. (2018). Quality characteristics of Turkish delight (lokum) as influenced by different concentrations of cornelian cherry pulp. *J. of Food Processing and Preservation*, 42(7), e13656.
- [6] Kaya, S. & Tattan, G. Ö. (2017). Thermal and Textural Changes of Turkish Delight with Storage Relative Humidity. *J. of Food Science and Engineering*, 7, 186-191.
- [7] TGK, (2020). *Türk Gıda Kodeksi*, Lokum Tebliği, Resmi Gazete. 12.09.2013- 28763, Ankara.
- [8] TGK, (2013). *Türk Gıda Kodeksi*, Gıda Katk Maddeleri Yönetmeliği, Resmi Gazete. 30.05.2013- 28693, Ankara.
- [9] Batu, A. & Kırmacı, B. (2006). Lokum üretimi ve sorunları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 37-49.
- [10] Akpunar, E. (2015). Türk lokumu üretiminde kızılıklık (ergen) meyvesinin doğal renklendirici olarak kullanılması ve depolama stabilitesinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [11] Zorba, M. & İpek, D. (2007). Gıda endüstrisinde risk analizi ve yönetimi. *Akademik Gıda Dergisi*, 5(28), 28-35.
- [12] Gök, V. & Batu, A. (2008). HACCP Sisteminin Lokum Üretiminde Uygulanması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 19-25.
- [13] Harrigan, W. F. (1998). *Laboratory Methods in Food Microbiology*, Third Edition. Academic Pres. London. 217-219
- [14] Jarwis, B. (1998). Comprasion of an improved rose-bengal chlortetracyline agar with other media fort the selective isolation and enumeration of moulds and yeasts in food. *Journal of Applied Bacteriology*, 36, 723-727
- [15] Altuğ, T. & Gönül, M. (1987). Lokumda şeker, kurumadde ve nem tayin metotları üzerine bir çalışma. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1(1), 167.
- [16] Kaftan, A. (2002). Kalorisi düşürülmüş lokum üretiminde bazı katkı maddelerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [17] Çetin, G. (2003). Bazı lokum çeşitlerinin kalite özelliklerindeki değişimlerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [18] İpek, D. (2009). Üretim aşamaları ve farklı ambalajlama tekniklerinin lokum kalitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- [19] Sırıken, B. & Çadırcı, Ö. (2006). Köfte (Pişmemiş), Yas Pasta ve Lokumun Mikrobiyolojik Analizleri. 2. Ulusal Veteriner Gıda Hijyeni Kongresi. 18-20 Eylül, İstanbul. 209-310.
- [20] Özyaral, O., Keskin, Y., Baskaya, R., Lüleci, E. & Gülen, D. (2007). Şeker ve şeker katkılı besin maddelerinde kserofilik-kserotoleran küfler. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 37(1), 43-50.
- [21] Molla, E. M. (2011). Glikoz şurubu ve sakkarozun hammadde olarak kullanılması ile üretilen sade ve sultan lokumlarında kalite bileşenlerinin belirlenmesi ve raf ömrüne etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

*Araştırma Makalesi – Research Article*

## Determination of Stress and Deformation Zones of Historical Mus Murat Bridge

### Tarihi Muş Murat Köprüsü Gerilme ve Deformasyon Bölgelerinin Belirlenmesi

Aylin Özodabaş<sup>1\*</sup>, Cüneyt Artan<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 07/06/2021*

*Revize / Revised: 12/06/2021*

*Kabul / Accepted: 14/06/2021*

#### ABSTRACT

This study was carried out to determine the strength of long span stone bridges and stress areas of a historical bridge by using finite element method during earthquakes, floods, and vehicle traffic. The possible earthquake impact of the region and the behavior of the bridge under the effect of the 2011 Van earthquake were investigated. The stresses that will be caused by hydrostatic and vehicle loading applied to the bridge are dwelled on. This study aimed to shed light on future restoration work. As a result of the vehicle, hydrostatic load and dead load analysis, the biggest deformation occurred in the arch K9, which has the largest arch span. According to the results of the earthquake analysis, maximum deformation occurred in the K10 arch, which is one of the arches with the largest arch span of the bridge. In addition, in earthquakes affected in the X and Z direction, it was observed that the arches and piers in the middle of the bridge, that is, these relatively higher structural elements were subjected to more stress. It has been determined that the A11 pier of the bridge is the structural element exposed to the most pressure.

*Keywords- Historical Bridges, Finite Elements, Linear Analysis*

#### ÖZET

Depremler, seller ve araç trafiği sırasında uzun açıklıklı taş köprülerin dayanımını ve tarihi bir köprünün stres bölgelerini sonlu elemanlar yöntemi ile belirlemek için bu çalışma yapılmıştır. Bölgenin olası deprem etkisi ve 2011 Van deprem etkisi altında köprünün davranışı incelenmiştir. Köprüye taşıt yüklemesi ve hidrostatik yükleme yapıp bu yüklemelerin oluşturacağı gerilmeler üzerinde durulmuştur. Gelecekte yapılabilecek restorasyon çalışmalarına ışık tutulması hedeflenmektedir. Yapılan taşıt, hidrostatik yük ve ölü yük analizleri sonucunda en büyük deformasyon, en büyük kemer açıklığına sahip olan K9 kemerinde meydana gelmiştir. Deprem analiz sonuçlarına göre, köprünün en geniş kemer açıklığına sahip kemerlerden biri olan K10 kemerinde maksimum deformasyon oluşmuştur. Ayrıca X ve Z doğrultusunda etki ettirilen depremlerde köprünün ortasındaki kemer ve ayakların; nispeten daha yüksek olan bu yapı elemanlarının daha fazla gerilmeye maruz kaldığı görülmüştür. Köprünün A11 ayağının en çok basınca maruz kalan yapı elemanı olduğu saptanmıştır.

*Anahtar Kelimeler- Tarihi Köprüler, Sonlu Elemanlar, Lineer Analiz*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [aylin.ozodabas@bilecik.edu.tr](mailto:aylin.ozodabas@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-6011-980X>)

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [madccproje@gmail.com](mailto:madccproje@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-9902-9708>)

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans, Bilecik, Türkiye*

## I. INTRODUCTION

As people adopted settled life, they began to build small passageways to provide access to their certain location. Over time, due to the increase in population and the expansion of residential areas, they developed trade routes to transport the products they make to other settlements and to ensure the transportation of the products found in other settlements to their own regions. They started to build crossings (bridges) to overcome the obstacles on the route of these trade routes. In this sense, bridges have been used as a medium that connects people together for centuries.

Various structures have been built on water passages from past to present for accessibility of transportation. These structures built in the past have generally been masonry structures or bridges with wooden bases and stone piers. Technology of the period that the structures could be built with, a crossing was made with short span arch, even in rivers with very large width. Although the materials and construction techniques that are used today have changed, bridges were built in line with corresponding requirements. Today, wider watercourse spans have been crossed with fewer bridge piers and larger beam spans. Today, the emphasis is on reinforced concrete and steel bridges obtained with modern and technical materials. However, bridges built with stone materials in ancient times are of great importance [1-4].

Numerous studies have been carried out on historical arch bridges up to the present. Most of these studies have focused on examining the structural behavior of the arch form and the arch bridge. Bridges, which were analyzed with simple approaches in the past, have begun to be evaluated using more comprehensive analysis methods with the development of technology, thanks to computer software. Many experimental studies have also been carried out to investigate the applicability of these analysis methods. In recent years, it has been aimed to get closer to the actual behavior by transferring the experimental data taken on real bridges to numerical analysis [5-13]. In order to determine the stress points of the historic Mus Murat Bridge under certain loads, analysis was performed with a finite element method. Many analysis programs are available to perform structural analysis and determine the structural condition of a building. The analyzes made in this study were performed with the help of ANSYS program [14].

### A. Previous Studies

Simos et al. (2018), investigated the effects of earthquakes in distant and near regions according to the location of long span historical bridges in their study. The Konitsa Bridge was chosen as an example and four earthquake parameters in that region were activated. The structure was analyzed nonlinearly and it was found that earthquakes distant from the structure are much more destructive than earthquakes nearby [15].

Chen et al. (2020), Guyue Bridge has been discussed in the study and the wear degree and mechanical properties of the bridge are tried to be determined by ultrasonic CT. It is concluded that the stress effect in historical structure; causes deformation and breakage of the stones and the atmospheric factor decreases the resistance against abrasion and evidently increases the wear rate [16].

Castro et al. (2018), conducted terrestrial laser scanner, ambient vibration tests and minor destructive tests to characterize an early reinforced concrete bridge in Portugal. These tests were carried out after the finite element model was generated. After a series of analyzes the stress points of the bridge were determined [17].

Tanrıverdi (2019), arch and bridge arches are discussed in Tanrıverdi's master's thesis. Tanrıverdi investigated the historical changes of the arches and the different materials used, and examined the advantages and disadvantages of the arches. Finally, Tanrıverdi approached to the Carpiran Bridge in Siirt and modeled the structure with the finite element method in the SAP2000 program. The self-load and earthquake behavior of the bridge were analyzed using the linear elastic analysis method [18].

Arede et al. (2019), conducted a study on determining the mechanical properties of materials used in historical masonry structures. They ran a series of tests with the samples they took on-site from the Monastery of Serra do Pilar and D. Zameiro, Lagoncinha, Vila Fria Bridges in Porto, Portugal. They attempt to determine the mechanical characterizations of the materials used in historical masonry structures with their tests [19].

## II. HISTORICAL MURAT BRIDGE

The Murat Bridge is located in the province of Mus, 10 km away from the city center, on the Varto road route. The location of the historical Murat Bridge on earth is 38.8627 ° latitude 41.5125 ° longitude [20, 21].

The bridge, which was rationalized with 12 arches, is pedestrianized today. The bridge was registered by the Diyarbakır Regional Board for the Conservation of Cultural and Natural Properties in 1990 [22]. The drawings of the historical building are shown in Figures 1 and Figure 2, and its present condition is shown in Figure 3.

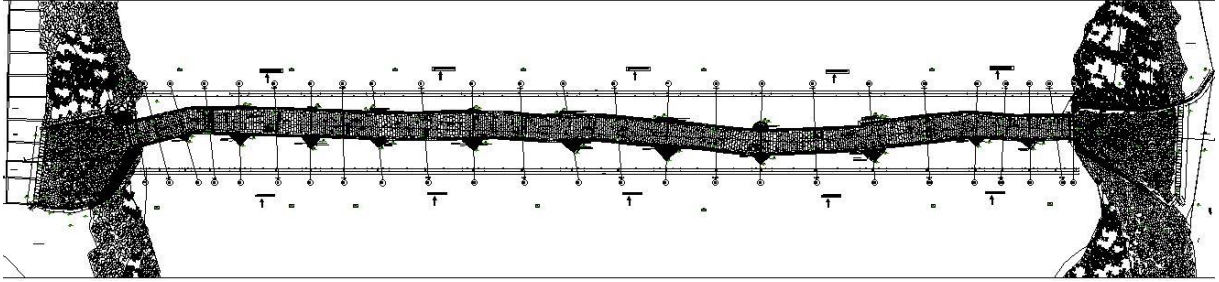


Figure 1. Historical Murat Bridge Plan View (illustrator Mehmet Sakir Guler)

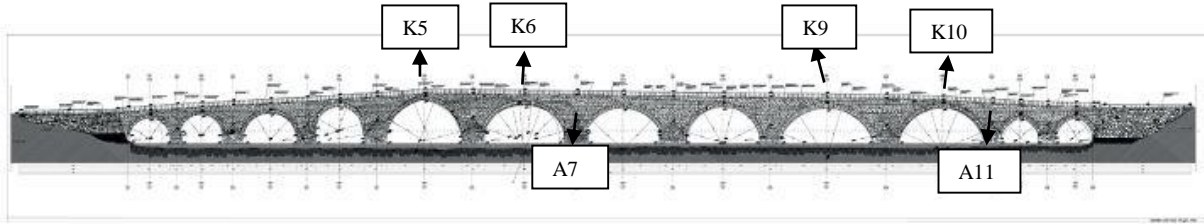


Figure 2. Historical Murat Bridge Overall View (illustrator Mehmet Sakir Guler)



Figure 3. Historical Murat Bridge Upstream View (Present Condition November 2020)

### III. METHOD AND MATERIAL

The solution was reached by using the finite element method in the structural analysis. Finite element method is an essential calculation method for analyzing the statically determinate and indeterminate structural systems under various loads. Complex engineering problems contain solutions of the coequal complexity. This complexity also distracts the solution stage from acuity. The solution of complex problems in the shortest way and closest to the correct solution can be achieved by using the finite element method. Even problems that appear insoluble can be answered by this method [23]. In this study, ANSYS analysis program, which can generate solutions with finite element method, was used.

#### A. Analysis Method

In the finite element model, solid structures are modeled with the SOLID 185 element type. The SOLID 185 element contains 8 nodes and is a type of element that has three-dimensional linear shape functions. At each node, there are a total of 6 degrees of freedom in translation and rotation directions. The schematic of the element is shown in Figure 4 the nodes and number of elements used in the finite element model are given in Table 1.

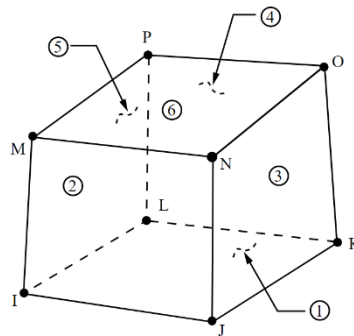


Figure 4. Schematic view of Solid 185 element

Table 1. Number of nodes and elements of the finite element model

	Node	Element
Model	84733	95145

The bridge geometry is meshed according to the Hex dominant method. The general view of the mesh and the bridge model are shown below in Figure 5.



Figure 5. Model and mesh display of Historical Murat Bridge

It is known that the main material used in the historical bridge is basalt stone. While doing this study, a laboratory study was not conducted on the materials used in the structure. The material properties are taken from a previous source on the historic bridge [24]. The material properties used for analysis are given in Table 2.

**Table 2.** Material properties accounted in the analysis of the bridge [24]

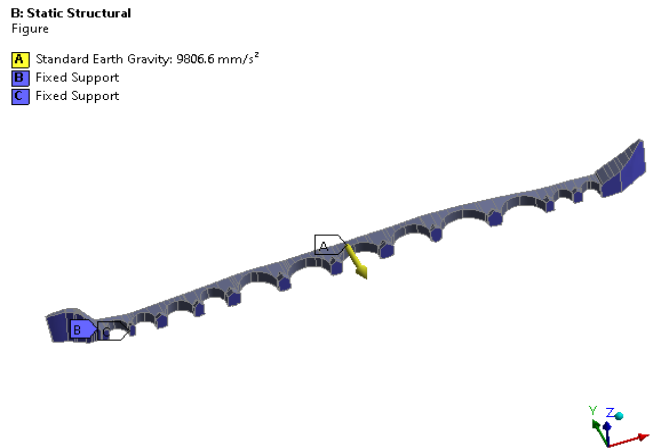
Material property	Elasticity module (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson ratio	Material density (kN/m <sup>3</sup> )	Compressive Strength (MPa)
Arch stone	6960	0,3	26,2	81
Spandrel wall	6960	0,3	26,2	81

## B. Analysis Performed

1. *Dead-load Analysis and Modal Analysis:* In accordance with the material properties entered in the ANSYS program, the analysis of the bridge was made based on the gravitational effect. The structure is modeled as a solid model. No information has been obtained about the filling material used in the building, and the filling material has been recognized and taken into account in 50% resistance of the material used in the tempered wall.

In order to obtain the free vibration behavior of the historic bridge, gravity prestressed modal analysis has been performed. 20 modes were taken into account in the analysis.

The dead-load and modal analysis model of the bridge is presented in Figure 6.

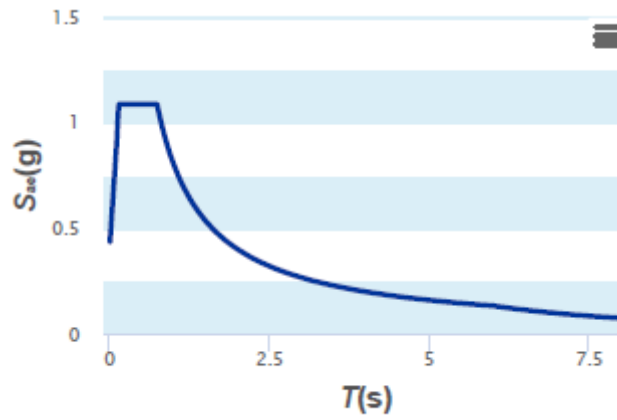


**Figure 6.** Model of dead-load modal analysis

2. *Earthquake Analysis:* In order to determine the dynamic behavior of the historic bridge, spectrum analysis was conducted. The finite element method was used for spectral analysis [25]. Earthquake analysis were made in the frequency domain.

Turkey earthquake analysis was carried out by the 2018 Turkish Building Earthquake Code ("Turkish Earthquake Code," no date) [20, 26, 27]. Since the geotechnical report required for the analysis was not available, the worst-case ground conditions were assumed. Earthquake ground motion level was taken as DD2 (50% probability of over 50 years and a repetition period of 475 years).

To determine the natural vibration periods  $T_A$  and  $T_B$  of the bridge formed during the earthquake; earthquake ground motion level (DD), soil class and the latitude/longitude of the buildings are obtained from the official website of AFAD (General Directorate of Disaster and Emergency).  $T_A = 0.147$  s and  $T_B = 0.737$  s. The latitude and longitude values are found at the point where the bridge is marked on the Turkey earthquake map on the AFAD's website. The acceleration spectrum graphic of the earthquake is presented in Figure 7.



**Figure 7.** TBDY 2018 acceleration spectrum (period-acceleration) [20]

The data of the Van earthquake that occurred in 2011 were taken from a technical report prepared for the earthquake [28]. In Table 3, accelerometer stations measuring earthquake data are presented. One of the measurement stations, Mus Malazgirt station, is approximately 90 km away from the historical bridge. The acceleration spectrum graphic of the earthquake is presented in Figure 8.

**Table 3.** Maximum acceleration values measured in the van earthquake [28]

Province	District	Coordinate	NS (cm/s <sup>2</sup> )	EW (cm/s <sup>2</sup> )	Vertical (cm/s <sup>2</sup> )	Distance (km)
Van	Muradiye	38.99011 43.76302	178,5	168,5	75,5	42
Muş	Malazgirt	39.14394 42.53072	44,5	25,5	95	95
Bitlis	Merkez	38.466 42.15	89,66	102,24	35,51	116
Ağrı	Merkez	39.71978 43.0164	18,45	15,08	7,21	121

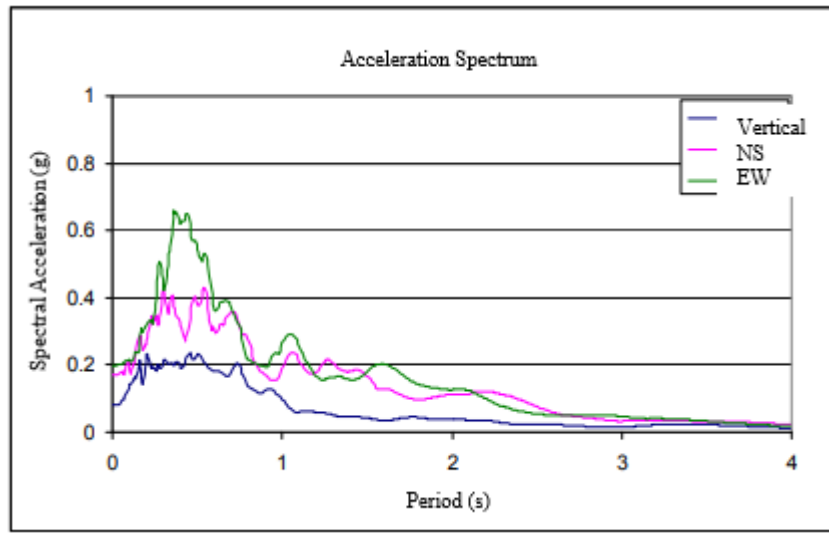


Figure 8. Van acceleration spectrum (period-acceleration) [28]

In Figure 9, the frequency acceleration graphics that are created according to the acceleration response spectra found in the earthquake data and used in the analysis are presented.

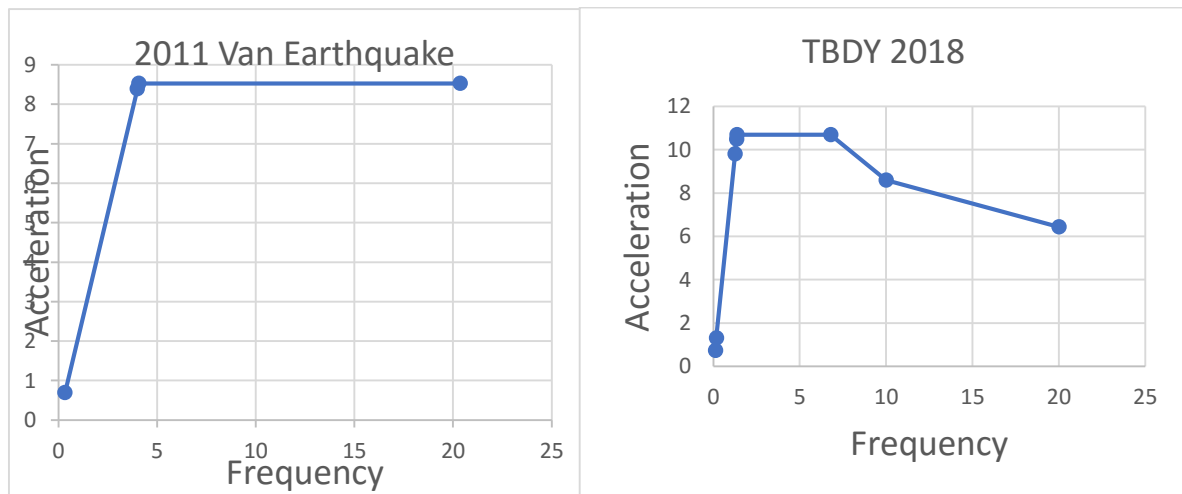


Figure 9. Earthquake data used in the analysis (frequency-acceleration)

3. *Vehicle and Hydrostatic Analysis:* Vehicle analysis was conducted to examine the behavior of the building under vehicle load. H30-S24 vehicles were loaded to the building with certain assumptions. H30-S24 vehicle type and axle spacing are shown in Figure 10. By choosing the minimum axle spacing, 42 vehicles were fitted to the structure and analyses were conducted under the applied pressure. Vehicle load analysis model of the building is presented in Figure 11.



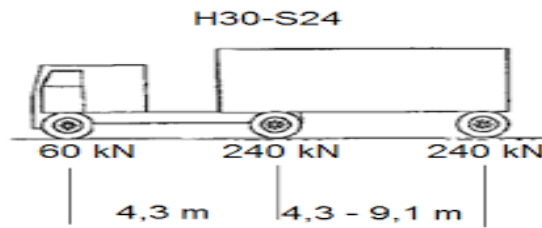


Figure 10. H30-S24 vehicle type

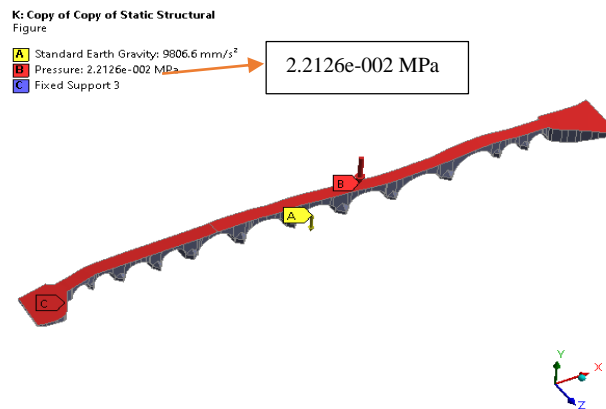


Figure 11. Model of vehicle loading analysis

The historical bridge is located on the riverbed, and there is no information available about the discharge of the river, so the hydrostatic analysis has been conducted with certain assumptions. The analysis was conducted as if there was water at the level of the bridge deck, upstream of the bridge, along the riverbed. The exerted pressure has been increased by 10% taking into account the dynamic effect of water flow. Hydrostatic pressure diagram effected on submerged areas is given in Figure 12 and hydrostatic analysis model is given in Figure 13.

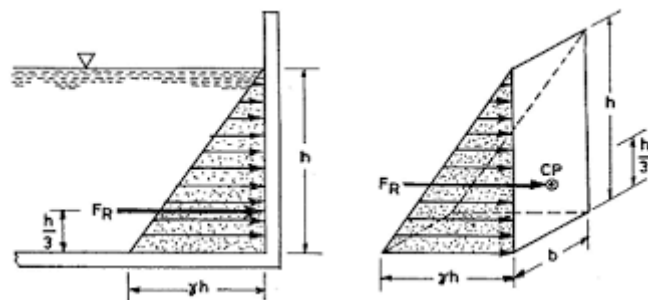


Figure 12. Hydrostatic pressure diagram effecting submerged surfaces

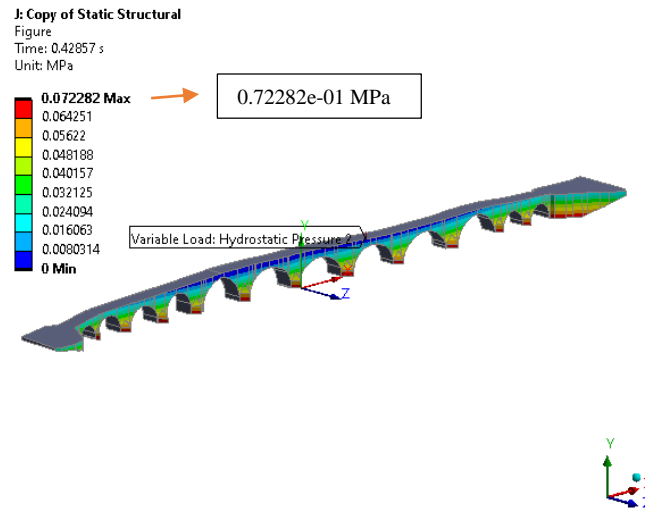


Figure 13. Hydrostatic analysis model

#### IV. ANALYSIS RESULTS

##### A. Modal Analysis

As a result of the analysis, the frequency of the structure was found in 20 modes. Frequency values occurred between 9.47 Hz and 21.73 Hz. This historical bridge is a structurally fluctuating bridge [29]. The first frequency of the bridge occurred in the K5 and K6 arches, which are higher than the other arches. The generated frequencies occurred commonly in the high and wide span (K9, K10) arches of the bridge. The natural frequencies occurring in the structure are given in Figure 14. Mass participation rates are given in Table 4.

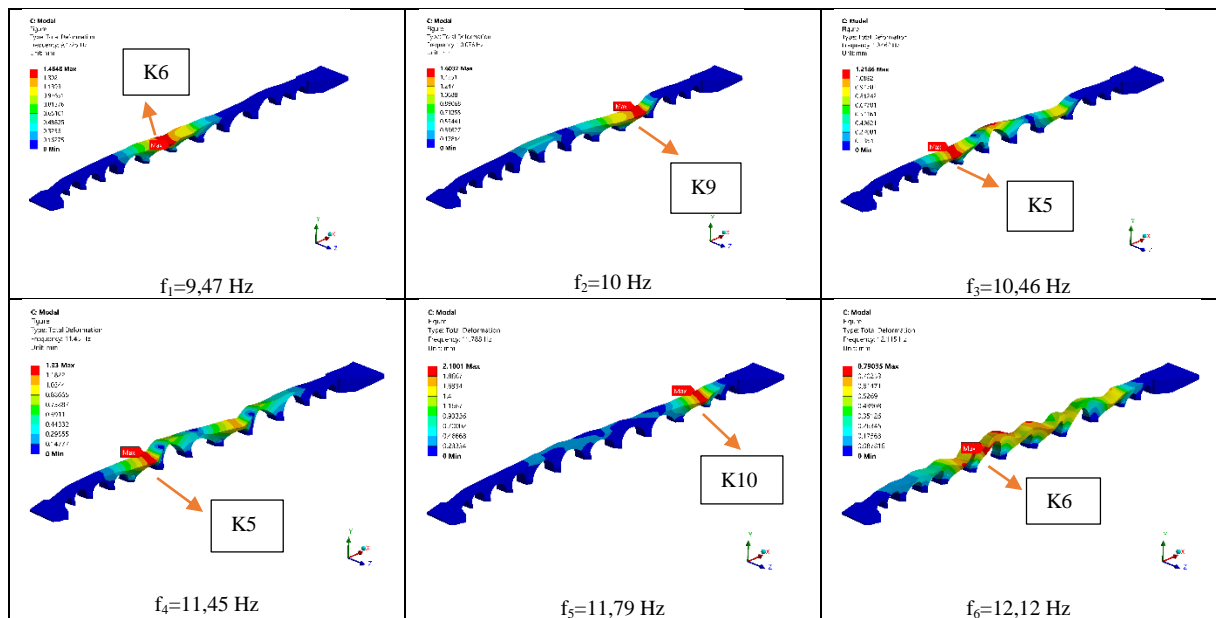


Figure 14. Natural frequencies generated on the bridge as a result of modal analysis

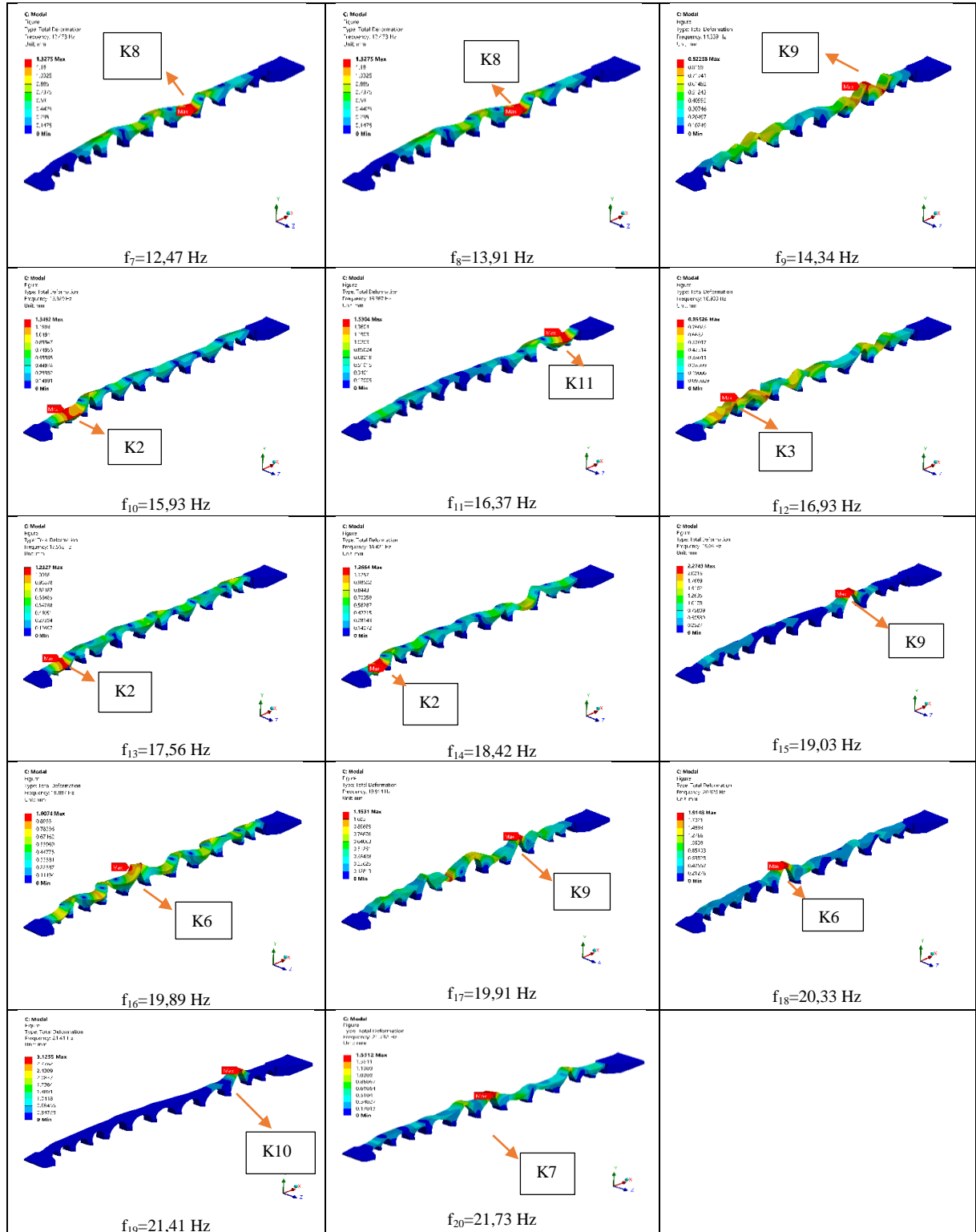


Figure 14. (Continues)

**Table 4.** Mass participation rates as a result of modal analysis

Mode	Frequency (Hz)	Period (sn)	To Total Mass		
			X Direction	Y Direction	Z Direction
1	9.47246	0.10557	0.123139e-02	0.143175e-03	0.186868
2	10.0760	0.99245e-01	0.287793e-03	0.635984e-06	0.720014e-01
3	10.4621	0.95583e-01	0.434279e-02	0.133541e-06	0.230525e-01
4	11.4501	0.87335e-01	0.268219e-01	0.630251e-04	0.105403e-01
5	11.7880	0.84832e-01	0.322840e-01	0.130782e-03	0.762533e-01
6	12.1152	0.82541e-01	0.345620	0.644617e-05	0.166571e-01
7	12.4726	0.80176e-01	0.144311e-04	0.200159e-05	0.285677e-02
8	13.9083	0.71900e-01	0.320387e-03	0.522119e-04	0.595986e-01
9	14.3390	0.69740e-01	0.371342e-02	0.138815e-04	0.247580e-03
10	15.9293	0.62777e-01	0.133694e-02	0.505664e-04	0.852354e-02
11	16.3673	0.61097e-01	0.282693e-03	0.155448e-03	0.235701e-01
12	16.9330	0.59056e-01	0.541414e-01	0.764426e-04	0.832090e-03
13	17.5615	0.56943e-01	0.314788e-02	0.882839e-05	0.254497e-04
14	18.4212	0.54285e-01	0.104457e-02	0.110792e-02	0.202193e-01
15	19.0296	0.52550e-01	0.375999e-02	0.112405e-01	0.415688e-02
16	19.8869	0.50284e-01	0.208645e-02	0.215102e-02	0.166535e-02
17	19.9142	0.50215e-01	0.625758e-03	0.368621e-02	0.239803e-03
18	20.3259	0.49198e-01	0.552397e-03	0.769944e-02	0.815728e-04
19	21.4097	0.46708e-01	0.296683e-05	0.309358e-01	0.105638e-02
20	21.7317	0.46016e-01	0.372559e-02	0.276663e-01	0.375241e-02
<b>Total</b>			<b>0.485343</b>	<b>0.851908e-01</b>	<b>0.512198</b>

### B. Earthquake Analysis

Earthquake data were imposed on the historical structure in three directions. The maximum deformation occurred in the 1st Mode as a result of the earthquake data impacted in the Z direction. The region of deformation that took place was occurred in the K6 arch, which is one of the highest arches of the bridge. It has been determined that earthquakes in the Z direction cause maximum stresses in the middle parts of the bridge and it has been concluded that earthquakes that will occur in this direction might cause more stress. It is seen that the earthquake effects imposed in the Y direction cause more deformation in the wide span arches (K9, K10) of the structure. Deformation in the 5th mode of the structure will be caused by the earthquakes that will occur in this direction is determined. Structurally, there is a curvature in the longitudinal direction on the historical bridge in this region. It is thought that this curvature may also cause these stresses. Considering the earthquake effect in the X direction, it is seen that it creates stress at different points. The earthquake created the maximum deformation in the 5th Mode and K10 arch of the historic bridge. At the same time, it is seen that the earthquake caused stress in the middle parts of the bridge and the highest arch, the K5. The results obtained in terms of earthquakes are presented in Figure 15

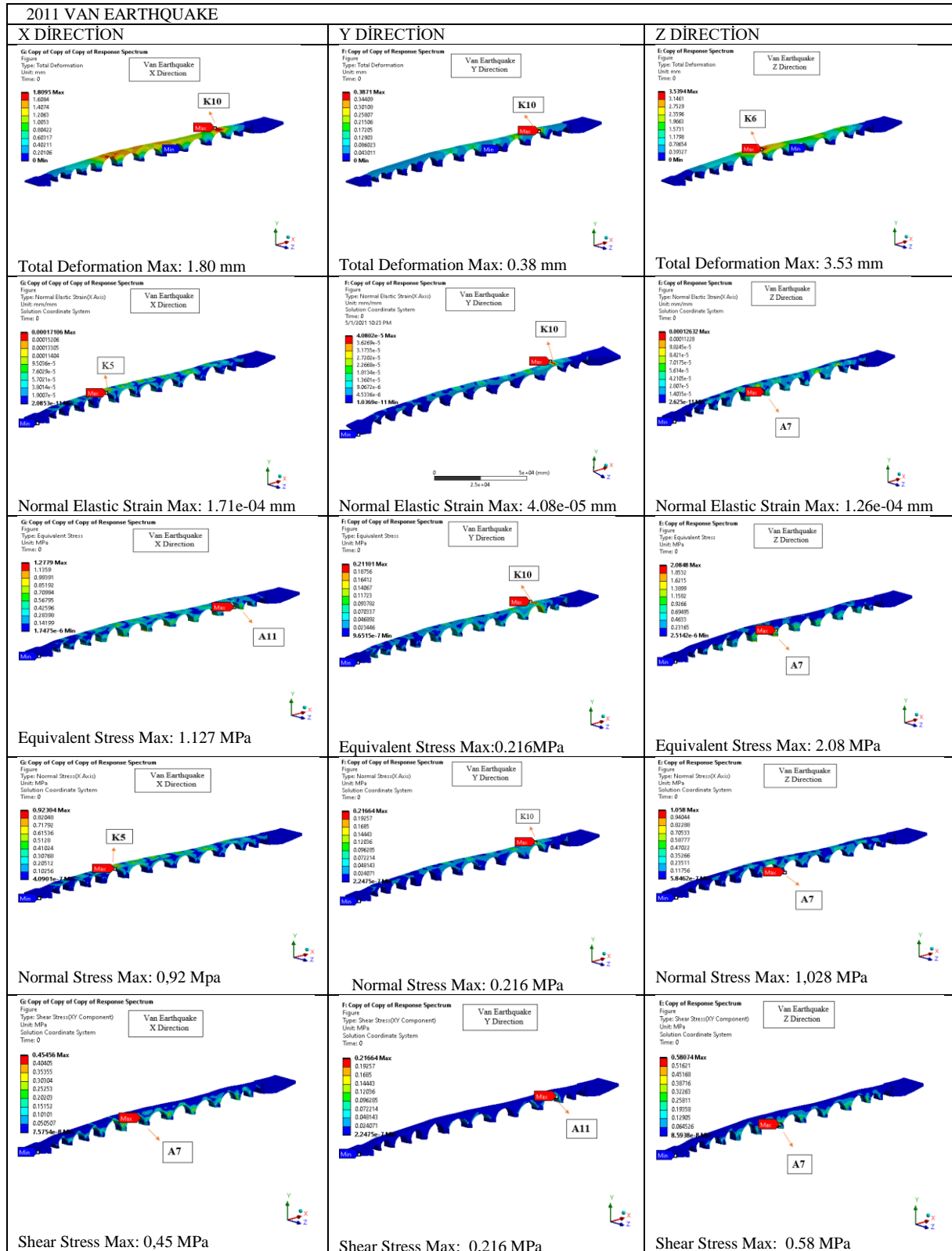


Figure 15. Imposed earthquake effects

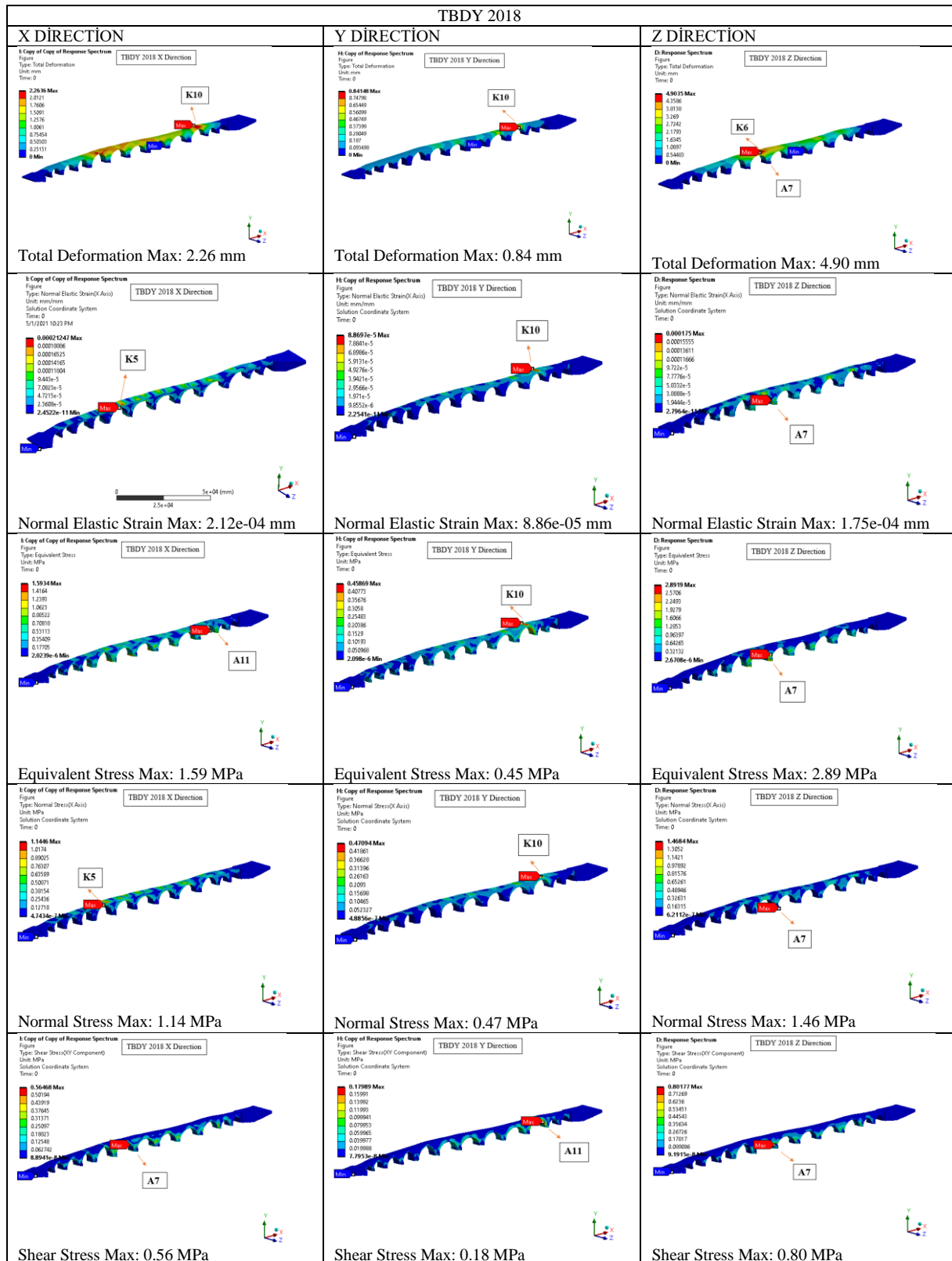


Figure 15. (Continues)

### C. Dead-Load, Vehicle and Hydrostatic Load Effects

As a result of dead, hydrostatic and vehicle loads, it was observed that the greatest deformation occurred in the K9 arch, which has the widest arch span of the bridge.

Although the direction of hydrostatic loading is different compared to other loads, the maximum stress occurred in the K9 arch and A11 pier of the bridge of the maximum deformation. It is thought that the curvature of the A11 pier of the bridge and the change in the height of the bridge in that region caused the tension at this point.

When the tensile and compressive stresses that occur in the structure under its own load are examined, it is seen that the part that is exposed to the highest tensile stress is in the upper part of the A7 pier.

As a result of vehicle loading, the tensile stress at the top of the A10 pier between the two wide-span arches of the bridge reached its maximum value.

As a result of the hydrostatic analysis, the maximum tensile stress occurred in the A pier of the bridge. The A11 pier of the bridge is located at the end of the curvature of the bridge in the longitudinal direction. This is thought to be the cause of stress. The results obtained in terms of loads are presented in Figure 16.

Considering the analysis results, the stress points of the structure were generally the same despite the different loadings

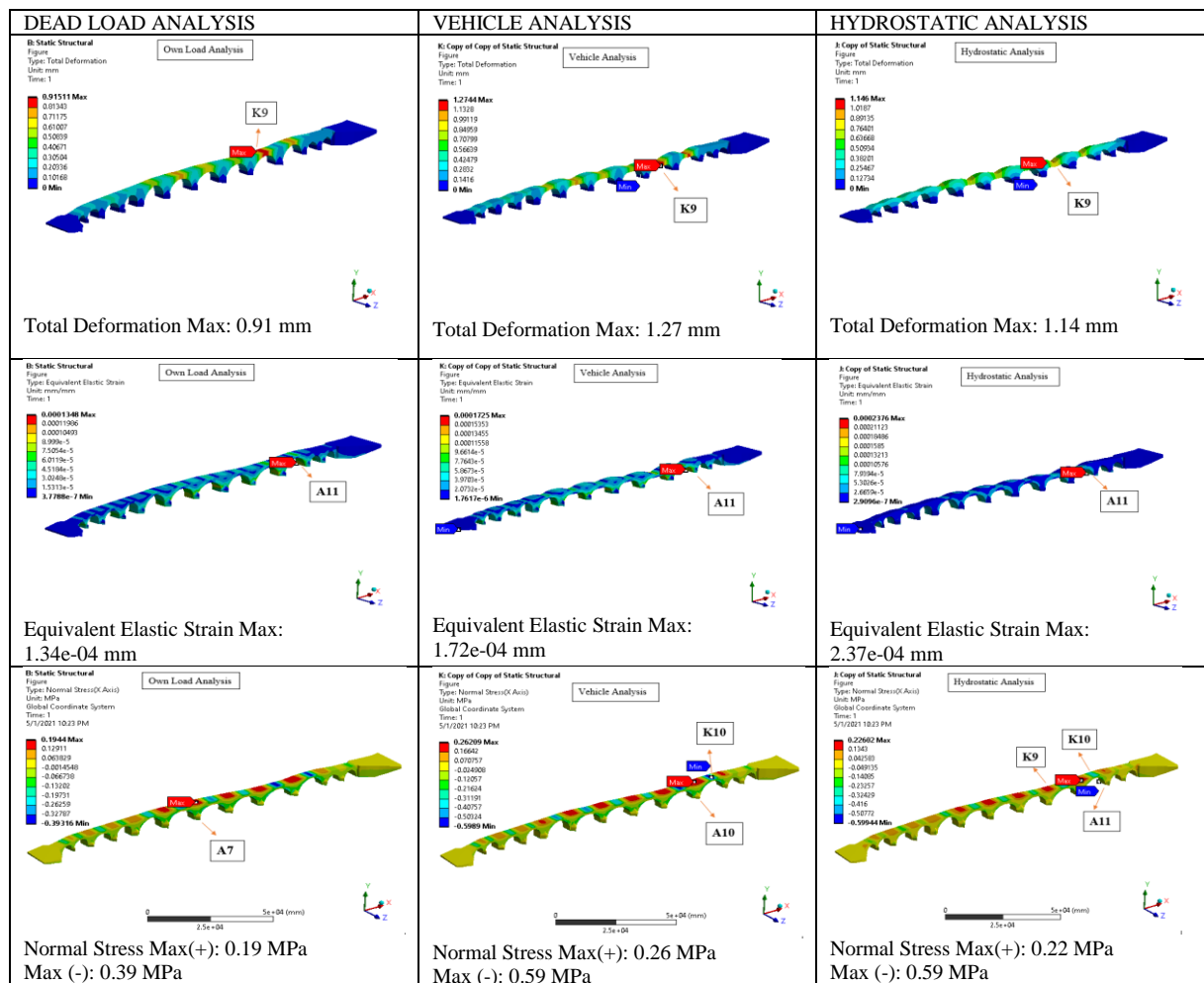


Figure 16. Imposed load results

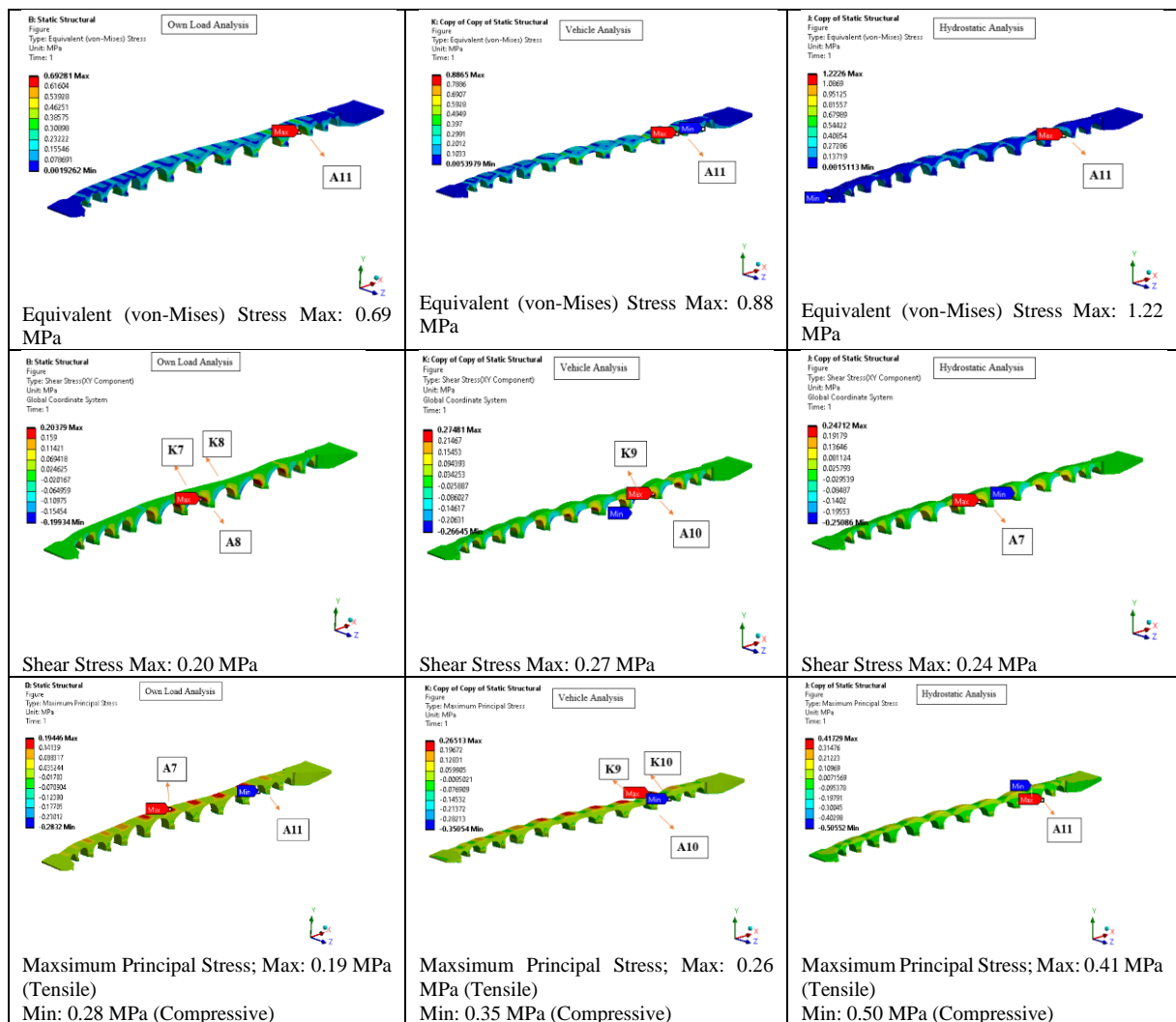


Figure 16. (Continues)

## V. CONCLUSION

As a result of the analysis, the stress points of the Mus Historical Murat Bridge were determined.

It has been observed that a wide arch span will cause an increase in the stresses that will occur in this region. For this study, it was monitored that the K9 and K10 arches, which have the most span, were exposed to more stress.

As a result of the modal analysis, it was observed that the first natural frequency of the bridge was formed in the K6 arch and this arch was one of the highest of the structure. As a result of the earthquake loads in the X and Z direction, it was observed that the maximum shear stresses occurred at the A7 leg located in the middle of the bridge. As a consequence of the earthquake effect applied to the bridge in the vertical direction (Y direction), the stresses concentrated in the curved area (K10, A11) on the bridge.

As a result of the hydrostatic analysis, it is seen that the water created the highest stress in the A11 pier and K10 arch of the bridge. The historical structure is not straight in the longitudinal direction in this region. The highest stress in loads other than earthquakes occurred aftermath of hydrostatic analysis. Deformations most commonly occurred in the K9 arch, which has the largest width of the bridge. The highest compressive stress occurred in the A11 piers of the bridge.



As a result of earthquake and loading effects in different directions, it was observed that the loads imposed on the bridge in the Z direction caused the bridge to be exposed to more stress.

The greatest stresses in the bridge were obtained as a result of the earthquake analysis, which were applied in the Z direction.

#### REFERENCES

- [1] Çulpan, C. (2002) Türk Taş Köprüleri; Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu, Ankara.
- [2] Genç, A. F. (2015) Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Restorasyon Çalışmalarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- [3] Tunç, G. & Kulağuz, B. N. (1996) Muş ve Çevresindeki Türk Mimari Eserleri, YüzüncüYıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat Tarihi Anabilim Dalı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 85.
- [4] Işık, E., Aydın, M. C. & Ülker, M. (2016) Performance Evaluation of a Historical Tomb and Seismicity of the Region. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 6, 59–65.
- [5] Gönen, H., Doğan, M., Karacasu, M., Ozbasaran, H. & Gökdemir, H. (2013). Refrofit tarihi murat yığma kemer köprüsünde yapısal başarısızlıklar, *Engineering Failure Analysis*. 35, 334-342 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.02.024>
- [6] Karaton, M., Aksoy, H. S., Say, E. & Calay, Y. (2017) Nonlinear seismic performance of a 12th century historical masonry bridge under different earthquake levels. *Engineering Failure Analysis*, 79, 408–421. doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.05.017.
- [7] Stavroulaki, M. E., Riveiro, B., Drosopoulos, G. A., Solla, M., Koutsianitis, P. & Stavroulakis, G. E. (2016) Advances in Engineering Software Modelling and strength evaluation of masonry bridges using terrestrial photogrammetry and finite elements, *Advances in Engineering Software*. 101, 136–148. doi: 10.1016/j.advgsoft.2015.12.007.
- [8] Valente, M. & Milani, G. (2016) Seismic assessment of historical masonry towers by means of simplified approaches and standard FEM. *Construction and Building Materials*, 108, 74–104. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.025.
- [9] Aguilar, R., Noel, M. F. & Ramos, L. F. (2019) Integration of reverse engineering and non-linear numerical analysis for the seismic assessment of historical adobe buildings. *Automation in Construction*. 98, 1–15. doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.010.
- [10] Betti, M. & Galano, L. (2012) Seismic Analysis of Historic Masonry Buildings: The Vicarious Palace in Pescia (Italy). *Buildings*, 63–82. doi: 10.3390/buildings2020063.
- [11] Pachón, P., Castro, R., García-macías, E., Compan, V. & Puertas, E. (2018) E. Torroja's bridge: Tailored experimental setup for SHM of a historical bridge with a reduced number of sensors. *Engineering Structures*. 162, 11–21. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.02.035.
- [12] Ercan, E. (2018) Assessing the impact of retrofitting on structural safety in historical buildings via ambient vibration tests. *Construction and Building Materials*, 164, 337–349. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.154.
- [13] Sarhosis, V., Garrity, S. W. & Sheng, Y. (2015) Influence of brick – mortar interface on the mechanical behaviour of low bond strength masonry brickwork lintels. *Engineering Structures*. 88, 1–11. doi: 10.1016/j.engstruct.2014.12.014.
- [14] ANSYS. (2019). Swanson Analysis System, U.S.A.
- [15] Simos, N., Manos, G. C. & Kozikopoulos, E. (2018) Near- and far-field earthquake damage study of the Konitsa stone arch bridge. *Engineering Structures*, 177, 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.072>
- [16] Chen, X., Qi, X. & Xu, Z. (2019). Determination of weathered degree and mechanical properties of stone relics with ultrasonic CT: A case study of an ancient stone bridge in China, *Journal of Cultural Heritage*, 42, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.08.007>
- [17] Castro, A.B., Sancez-Aparicio, L.J., Ramos L.F., Sena-Cruz, C. & Gonzalez-Aguilera, D., (2018). Integrating geomatic approaches, Operational Modal Analysis, advanced numerical and updating methods to assess the current security conditions of the historic Bôco Bridge, *Construction and Building Materials*, 185, 961-984. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.084>
- [18] Tanrıverdi, M. (2019). Geçmişten Günümüze Tarihi Köprüler, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

- [19] Arede, A., Almeida, C., Costa, C. & Costa, A., (2019). In-situ and lab tests for mechanical characterization of stone masonry historical structures, *Construction and Building Materials*, 220, 503-515 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.039>
- [20] Türkiye Deprem Tehlike Haritası, TBDY 2018, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (Axess: 22.04.2020)
- [21] Yeşilbaş, E. (2016). Muş Murat Köprüsü Sanat Tarihi Raporu
- [22] Öztürk, S. (2005). Muş Murat Köprüsü Rölöve-Restitüsyon ve Restorasyon Projelerine ait Çalışma Dostyası
- [23] Ural, A. (2005). Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi. Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Türkiye, 408-413.
- [24] Ural, A. (2017). Muş Murat Köprüsü Yapısal Analiz ve Değerlendirme Raporu
- [25] Akan, E. A. & Özen, Ö., (2005) Bursa Yeşil Türbenin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi, Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Türkiye, 758-762.
- [26] Fuat, A., Ergün, M., Günaydin, M. & Can, A. (2019). Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code. *Engineering Failure Analysis*. 105, 402–426. doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.06.054.
- [27] Terzi, V. G. & Ignatakis, C. E. (2018). Nonlinear finite element analyses for the restoration study of Xana, Greece. *Engineering Structures*. 167, 96–107. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.04.034.
- [28] Güney, D. (2011) 23 Ekim 2011 Van Depremi Teknik İnceleme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [29] Alkan, A., Baykan, O., Atalay, A., Baykan, N. & Öziş, Ü. (2011). Su Yapıları Olarak Anadolu'daki Taş Köprüler, 2. Su Yapıları Sempozyumu 16-18 Eylül 2011

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Türkiye’de Siber Saldırı ve Tespit Yöntemleri: Bir Literatür Taraması

## Cyber Attacks and Detection Method in Turkey: A Literature Review

Cemalettin Hatipoğlu<sup>1\*</sup>, Tuğba Tunacan<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 10/12/2020*

*Revize / Revised: 18/02/2021*

*Kabul / Accepted: 19/02/2021*

### ÖZ

Siber suç, bir bilgisayar ve internet ağı içeren herhangi bir suçu ifade eden bilgisayar suçu olarak da bilinir. Bireyler, şirketler veya hükümetler hakkındaki bilgilere yapılan bir saldırıdır. Birey siber suçun ana hedefi olduğunda bilgisayar, siber suçta bir araç olarak düşünülebilir. Ayrıca siber suç, internet erişimiyle işlenen geleneksel suçları da içerir. Örneğin, telefonla pazarlama İnternet dolandırıcılığı, kimlik hırsızlığı ve kredi kartı hesap hırsızlığı. Basit bir ifadeyle siber suç, internet erişimi olan bilgisayar veya diğer cihazlar kullanılarak gerçekleştirilen her türlü şiddet eylemi olarak tanımlanabilir. Bu eylem başkalarına zararlı etkiler verebilir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de siber suç konusunda durum tespiti ve siber saldırı türlerine karşılık üretilen çözüm yöntemlerini araştırmaktır. Ancak siber zorbalık ve siber suçlar ile ilgili kanun, yasa vs. konularında yapılmış olan çalışmalar ile 2016 öncesi yapılmış olan literatür çalışmaları kapsam dışında bırakılmıştır. Bu çalışmada metodoloji olarak; literatür taraması yöntemi seçilmiştir. Siber saldırı tiplerine baktığımızda en çok incelenen ve çalışmalara konu olan saldırı tiplerinin DoS ve DDoS saldırılar olduğu ve tespit yöntemlerinde ise Random Forest karar ağacı yönteminin kullanıldığı gözlemlenmektedir

*Anahtar Kelimeler- İnternet, Sanal Ağlar, Siber Saldırı, Siber Suç*

### ABSTRACT

Cybercrime is also known as computer crime, relating to any crime involving a network of computers and the Internet. It is an attack on data about people, corporations, or governments. The computer can be viewed as a resource in cybercrime when the individual is the primary target of cybercrime. Cybercrime, meanwhile, encompasses typical crimes committed through Internet access, online telemarketing fraud, identity theft, and credit card account theft, for instance. In simple terms, cybercrime can be defined as any computer-based or other act of violence.

The study's objective is to examine cybercrime and cyber threats, along with the related diligence practices when working with freshly created forms of revenue in Turkey. However, studies on cyberbullying and cybercrime laws, laws, etc. and literature studies conducted before 2016 were excluded from the scope of this paper. As a methodology in this study, literature review method was chosen. When we look at the types of cyber-attacks, it is observed that the most studied attack types are DoS and DDoS attacks, and the Random Forest decision tree method is used in detection methods.

*Keywords- İnternet, Virtual Networks, Cyber Attack, Cyber Crime*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [cemalettin.hatipoglu@bilecik.edu.tr](mailto:cemalettin.hatipoglu@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3129-9725>)

*Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Bilecik, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [tugbatunacan@ibu.edu.tr](mailto:tugbatunacan@ibu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3207-8932>)

*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bolu, Türkiye*

## I.GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmeler iletişim, kısa zamanda bilgiye ulaşma, küresel çapta ticaret yapabilme gibi fayda elde edilmesini sağlamıştır. Bunun yanında hem bireysel hem de kurumsal anlamda yeni ekonomik yaşam biçimleri ve fırsatlar ile birlikte zorluklar da ortaya çıkmıştır. Özellikle işletmeler rekabet edebilmek, sürdürülebilirliğini devam ettirebilmek, yeni ekonomik ayrıcalıklara kolay erişim sağlayabilmek için bilişim teknolojilerini daha çok kullanır hale geldiklerinden bilişim ve özellikle internet teknolojileri her alanda ihtiyaç duyulan bir fonksiyon haline gelmiştir. Özellikle ticaret başta olmak üzere üretim ve envanter kontrol, tedarik zinciri gibi tüm alanlarda ürün ve hizmetlere internet vasıtasıyla anında hızlı bir şekilde ulaşım sağlamak kurumların işlevselliği ve verimliliğini de arttırmıştır. Ancak bu olumlu etkilerinin yanında internet ve bilişim teknolojilerinin kullanımı üretilen ve depolanan bilgilerin bulunduğu veri tabanlarına ulaşım için siber tehditler ve saldırıları da getirmektedir. Bu saldırıların çeşitleri ve uygulamaları her geçen gün değişmekte ve yakın gelecekte daha yıkıcı etkilerle kendini göstermeye başlayacağı öngörülmektedir. Ancak işletmeler, siber tehditlere ve saldırılara karşı kendilerini koruyabilecek ve karşı karşıya kalacakları potansiyel zararları hakkında çok az bilgiye sahiptirler.

Bilişim sistemleri, terör örgütleri ve bilgisayar suçluları için yasadışı faaliyetlerde bulunacakları önemli bir ortam ve fırsat ortaya çıkarmış yeni illegal kazanç kapıları oluşturmuştur. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizi de kamu kurumlarına, özel kurumlara ve kişisel bilişim sistemlerine yapılan saldırılar tehdit etmektedir. Bilgisayar korsanları ve siber terör örgütleri tarafından yapılacak bir saldırı birçok sektörü zarara uğratabilmekte ve ülke ekonomisine ağır hasarlar verebilmektedir. Siber saldırı ve tehditlerin tüm sektörler için bir tehdit olmasına rağmen, siber saldırılar hakkında çok bilgi sahibi olunmaması ve gerekli tedbirlerin alınmaması da bu tehlikenin önemini ortaya koymaktadır.

Siber güvenlik günümüzün internet ağlarıyla birbirine bağlı dünyasında hayati bir rol oynamaktadır. Bu kavram çok net olarak kesin sınırları ile tanımlanamamakla birlikte, bilişim sistemlerinde insanlar veya kurumlar arası kurulan iletişim vasıtasıyla elektronik ortamda kaydettiğimiz tüm maddi-manevi varlıklarımızın bütünlüğünün ve gizliliğinin korunması şeklinde tanımlanabilir [1]. Siber suç ise siber güvenliği tehdit eden özellikle toplumları geniş çaplı etkileyen bireylerin ve kurumların veri bütünlüğünü ve gizliliğini bozmak amacıyla gerçekleştirilmiş saldırı ve terör suçu olarak tanımlanabilmektedir [2]. Siber suç, interneti kullanan kurum ve kişileri etkileyen sınırları olmayan ve gün geçtikçe büyüyen bir sorundur. Kişisel bilgilere verilen değer nedeniyle internete bağlı ev ağları da, siber suçlular için bir hedef haline gelmiştir. Müşteri ve işletme verilerini güvence altına alması ve koruması beklenen işletmeler siber güvenlik ve siber suç konusunda bilgi ve koruma becerisine sahipken internet evde kullanan kullanıcıların bu konuda bilgi ve beceri daha sınırlı ve görecelidir. Evde interneti kullananlar, internet servis sağlayıcıları tarafından sağlanan cihazları kullanarak bağlantılarının güvenli olduklarını zannederler. Hâlbuki söz konusu cihazlar sadece temel koruma sağlar ve kullanıcıyı korumaktan ziyade internet servis sağlayıcı ile bağlantı kurmaya odaklıdır. Evlerde kullanılan internete bağlı ev cihazları, internet ağındaki güvenlik eksikliklerinden dolayı, siber suçlular tarafından suç araçlarına dönüştürülmektedir.

Siber saldırılarının sayısı ve siber saldırı mağdurlarının ekonomik açıdan kaybı hakkında kesin bilgiler elde etmek neredeyse imkânsızdır, çünkü suçlular nadiren tespit edilmekte ya da yetkili kurumlara bildirilmemektedir [3]. Buna ek olarak, internet ortamında yapılan siber saldırıları takip etmek kolay değildir [4]. Kimliği belirsiz ve belirlenemeyen e-postaların, şifreleme aygıtlarının ve internetin sağladığı üçüncü parti uygulamaların, bilgisayar korsanları ve siber terör örgütleri tarafından da kullanılması ayrıca, bilişim suçları davalarının karmaşıklığı ve siber-terörizm konusunda kesin bir tanım bulunmaması da suçu işleyenlerin takibini ve yakalanmasını zorlaştırmaktadır [5,6,7]. Bu nedenle, bilişim teknolojilerinde kullanıcı güvenliğini sağlamak için yazılım geliştirmeye önem verilmeli güçlü bir yasal çerçeveye desteklenmelidir.

Bu çalışmada siber suç konusunda Türkiye’ de durum tespiti yapabilmek amacıyla son beş yılda ülkemizde konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmamız 2016-2020 yılları arasında Türkiye’ de var olan dergi ve sempozyumlar da yayınlanmış bildirileri, makale ve tez çalışmalarını kapsamaktadır. Ancak siber suç türü olan siber zorbalık ve siber suçlar ile ilgili kanun, yasa vs. konularında yapılmış olan çalışmalar ile 2016 yılı öncesinde yapılmış literatür çalışmaları kapsam dışında bırakılmıştır

## II. SİBER SUÇ

Bilişim alanında kullanılan siber sözcüğünün İngilizce karşılığı “cyber” olup, Yunanca da yönetmek, hükmetmek anlamına gelmektedir. Amerikalı matematikçi Nobert Wiener tarafından 1948 yılında yayınlanan “Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine” (Sibernetik: Ya da Hayvan ve Makinede Kontrol ve İletişim) adlı kitap da Sibernetik (cybernetique) kavramı ilk defa kullanılmıştır [8]. Günümüzde ise altyapısı bilişim sistemleri olan ağlar olarak tanımlanmaktadır [1]. Karşımıza çoğunlukla siber alem, siber dünya, siber saldırı, siber güvenlik vb şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Siber suç kısaca, bilişim teknolojileri kullanılarak sistem ve/veya kullanıcıyı hedef alarak bilişim sistemi güvenliğine yönelik yapılan saldırılar olarak tanımlanmaktadır [9]. Ancak, siber suç kavramı ve kapsamı konusunda evrensel olarak kabul görmüş tanım olmadığı görülmektedir. Siber suçla ilişkili bilgisayar suçları, İnternet suçları, bilgisayarla ilgili suçlar, çevrimiçi suçlar, ileri teknoloji suçları, elektronik suçlar, teknoloji suçları ve bilgi çağı suçları gibi birbirleriyle ilişkili veya birbirinin yerine çeşitli terminolojiler kullanılmaktadır [10]. Siber suç kavramı, Avrupa Konseyi Siber Suçlar Konvansiyonunda, verilere karşı cezai faaliyetlerden içeriğe ve telif hakkı ihlaline kadar çeşitli suçlar olarak tanımlanmaktadır [11].

Siber suç, tüm dünyadaki İnternet kullanıcıları, tüketiciler, işletmeler, finans kurumları ve hükümetler için önemli ve artan tehditler oluşturmaktadır. Ek olarak, küresel bir suç olgusu olarak siber suç, siber suçluları soruşturmak, yakalamak ve yargılamakla görevli kolluk kuvvetleri görevlileri içinde sorun olmaya başlamıştır. Siber suçlular, uzmanlıklarını ve becerilerini kötü amaçlı olarak kullanan, şantaj veya kazanç elde etmek için birisinin bilgilerini veya diğer hassas verileri çalan kişilerdir. Genellikle bunlar, suç olarak kabul edilen yasadışı faaliyetlerde becerilerini kullanan programcılardır [12].

Siber saldırı, siber suçlunun yasadışı amaçlarla hassas bilgi ve verileri çalmak ve almak için, bilgisayar üzerinden internette gerçekleştirildiği her türlü illegal eylemdir. Siber suçlular, herhangi bir bilgisayar kullanıcıyı bir tuzağa düşürmek için farklı yöntemler ve yollar kullanmaktadır. Siber suç, küresel erişime sahip dünya çapında bir sorundur. Siber suçlar ulusal sınırlara saygı göstermez ve bu nedenle dünyanın herhangi bir yerinden faaliyette bulunabilirler. Siber suçlular dünyanın her yerinden saldırılar başlatabildiğinden, siber saldırılar artarak devam etmektedir [13]. En son yayınlanan raporlara göre, siber suçların sıklığı ve ciddiyetinin arttığını belirlenmiştir [14].

Wall (2001) siber suçları dört kategoriye ayırmıştır: Bunlar; 1. Siber izinsiz giriş- sınırları diğer kişilerin mülküne geçmek ve / veya hasara neden olmak, ör. hackleme, tahrif, virüsler. 2. Siber aldatma ve hırsızlıklar-kredi kartı dolandırıcılığı veya fikri mülkiyet ihlalleri (korsanlık) gibi hırsızlık (para, mülkiyet). 3. Siber pornografi. 4. Siber şiddet- başkalarına psikolojik zarar vermek veya başkalarına fiziksel zarar vermek, dolayısıyla nefret söylemi veya taciz gibi kişinin korunmasına ilişkin yasaları ihlal etmek [15].

Moore, (2005), göre; bilgisayar suçu olarak da adlandırılan siber suç, bilgisayar ve bilgisayar ağları ile gerçekleşen bir suçtur, bazı durumlarda bilgisayar suçu işlemek için kullanılmış olabileceği gibi suçun hedefi de olabilir [16]. Gordon ve Ford, (2006) tarafından yapılan tanımda; bilgisayarlar, bilgisayar ağları veya donanım cihazları kullanılarak işlenen herhangi bir suçtur [17]. Latha (2008), siber suçların bilgisayar ortamında sürdürülen gerçek dünya suçlarından başka bir şey olmadığını ve dolayısıyla siber dünyada ve gerçek dünyada suç tanımlamada hiçbir fark olmadığını belirtmektedir [18].

Alkaabi vd., (2010) bilgisayarın rolüne, suçun ayrıntılı doğasına ve suçu çevreleyen bağlama dayalı bir siber suç sınıflandırma modeli önermiştir. Önerilen model iki tür sınıflandırma içerir: Tip I ve Tip II suçlarıdır. Tip I suçlar, bilgisayarın, bilgisayar ağının veya elektronik cihazın suç faaliyetinin hedefi olduğu yasadışı faaliyetleri kapsar ve Tip II suçlar, bilgisayar, bilgisayar ağı veya elektronik cihazın suç için araç olduğu yasadışı faaliyetleri içerir. Yazarlar, Tip I suçları dört alt gruba ayırdı: 1) bilgisayar korsanlığı gibi yetkisiz erişim suçları; 2) bilgisayar virüsleri veya solucanlar gibi tehlikeli kod suçları; 3) dağıtılmış hizmet engelleme saldırıları gibi hizmetlerin kesintiye uğraması ve 4) kimlik hırsızlığı gibi hizmet suçlarının hırsızlığı veya kötüye kullanılması. Tip II suçlar üç alt kategoriden oluşur: 1) çocuk pornografisine sahip olmak gibi içerik ihlali suçları; 2) çevrimiçi dolandırıcılık gibi kişisel veya kurumsal kazanç suçları için verilerin veya yazılımın yetkisiz değiştirilmesi ve 3) siber takip gibi telekomünikasyon suçlarının uygunsuz kullanımını [19].

Halder ve Jaishankar (2011), bütüncül bir bakış açısıyla siber suç tanımı; “İnternet gibi modern telekomünikasyon ağlarını kullanarak mağdurun itibarına kasıtlı olarak zarar vermek veya mağdurun fiziksel veya zihinsel zararına veya kaybına neden olmak amacıyla bireylere veya birey gruplarına karşı işlenen suçlardır” [20].

İngiltere Kraliyet Savcılık Hizmetleri’nin (CPS) siber suçların sınıflandırılması siber güvenliği içerir ve birçok uluslararası siber suç tanımına ilham kaynağı olmuştur. CPS yönergeleri siber suçları iki geniş kategoriye

ayırır: siber-bağımlı ve siber etkin suçlar [21]. Siber bağımlı bir suç, yalnızca bir bilgisayar, bilgisayar ağları veya diğer bilgi iletişim teknolojisi kullanılarak işlenebilen bir suçtur. Siber-etkin suçlar, "ölçekleri veya erişimleri bilgisayarlar, bilgisayar ağları veya diğer bilgi iletişim teknolojisi biçimleri kullanılarak artırılabilen geleneksel suçlardır" [22]. CPS tarafından tanımlanan bazı unsurlar genellikle bir siber saldırıda birbirine bağlıdır. Örneğin, bir kurbanı sahte bir web sitesine çekmek için bir kimlik avı e-postası veya kısa mesaj (ör. SMS veya WhatsApp) kullanılabilir. Sahte web sitesi ile finansal dolandırıcılık yapmak için kullanılan kişisel verileri elde edilebilir veya başka bir suç işlemek için kötü amaçlı yazılım (daha spesifik olarak fidye yazılımı) yüklenebilir.

Farklı siber suç türlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması, birkaç nedenden ötürü araştırmacılar tarafından ilgi çekici bir konu olarak görülmektedir. Bunlardan ilki siber suç kavramı ile ilgili ortak bir tanımlama yapabilmektir. İkinci olarak, siber suçun neleri içerdiğine dair net bir tanıma sahip olmak, araştırmacıların ve uygulayıcıların ele alınacak sorunun kapsamını belirlemelerine yardımcı olmaktadır. Üçüncüsü, siber suçun farklı yönlerini anlamak (örneğin, siber suçun "teknik" ve "insan" boyutlarını farklılaştırmak) kolluk kuvvetlerine ve ceza adaleti kurumlarının bu tür suçları araştırmasına, bunlarla mücadele etmesine ve önlemesine yardımcı olabilmektedir. Son olarak, farklı siber suç türlerinin tanımlanması ve farklılaştırılması, araştırmacıların ve uygulayıcıların gelecekteki siber suçların yönünü tahmin etmelerini ve yeni ve zamanında çözümler formüle etmelerini sağlamaktadır [23].

### III. TÜRKİYE' DE SİBER SUÇLAR VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI

Akademik arama motoru Google Scholar'dan "siber saldırı" ve "siber zorbalık" başlıkları altında literatür çalışması yapılmıştır. Söz konusu arama, 2016-2020 yılları arasında yapılmış olan ve Türkiye' de var olan dergi ve sempozyumlar da yayınlanmış bildirileri, makale ve tez çalışmalarını kapsamaktadır. Ancak siber zorbalık ve siber suçlar ile ilgili kanun, yasa vs. konularında yapılmış olan çalışmalar ile daha önceki yıllara ait yapılmış literatür çalışmaları kapsam dışında bırakılmıştır. Literatür çalışması kronolojik olarak aşağıda verilmektedir.

Aşan ve Gökşen (2020) web sitelerindeki güvenlik açıklarını ve saldırılarını tespit etmek ve denetlemek amacıyla DEBSA (Dokuz Eylül University Baseline Security Analyzer) ismini verdikleri bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulama güvenlik testlerinin yapılması, raporlanması ve süreç yönetimi bölümlerinden oluşmaktadır. Program SQL injeksiyonu, doğru ayarlanmamış form elemanları, çapraz site betikleme (XSS) sığı, bozuk bağlantılar ve yanlış- tehlikeli bağlantıları tespit etmeye odaklıdır [24].

Söğüt ve Erdem (2020) endüstriyel kontrol sistem (SCADA) protokolüne yönelik Command Injection, Reconnaissance and DoS (Denial of Service) yöntemleri içine alan farklı sınıflarda ataklar gerçekleştirerek atak uygulanan sistem ile uygulanmayan sistemlerin davranışlarının incelenmesi ve değerlendirmesini sağlamışlardır. Amaçları siber terör atak davranışlarını tespit edilmesini kolaylaştırmaya çalışmaktır. Veriler analiz için hazırlama da sınıflandırma, regresyon, kümeleme, birleşme kuralları madenciligi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Atakların tespitinde Decision Stump, Hoefding Tree, J48, Rastgele orman (Random Forest) ve REP Tree karar ağaçları algoritmaları kullanılmıştır [25].

Karaman vd., (2020) bilgisayar ağına saldırı durumunu belirlemek ve saldırı modelinin sisteme zarar verip vermeyeceğini belirleyen yapay sinir ağı temelli bir sistem tasarlamışlardır. Çalışmalarında DDOS, Botnet, DOS, BruteForce türündeki saldırıları ele alınmış olup inceledikleri veri setinde DDOS ve BruteForce saldırılarının diğer iki türe göre daha yüksek oranda geldiği tespit edilmiştir. Kurdukları sistemin başarısının ise %99, 26 gibi bir yüksek tahmin oranına sahip olduğu görülmüştür [26].

Büber ve Diri (2020) ortalama saldırılarında kullanılan alan adları (domain names) Doğal Dil İşleme (DDİ) teknikleri ile siber saldırıları tespit etmeye çalışmışlardır. Testler esnasında; Random Forest (RF), Sequential Minimal Optimization ve Naive Bayes (NB) algoritmaları kullanmışlardır [27].

Angin (2020), bir askeri otonom ağ sistemine yönlendirilen veri bütünlüğünü bozma, ortadaki adam saldırısı (man-in-the middle), kimlik denetimini yanıltma, gizli mesaj saldırılarının blokzincir tabanlı bir iletişim mimarisi ile tespiti ve engellenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Önerilen iletişim mimarisinin veri bütünlüğü bozma ve kimlik denetimini yanıltma saldırılarına karşı koruma sağladığı gözlemlenmiştir [28].

Aslan (2020) doktora tez çalışmasında, bilgisayar ağ yapısına saldırıda bulunan zararlı yazılımların tespiti ve yazılım özelliklerinin belirlenmesi ve ayrıştırılması için sırasıyla birleştirmeli sıralı tespit ve eksiltici merkezi davranış modeli yöntemlerinden faydalanmıştır. Çalışmada özellik optimizasyonu için karar ağaçları yöntemleri kullanılmıştır. Veri setlerinde truva atı, virus, adware, solucan, indirici, arka kapı, casus yazılımlar, dropper, zararlı

yazılımlar, fidye yazılım, injector, rootkit, paketlenmiş zararlı yazılımı, tuş kaydedici analiz edilen saldırı türleridir [29].

Altuntaş (2020), operasyonel teknoloji sistemlerine gelen yetkisiz manuel müdahale, yetkisiz kod değişimi ve OPC (Ole for Process Control) ağ trafiği üzerinden modbus haberleşme kanalına yapılan paket değişim saldırılarını birliktelik analizi tabanlı aktivite kayıt oluşturma algoritması ile analiz etmiştir. Veriler üzerinde elde edilen bilgiler bayes ağ tabanlı bir öğrenme sistemi ile analiz edilmiştir [30].

Topal vd. (2019) çalışmalarında, öğrencilerin bilişim suçları hakkındaki bilgilerini ölçmeyi amaçlamışlardır. Çalışma evrenleri 2016-2017 yılında 23 farklı üniversite Bilgisayar öğretim teknolojileri bölümünde eğitim alan 312 öğrenciden oluşmaktadır. Bilgi ölçümü için demografik özellikler, bilişim suçu işleme yöntemleri ve bilişim suçu teknikleri bölümlerinden ve 33 sorudan oluşan bir anket kullanılmıştır. Siber suç çeşitleri ve teknikleri olarak çalışma kapsamında ölçümlenmeye çalışılan noktalar şunlardır: Bilgisayar korsanlığı, ağ solucanları, web sayfası hırsızlığı, virüsler, kart dolandırıcılığı, elektronik imza, mantık bombaları, spam, truva atı, oltalama, siber şantaj, siber kumar ve bahis, siber dolandırıcılık, çocuk pornografisi. Elde edilen verilere istatistiksel testler uygulanıp öğretmen adaylarının bilişim suçları hakkında yeterli bilgiye sahip olmadıkları görülmüştür [31].

Başka bir çalışmada, kredi kartlarının kötüye kullanımı gibi durumlardan daha ziyade gerçek siber saldırıların virus yayma veya aldatma, ağ dinleme, virus, solucan vb. gibi olgularla yeniden oluşturma, hizmet reddi saldırıları olarak belirtilmiştir. Araştırmada köle bilgisayarlar, ücretsiz kablosuz ağ kullanımı gibi yöntemlerden faydalanılarak siber suçluların kimlik avı, spam, şantaj, kimlik hırsızlığı, uyuşturucu kaçakçılığı gibi kötü amaçlı aktiviteleri fark edilmeden gizlenerek gerçekleştirilebildiği sonucuna varılmıştır. Suçların tespiti için uzmanların web-link analizi, veri ve metin madenciliğini içeren madencilik teknikleri, istatistiksel metotlar ve açık kaynak istihbaratı yöntem kolaylaştırması yöntemlerini kullandıkları tespit edilmiştir [32].

Süzen vd., (2019) yaptıkları çalışmada, Endüstri 4.0'ın bir fonksiyonu olan nesnelere iletişiminde kablosuz ağ bağlantılarına sızma, kırma ve taklit etme tekniklerini kullanarak veri güvenliğinin ne ölçüde olacağını ve hangi yöntemlerin güvenlik konusunda gerekli olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Sadece kablosuz ağa ve bu ağda var olan aygıtlara yapılan saldırıları içine alan 3 farklı senaryo ile ağ yapısının güvenliğinin zayıf, orta ve iyi olduğuna karar verilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak WEP, WPA ve WPA2 güvenlik önlemlerinin tek başına yeterli olmadığı gizlilik, güvenlik politikaları, yetkilendirme ve şifreleme sistemleri ile güçlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir [33].

Kara (2019) çalışmasında, yazılım korsanlığı, zararlı yazılım, fidye yazılım, casus yazılım ve bilgisayar virüsleri konusunda statik ve dinamik analizler yaparak siber saldırı gerçekleştiren firmalar tarafından “adware” reklam programları vasıtasıyla kullanıcılara ulaştıklarını tespit etmişlerdir. Bu tarz yazılımlardan korunma yöntemlerinin güvenlik duvarı, antivirüs programları, sandbox gibi programlar kullanımı olduğu da belirtilmiştir [34].

Yücebaş (2019), çalışmasında Dağıtılmış hizmet reddi (DDoS) ile gerçekleşen saldırıları incelemiştir. Entropi bazlı saldırı tespiti yapan bir yöntem sunulup farklı atak tipleri için yazılım tanımlı ağ üzerinde performansı değerlendirilmiştir. Sunulan yöntem, saldırı tespiti için çoklu entropi değerlerinin kullanılmasını ve bu entropi değerlerine dayanan yeni bir alarm sistemi önermektedir [35].

Özer ve Takaoğlu (2019), çalışmalarında siber saldırıları tespit etmek için makine öğrenmesi tekniklerini bunun yanında sunucu tabanlı saldırı yöntem verilerine başvurmuşlardır. Veri setini oluştururken, bir den fazla veri setlerinden yararlanmışlardır. Birleştirilen veri setleri ise; Browser Attack, PMWiki OS SMB, Wireless Karma, Tomcat CesarFTP, OS Print Spool, Backdoored Executable, Icecast, WebDAV ve PDF N'dir [36].

Ahmetoğlu ve Daş (2019), benign, FTP patator, SSH-patator, DoS (Hulk, Golden Eye, Slow Loris, Slow HTTP Test), Heartbleed, Brute Force, Web Attack-SQL Enjeksiyonu, DDOS, Port saldırısı, Botnet, Çapraz site betikleme (XSS), Infiltration saldırı tiplerini tam bağlantılı yapay sinir ağı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada kodlama TensorflowKeras kütüphaneleri ile kodlanıp ağ trafiği özellikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır [37].

Ateş vd., (2019) çalışmalarında ağgözlü algoritması (Greedy Algorithm) ve destek vektör makinelerinden (SVM) faydalanarak siber saldırıları tespit etmeye çalışmışlardır. İnceledikleri siber saldırı modeli DDOS olup veriler arasındaki uzaklıkları hesaplamak için ağgözlü algoritmasından ve yanlış tepit oranını azaltmak için SVM sınıflandırma modelinden faydalanmışlardır [38]. Tok ve Selçuk (2019) nesnelere internetinin güvenliği

konusunda kullanıcı algısını elde edebilmek için bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Anket aktif olarak sosyal medya kullanıcılarına yapılmıştır. Çalışmalarında mirai gibi zararlı yazılımlar ile dağıtık servis dışı bırakma (DDoS) saldırılarında ortaya çıkan hizmet kesintileri, maddi kayıp ve itibar zedelenmesi konularında siber güvenlik tercihlerinin sorgulanması amaçlanmıştır [39].

Atasever (2019) yüksek lisans tezinde, metamorfik virüs içeren zararlı yazılımlar üzerine çalışma yapmışlardır. Virüs tespiti için assembly dosyalarındaki yerel ve harici fonksiyonları içeren algoritmalar kullanılmıştır. Çözüm yöntemi olarak opcode benzerlik oranına sahip Jaya optimizasyon kullanılmıştır [40]. Şanlıöz vd., (2019) farklı makine öğrenme teknikleri ile web ortalama ataklarının tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kullanıkları makine öğrenme teknikleri CART (sınıflandırma ve regresyon ağaçları), C4.5, Adaboost, Rastgele Orman (Random Forest) ve yapay sinir ağları algoritmalarıdır [41].

Özekes ve Karakoç (2019), zararlı ağ trafiğinin belirlenmesi için makine öğrenmesi algoritmalarından karar ağaçları ve rastgele orman (random forest) yöntemlerini kullanmışlardır. Veri kümesinde analiz edilen ve sınıflandırılan saldırı modelleri hizmet engelleme (Dos), dağıtılmış hizmet reddi (DDoS) ve Port Tarama (PortScan) saldırıdır. Saldırıları sınıflandırmada rasgele orman yönteminin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [42].

Terzi (2018) çalışmasında hem ulusal anlamda hem de uluslararası mecrada siber terörizm ile ilgili bir geniş çaplı tanımın olmadığını ve bu sebeple terör uygulamaları ve atakları ile mücadelede tam bir birliğin oluşmadığını vurgulamıştır. Siber terörizmin sadece e-devlet, kamu kurum ve kuruluşları ile sınırlı kalmadığını aynı zamanda özel sektörde de etkin olduğunu bu sebeple bu saldırıların tespit edilmesi ve çözümlenebilmesi için hem uzman personele ve güvenlik politikaları ve yönergelere ihtiyaç olduğu görüşüne varmaktadır. 2016-2019 yıl aralığında Türkiye de Ulusal Siber Güvenlik Strateji Belgesinin geliştirildiğini, belge de terörizm ile ilgili tanım ve tehditlerin açık bir şekilde ifade edildiği için güçlü olduğunu ancak uluslararası anlamda çözüm için iş birliği konusunda zayıf kaldığını da bildirmiştir [43].

Yılmaz (2018), teknokentlerde siber suç olgusu ve önlemleri üzerine çalışma için Ankara' da 4 adet teknokente çalışanları kapsayan bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Anketin araştırma kapsamında bilgisayar korsanlığı, DDOS saldırıları, Virüs-truva atı-zararlı yazılımlar, banka-kredi kartı sahteciliği, keylogger-screenlogger gibi casus yazılımlar, siber hırsızlık, siber dolandırıcılık, siber taciz, siber şantaj-tehdit, siber terörizm konuları ele alınmıştır. Kişilerin bu tip siber suç türlerinden korunmak için parola-şifre, VPN, yedekleme, antivirus, control ve denetleme, anti malware, güncelleme, güvenlik duvarı yöntemleri kullanıp kullanmadıkları da araştırılmıştır [44].

Ünal(2018) çalışmasında, hizmet reddi (Denial of Service ) saldırılarını incelemiştir. Bu tip saldırılarının tespit edilebilmesi için derin öğrenme sistemleri geliştirilmesi üzerinde durmuştur. NSL-KDD veri kümesi seti kullanılarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalarında 10-kat çapraz doğrulama tekniği kullanmıştır. Derin öğrenme sistemlerinin başarısını karar destek sistemleri, yapay sinir ağları ve naive bayes makine öğrenmesi sınıflandırıcıları ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda derin öğrenme modelinin diğerlerine göre başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmiştir [45].

Ünlü (2018), internet bankacılığı sistemindeki saldırıları ve bu saldırılardan nasıl korunacağı hakkında bir çalışma yapmıştır. İnternet bankacılığı kapsamında yapılan saldırıları şu şekilde sınıflandırmıştır; ortadaki adam saldırısı (man in the middle/browser), android ve ios uygulama marketlerinden yüklenen sahte internet bankacılığı uygulamaları, sosyal mühendislik çeşitleri (phishing, smishing ve vishing), sim kart yenileme/operatör değişikliği ve e- postalar değişikliği eylemleri, tuş ve ekran kaydedici uygulamalarıdır [46].

İlgaz (2018), KOBİ'lerin karşılaşılabilecekleri siber tehditlere karşı alınabilecek önlemleri ele almış, uluslararası bilgi güvenliği standartlarını incelemiştir [47]. Güven (2018) çalışmasında, Kenar bilişime yapılan siber saldırılar konusuna değinmiştir. Kılıç Kenar Bilişim Güvenlik Uygulaması önermiştir. Karar Ağacı, Destek vektör makinesi, En Yakın Komşu, Derin Öğrenme ve Naive Bayes algoritmaları kullanılmaktadır [48].

Aytan ve Barışçı (2018), siber saldırı tespit sistemleriyle ilgili en çok kullanılan veri setli "KDD Cup'99" veri seti kullanılarak hizmet dışı bırakma saldırıları ve bilgi tarama saldırıları Weka aracında yer alan makine öğrenme algoritmaları ile tespit etmeye çalışılmıştır. En iyi sonucun Rastgele Orman Algoritması ile ortaya çıktığı tespit edilmiş olup en yakın değerler Geri Yayılma Algoritması ile elde edildiğini ortaya koymuşlardır [49]. Kara ve Aydos (2018) fidye yazılımı kullanılarak kamu kuruluşlarına yapılan saldırıları statik ve dinamik analizler yapılarak nasıl tespit edileceği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada temasta bulunan sunuculardan



whois bilgileri ile saldırıların izlerinin sürülebileceğini çözüm olarak ise bilişim suçları konusunda hukuki boyutta düzenlemeler yapılmasının uygun olduğu ileri sürülmüştür [50].

Çekmez vd., (2018) Dos, Probe, R2L ve U2R (NSL-KDD veri seti) saldırılarını belirlemek için derin öğrenme algoritmalarında otomatik kodlayıcılardan faydalanmışlardır. Çalışmanın bilgisayar ağındaki anomalilerin tespitinde başarılı olduğu saptanmıştır [51]. Baykara ve Güçlü (2018) Çapraz site betikleme (XSS) saldırısını algılama, önleme ve ortadan kaldırma için yeni bir teknik önermişlerdir. Çalışma dört farklı web yazılım için geliştirilmiştir [52].

Say vd., (2017) ev ve ofis cihazlarının da siber saldırıları tehditleriyle karşı karşıya kaldıklarını değinmişlerdir. Ev ve ofis ağına yapılan en sık siber saldırıların fidye yazılımı, casus yazılımlar, ortalama saldırıları ve mobil yazılımla gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Ev ve ofis ağına yapılan söz konusu saldırıların basit makine öğrenmesi yöntemleri ve açık kaynak çözümler ile engellenebileceği ve bu şekilde ev ve ofis ağına bağlanan yeni teknolojik cihazların daha güvenilir olacağını ortaya koymuşlardır [53].

Çelik ve Çeliktaş (2017) çalışmalarında, 1989 ve 2017 yılları arasında kurum ve kuruluşları AIDS, GPCoder, Nakit Ödeme-Vundo, Winlock, Reveton ve Polis, CrptoLocker, Cryptowall, Locky ve KeRanger, WannaCry, Petya isimli saldırıları incelemişlerdir. Çözüm yöntemleri olarak yedekleme ve veri kurtarma, Ağ Yapısı ve Yönetilmesi, Eğitim, Yama yönetimi ve güncelleme süreçleri, Antispam/Malware, yeni nesil güvenlik sistemleri, Operasyonel Temizleme olduğunu belirtmişlerdir [54].

Çatak ve Mustaoğlu (2017), dağıtık hizmet dışı bırakma (DDoS) saldırılarını engellemeye yönelik ağ trafiği sınıflandırma modeli çalışmışlardır. Model, derin öğrenme yöntem ve teknolojileri tabanlıdır. Saldırıların algılanmasında makine öğrenme yöntemleri ve derin öğrenme teknolojileri kullanmışlardır [55].

Kılınç ve Çağal (2017), oturum başlatma protokolü (SIP) tabanlı VoIP (Voice Over Internet Protocol) sistemlerine yapılan fuzzing atakların tespit edilmesi ve önlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada saldırı aktivitelerinin izlenmesi ve tespit edilmesi için bal küpü (honeypot) sisteminden faydalanılmıştır. Çalışmada bilgisayar korsanlarının bu tip saldırılara sıklıkla başvurdukları değerlendirilmiş ve fuzzing ataklarında başarısız olduklarında saldırı tipini değiştirilerek DDoS saldırısına yönlendikleri tespit edilmiştir [56].

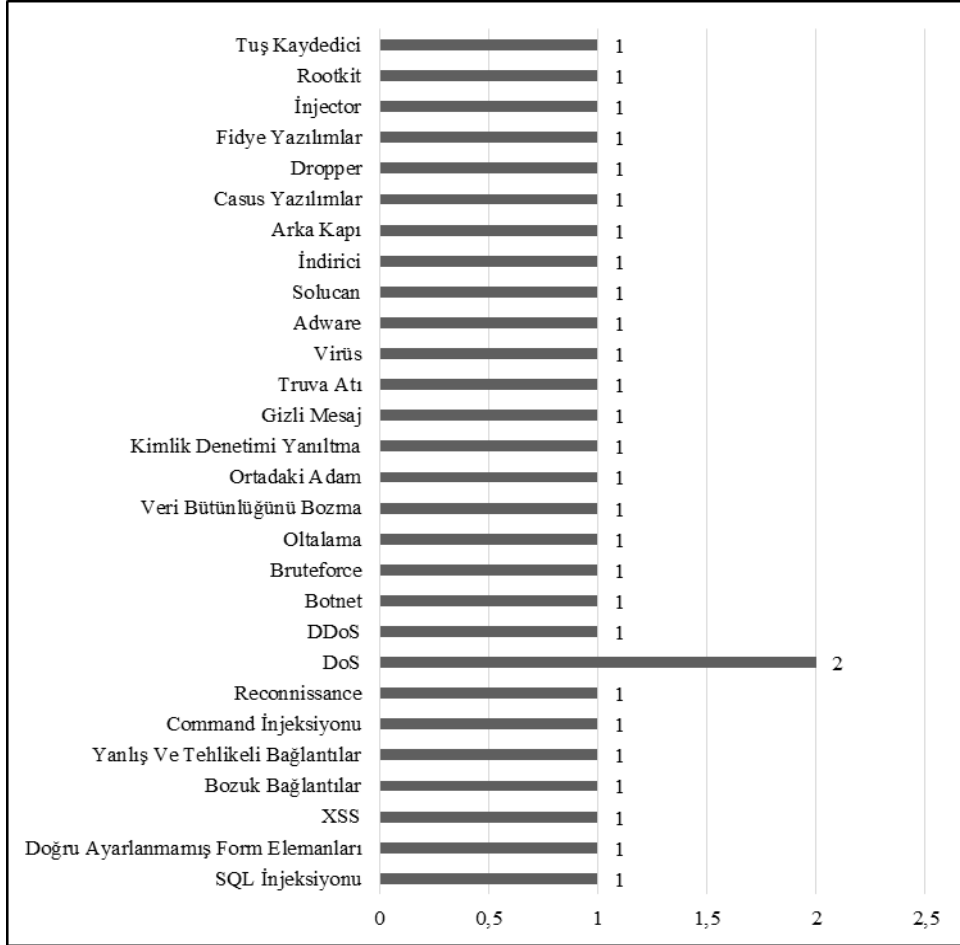
Karşılığ vd., (2017) Hizmet Engelleme Saldırısı (Denial of Service Attacks), Kullanıcıya kök Saldırıları (User to Root Attacks), Uzak Kullanıcı Saldırıları (Remote User Attacks), İnceleme (Probing) saldırılarına odaklanmışlardır. Veri setinde saldırı tespiti için yarı eğitimli k-ortalama kümeleme algoritması kullanılmıştır. Karesel yanılı toplamı yöntemi ile algoritmanın performansı arttırılmaya çalışılmıştır. Farklı makine öğrenme teknikleri ile kendi önerdikleri algoritmanın performansı karşılaştırılmış olup yöntemlerinin naive bayes, çok katmanlı algılayıcı ve destek vektör makinesinde daha başarılı olduğu belirlenmiştir [57].

Keleş vd., (2017) destek vektör makinesi, iforest ve LOF (Local Outlier Factor) algoritmaları ile kullanıcıların profillemesi, profil değişikliklerinin tespiti ve ağda etki yaratan saldırıların tespit edilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [58].

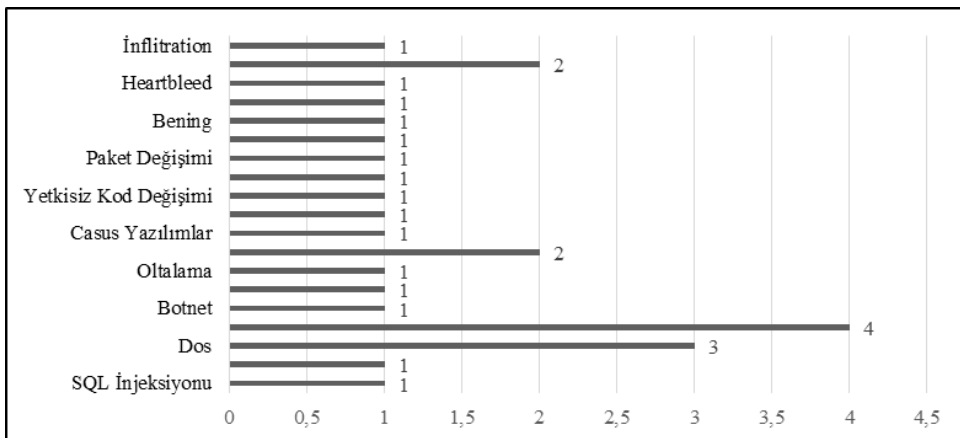
Çınar ve Bilge (2016), web loglarının analizi veri madenciliği yöntemi ile yapılmıştır. Analiz kısmında, web robotların isteklerinin temizlenmesiyle elde edilen kullanıcılara ait logların analizi ve genel istatistiksel analiz metodlarına başvurmuşlardır. Web loglarında incelenen saldırılar SQL injeksiyonu, çapraz site betikleme ve Siteler Ötesi İstek Sahteciliğidir. Çalışmalarında yazılım olarak WEKA'yı tercih etmişlerdir. Web madenciliği tekniklerini kullanarak Apache Scalp ile saldırı sayısının %88,7 oranında azaldığı tespit edilmiştir [59]. Tekerek vd., (2016) web tabanlı saldırı türleri olan SQL injeksiyonu, çapraz site betikleme saldırılarını önlemek için, yeni bir hibrit model önermişlerdir. Anormal tabanlı denetimi yaparken bayes sınıflandırma algoritmasından yararlanmışlardır. [60].

Baykara (2016) doktora tezi çalışmasında, bal küpü temelli yaklaşımları ile SQL enjeksiyon, Çapraz site betikleme (XSS), siteler arası istek sahteciliği (CSRF), başlık enjeksiyonu, basit izin erişim protokolü enjeksiyonu (LDAP), izin atlatma, uzak/yerel dosya ekleme, hizmet engelleme ve kaba kuvvet saldırılarını tespit etmek ve saldırıları engellemek üzerine bir araştırma yapmıştır [61]. Yıldız vd., (2016) bayesçi çoklu değişim noktasını oturum başlatma protokolü (SIP) ağına yapılan saldırıların tespitinde kullanmışlardır. Saldırı türü olarak gözlemlenen ağ trafiği üzerindeki DDoS saldırılarıdır. Model ağa yönlenen saldırıyı anında tespit edip kullanıcıyı uyarma üzerine yapılandırılmıştır [62].

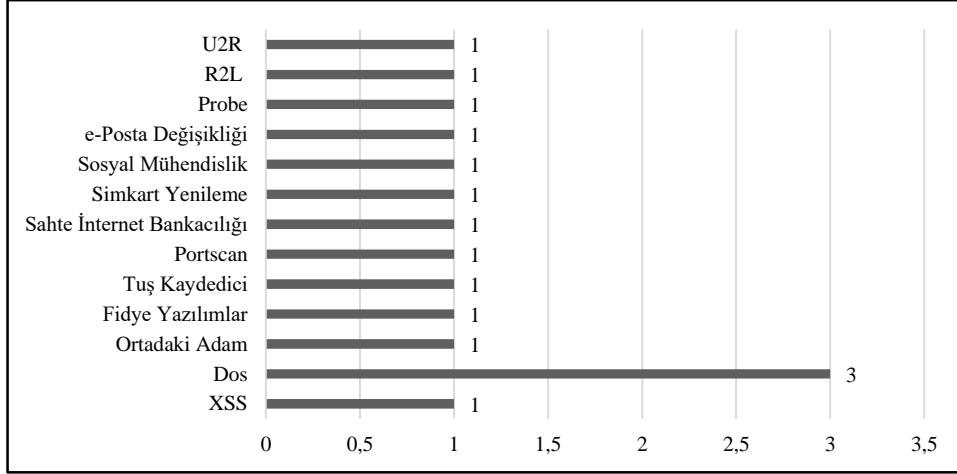
Tüm incelediğimiz çalışmalara ait saldırı türlerini ve tespit yöntemlerine göre yıllara bağlı olarak dağılım grafikleri Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmaktadır. Grafikler her bir çalışmanın içerisinde geçen saldırı tipleri ve yöntemleri grup halinde değil bireysel olarak sınıflandırılmış ve sayılmıştır. Örneğin 2020 yılına ait bir çalışmada veri dosyasında hem DoS atağı hem de DDoS atağı bulunmaktaysa tek çalışma ancak incelenen tür farklı olduğundan DoS (1) ve DDoS (1) olarak işaretlenmiştir. Yani DDoS-DoS (1) şeklinde grup halinde işaretlenmemiştir. Aynı durum kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması ve sayılmasında da geçerlidir.



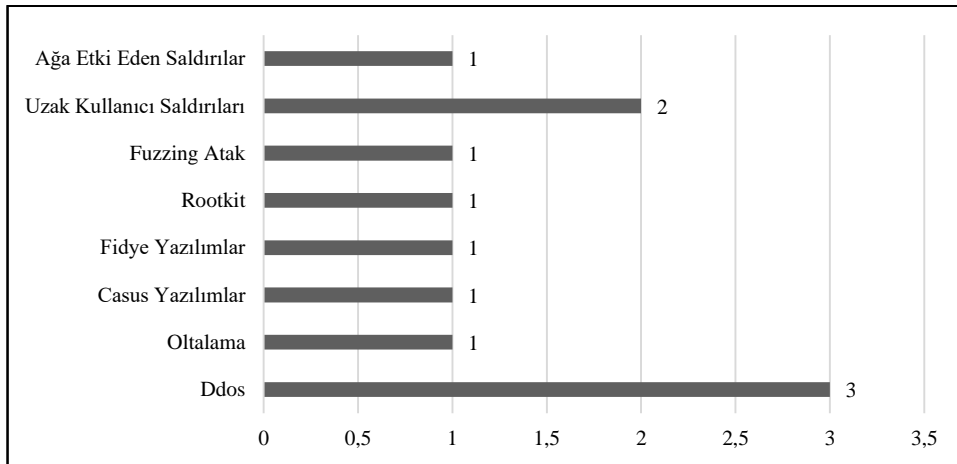
Şekil 1. 2020 yılı saldırı türleri dağılım grafiği



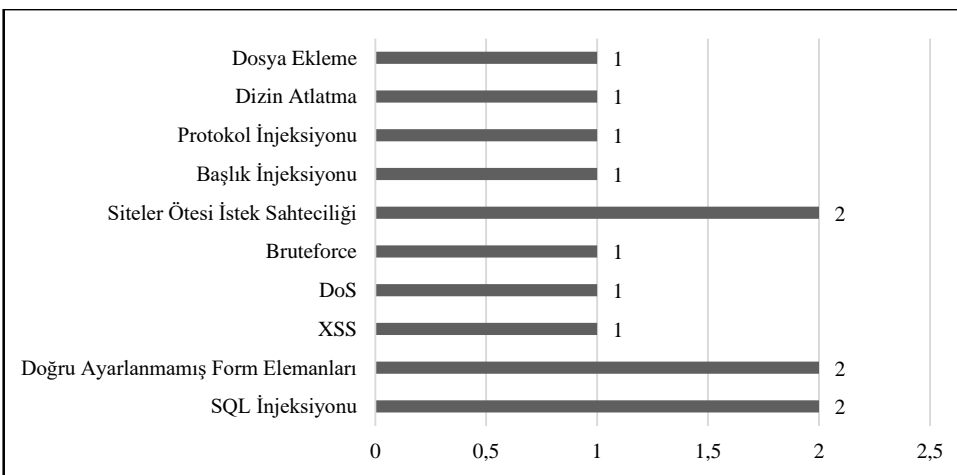
Şekil 2. 2019 yılı saldırı türleri dağılım grafiği



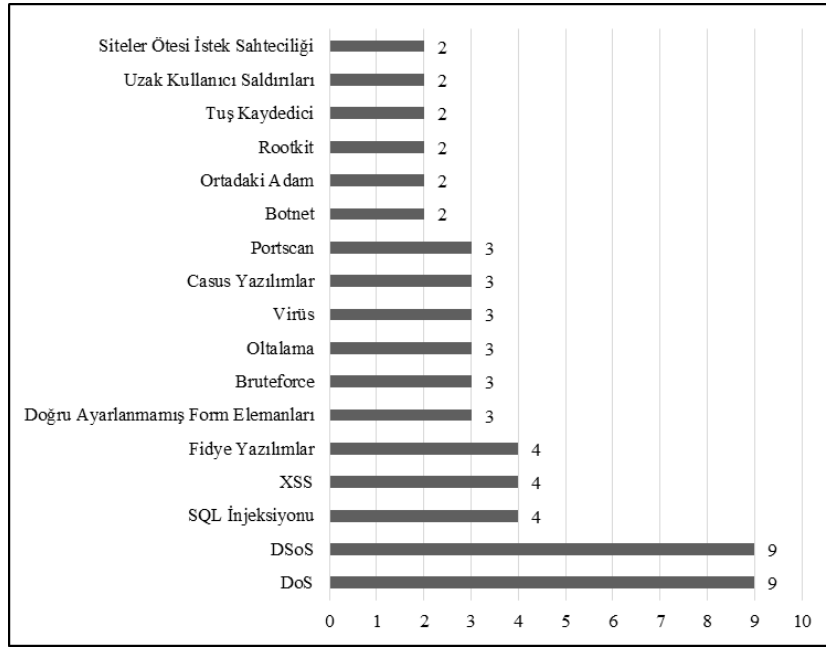
Şekil 3. 2018 yılı saldırı türleri dağılım grafiği



Şekil 4. 2017 yılı saldırı türleri dağılım grafiği

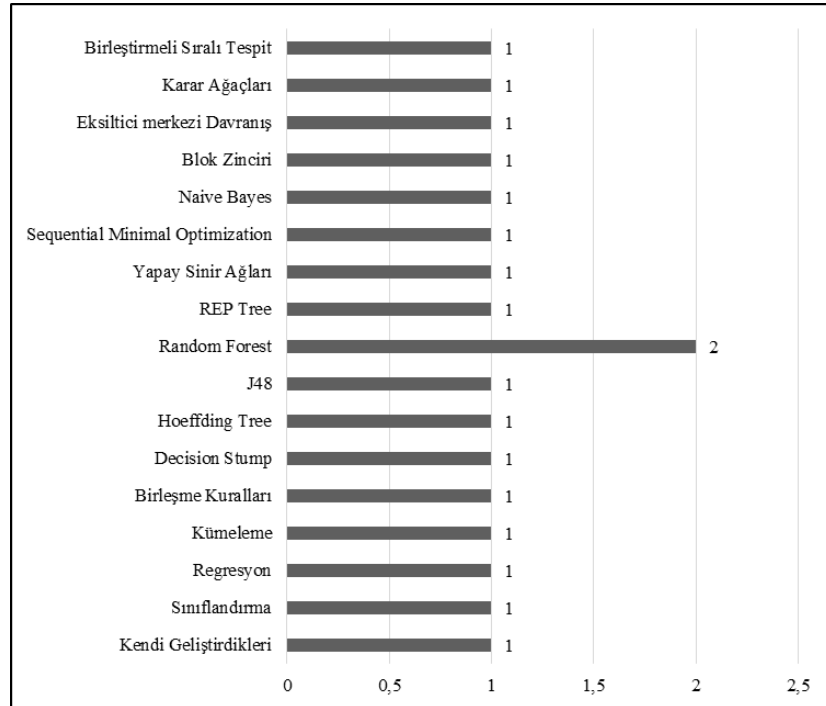


Şekil 5. 2016 yılı saldırı türleri dağılım grafiği

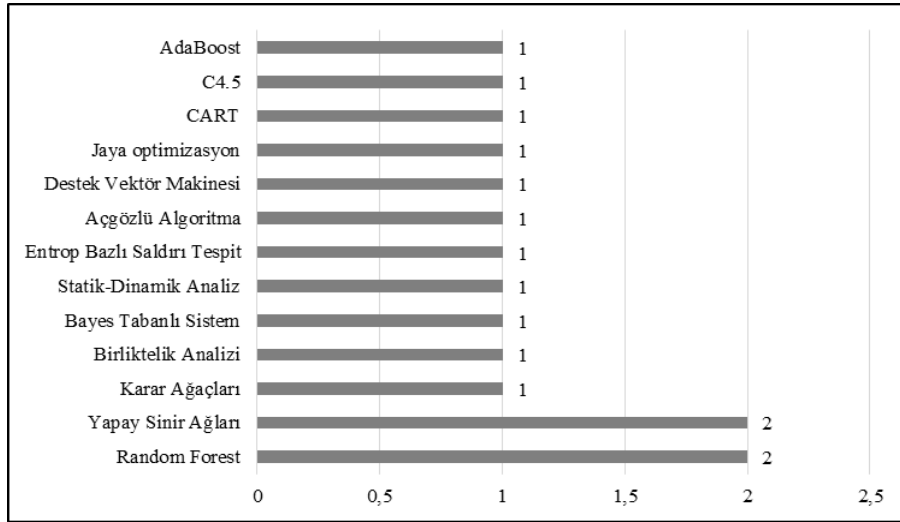


Şekil 6. Toplamda en çok saldırı türleri

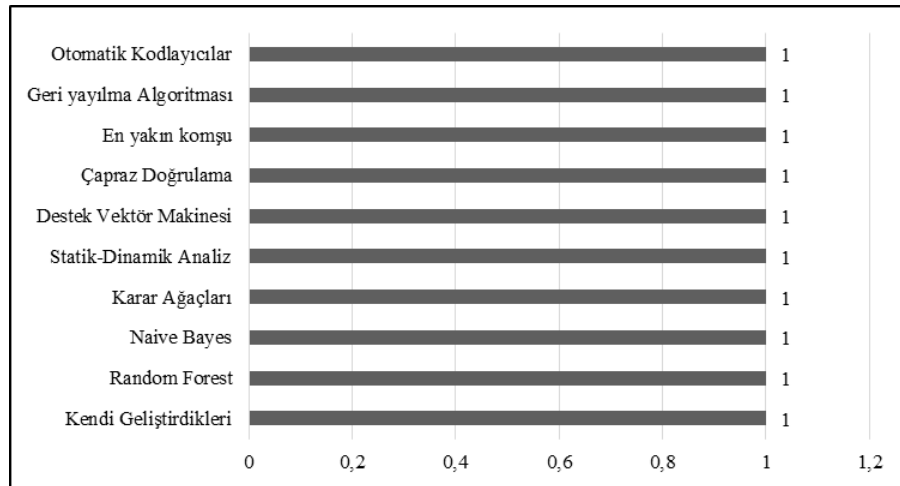
Tüm saldırı türleri dağılım grafiği incelendiğinde 2016-2020 yılları arasında her bir yılda çalışmalara konu olan benzer saldırı tiplerinin olması yanında farklı saldırı tipleri olduğu da gözlemlenmektedir. Toplamda en çok incelenen saldırı türüne baktığımızda (Şekil 6) DoS ve DDoS saldırı türlerinin en sık rastlanılan araştırma konusu olduğu, bunu SQL injesiyonu, XSS ve fidye yazılım saldırılarının takip edildiği görülmektedir. Her bir yıla ait grafikleri incelediğinde 2020-DoS, 2019-DDoS, 2018-DoS ve 2017-DDoS saldırılarının en çok incelenen saldırı türleri olduğunu görülmektedir. 2016 yılında dağılım yapısı diğer yıllara göre farklı olup SQL injesiyonu, doğru yayınlanmamış form elemanları ve siteler ötesi istek sahteciliği saldırılarının en çok incelenen saldırılar olduğu belirlenmiştir.



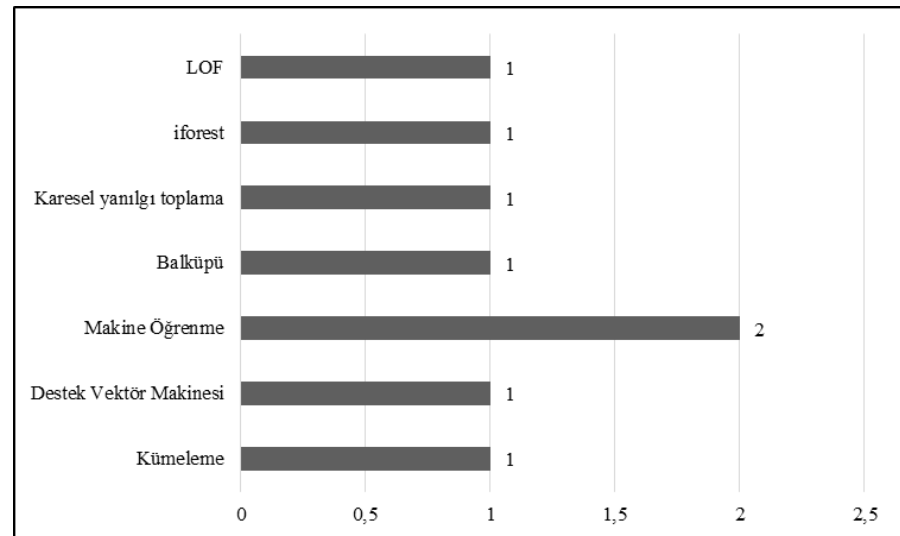
Şekil 7. 2020 yılı saldırı tespit yöntemleri



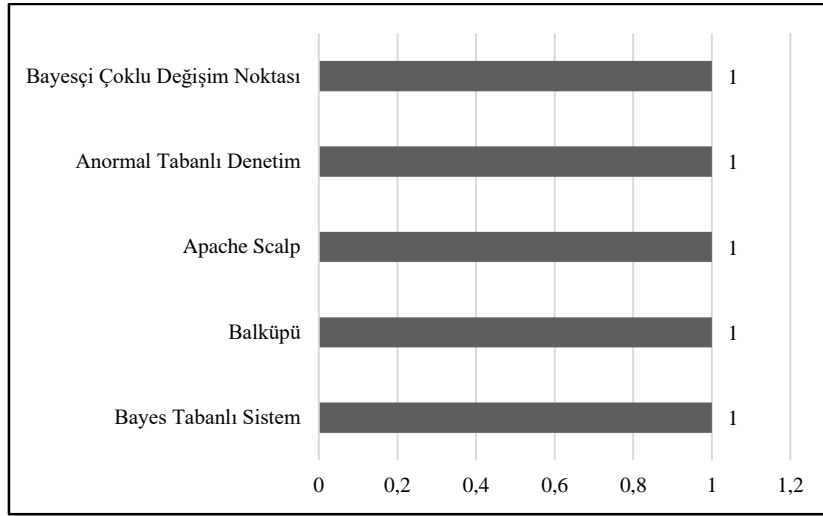
Şekil 8. 2019 yılı saldırı tespit yöntemleri



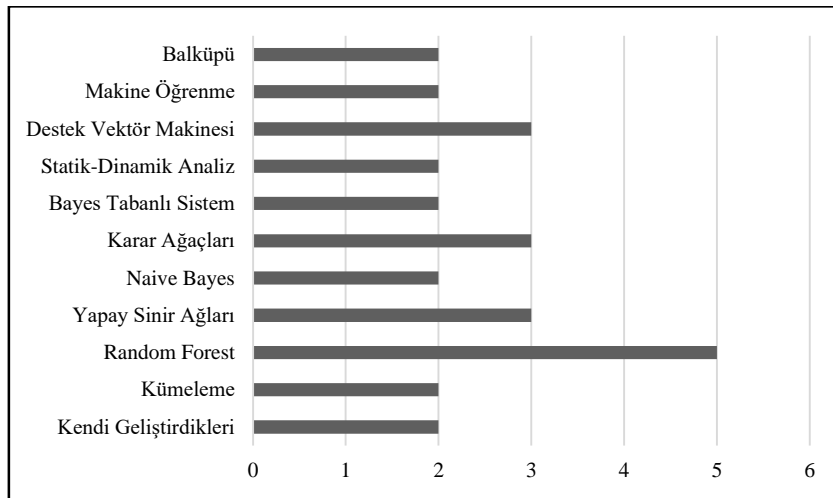
Şekil 9. 2018 yılı kullanılan saldırı tespit yöntemleri



Şekil 10. 2017 yılı kullanılan saldırı tespit yöntemleri



Şekil 11. 2016 yılı kullanılan saldırı tespit yöntemleri



Şekil 12. Toplamda en çok kullanılan saldırı tespit yöntemleri

Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11 de 2016-2020 yılları arasındaki incelenmiş siber saldırı türlerine karşılık tespit ve engellemek için kullanılan yöntemler ait frekans bilgileri sunulmaktadır. Şekil 12 toplamda en çok kullanılan saldırı tespit yöntemlerine ait frekans bilgilerini göstermektedir. Şekillere ait frekans değerleri oluşturulurken eğer araştırmacı karar ağaçları, makine ve derin öğrenme yöntemlerinden herhangi birini özel olarak belirtmişse o zaman yöntem sınıflandırma o özel yöntemle göre yapılmıştır. Örneğin destek vektör makinesi bir makine öğrenme yöntemidir, random forest ise karar ağacı yöntemidir. Eğer araştırmacı random forest şeklinde bir yöntem belirtmişse bu durumda çözüm yöntemi olarak random forest frekans tablosuna dâhil edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise sadece karar ağacı veya makine öğrenme ifadeleri kullanıldığı da görülmektedir. Her yıla ait olan şekiller incelendiğinde 2020 yılında random forest, 2019 yılında random forest ve yapay sinir ağları, 2017 yılında makine öğrenme tekniklerinin sıklıkla kullanıldığı 2018 yılında ve 2016 yıllarında kullanılan yöntemler birbirinden farklı olmakla birlikte her bir yöntemle ait dağılımın eşit olduğu gözlemlenmektedir. Yıl bağımsız olarak en çok kullanılan yöntemlere baktığımızda Random Forest karar ağacı modelinin en çok kullanılan yöntem olduğu bu algoritmayı, yapay sinir ağları, karar ağaçları, destek vektör makinesi algoritmalarının izlediği gözlemlenmiştir. Her bir yıla ait grafikleri incelediğimizde yıllara bağlı olarak kullanılan algoritmaların birbirinden çoğunlukla farklı olduğunu da görülmektedir.

#### IV. SONUÇ

Siber saldırılar bugün tartışmasız çok önemli bir konudur ve önümüzdeki yıllarda da zorlu bir sorun olmaya devam edecektir. Kullanıcıları ve geliştiricileri, teknolojilerin güvenliği konusunda eğitmek önemlidir. Siber alemdeki kullanıcıların hem siber savunma yetenekleri hem de siber saldırı yetenekleri hakkında sağlam bir anlayışa sahip olması gerekir. Bir siber saldırının etkisi, kademeli olarak büyük yankılara sahip olabilir. Günümüzde teknolojiye bu kadar çok güven duyulduğu için, toplumun her kesimi etkili bir şekilde tehlikeli koşullara girebilir. Finansal kurumlar, sağlık hizmetleri, eğitim kurumları devlet hizmetleri, enerji hizmetleri ve çok daha fazlası bir ağa bağlı- küresel erişimli bir ağ bağlantılıdır. Yaşamal hizmetleri korumak ve korunmak için sürekli olarak siber saldırılar hakkında kullanıcılar eğitilmesi zorunluluk olmuştur.

Siber suç, dünya çapında en önemli bir tehdittir. Daha kaliteli teknolojiye olan sürekli talep, nihayetinde küresel bir gücü kolaylaştırırken aynı zamanda küresel bir ulusun da siber alana bağımlılığını şekillendirmektedir. İnternetin genişlemesi, teknolojinin gelişmeye devam etmesi, kişisel ve hassas bilgilere sızan bilgisayar korsanları, toplumun her kesiminde, işletmelerde ve hatta devlet kurumlarında endişe oluşturmaktadır. Siber saldırılar, dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde her gün aralıksız olarak gerçekleşmektedir. Siber tehditlere karşı koruma sağlamak için; yasalar oluşturmak ve güvenli ağ mimarileri tasarlamak, tüm kullanıcıları için eğitim ve öğretime kadar birden fazla eşzamanlı boyut çok önemlidir.

Çalışmamızda, siber suç, tespit ve çözüm yöntemleri konusunda Türkiye’ de 2016-2020 arasında yayınlanmış tez, makale ve sempozyum bildirimleri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında siber zorbalık, daha sosyal içerikli araştırma modelleri (bireylere site güvenlik anketi gibi) ve 2016 öncesi yapılmış olan literatür çalışmaları kapsam dışında bırakılmıştır.

Araştırılan çalışmalarda, araştırmaya tabi olunan saldırı yöntemleri ve bunları tespit etmek ve engellemek için kullanılan yöntemler yıllara bağlı olarak grafik haline getirilerek analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu grafiklere göre saldırı tiplerine baktığımızda en çok incelenen ve çalışmalara konu olan saldırı tiplerinin DoS ve DDoS saldırılar olduğu ve tespit yöntemlerinde ise Random Forest karar ağacı yönteminin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Saldırı tespit yöntemlerinde, algoritmaları sınıflandırmadan analiz edildiğinde en çok kullanılan yöntemin karar ağaçları yöntemi olduğunu söyleyebiliriz. Bunun yanında özellikle 2020 yılında yöntem olarak bakıldığında araştırmacıların derin öğrenme ve makine öğrenme tekniklerinden bağımsız olarak kendi geliştirdikleri sistemleri tercih ettikleri de gözlemlenmektedir.

Gelecek çalışmalarda, siber saldırılar ve siber tehditler konuları ele alınarak dünyada yapılan çalışmalar incelenebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Logo Siber Güvenlik ve Ağ Teknolojileri (2021). *Siber Güvenlik Nedir? Veri Güvenliğini Nasıl Sağlarsınız?*. <https://berqnet.com/blog/siber-guvenlik-nedir> (27.01.2021).
- [2] Guiora, A. N. (2017). *What is Cybersecurity*. Cybersecurity Geopolitics, law, and policy. Routledge, Newyork, 16-20. <https://books.google.com.tr/>(27.01.2021).
- [3] Standler, B. R. (2002). *Computer crime*. <http://www.rbs2.com/ccrime.htm> (01.11.2020).
- [4] Britz, J. (2004). To know or not to know: A moral reflection on information poverty. *Journal of Information Science*, 30(3), 193-204.
- [5] Furnell, S. (2003). *Cybercrime: Vandalizing the Information Society*. ICWE.9-13. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F3-540-45068-8\\_2.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F3-540-45068-8_2.pdf). (27.01.2021).
- [6] Grabosky, P., Smith, R. (2001). *Telecommunication fraud in the digital age: The convergence of technologies*. In *Crime and the Internet*, edited by David S Wall, London: Routledge. 29-43.
- [7] Yar, M., (2005). The novelty of ‘Cybercrime’ an assessment in light of routine activity theory. *European Journal of Criminology*, 2(4), 407-427.
- [8] Çolak, H. (2011). Siber terör, yargılama usulü ve önleyici tedbirler.kazancı. *Hakemli Hukuk Dergisi*, 79, 62-142.
- [9] Siber Suçlarla Mücadele Daire Başkanlığı (2019). *Siber Suç Nedir?* . <https://www.egm.gov.tr/siber/sibersucnedir> (27.01.2021).
- [10] CBS Netherlands, (2020). *Less traditional crime, more cybercrime*. <https://www.cbs.nl/engb/news/2020/10/less-traditional-crime-> (09/11/2020).
- [11] Clough, J. (2012). The Council of Europe convention on Cybercrime: defining ‘Crime’ in a digital world. *Crim Law Forum*, 23, 363–391.

- [12] United Nations. (2005). *Implementing Wsis Outcomes: A Ten-Year Review*. [https://unctad.org/system/files/official-document/dtlstict2015d3\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/dtlstict2015d3_en.pdf) (09/11/2020).
- [13] McGuire, M. (2020). *It ain't what it is, it's the way that they do it? Why we still don't understand cybercrime*. The Human Factor of Cybercrime. Routledge, New York, 3-28. <https://prod-com-bibliolabs-nuview-app-content.s3.amazonaws.com/> (09/11/2020).
- [14] HISCOX (2019). *The Hiscox Cyber Readiness Report*. <https://www.hiscox.co.uk/cyberreadiness> (09/11/2020).
- [15] Wall, D. S. (2001). *Cyber crimes and the internet*. Crime and Internet. Routledge, New York, 1-17.
- [16] Moore, R. (2005). *Identity Theft: Tools and Techniques of Twenty-First Century Bandits*. Cybercrime: Investigating High-Technology Computer Crime. Routledge, New York, 15-20
- [17] Gordon, S., & Ford, R. (2006). On the definition and classification of cyber crime. *Journal of Computer Virology*, 2, 13-20.
- [18] Latha, D. (2008). *Jurisdiction Issues in Cybercrimes*. <https://www.sconline.com> (09/11/2020).
- [19] Alkaabi, A., Mohay, G., Mucullagh, A. & Chantler, N. (2010). *Dealing with the problem of cyber crime*. In: *Baggili*. Heidelberg, Springer, Berlin, 1-18.
- [20] Halder, D. & Jaishankar, K. (2016). *Policing Initiatives and Limitations*. In: J. Navarro, S. Clevenger, and C. D. Marcum (eds.). *The Intersection between Intimate Partner Abuse, Technology, and Cyber crime: Examining the Virtual Enemy*, Carolina Academic Press, Durham, North Carolina, 167-186.
- [21] CPS, "Cybercrime - prosecution guidance,". *The Crown Prosecution Service (CPS), Tech. Rep.* (2019). <https://www.cps.gov.uk/legal-guidance/cybercrimeprosecution-guidance> (09/11/2020).
- [22] McGuire, M. (2013). Cyber-enabled crimes - fraud and theft. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/248621/horr75-chap2.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/248621/horr75-chap2.pdf). (09/11/2020).
- [23] Anderson, R., Barton, C., Bolme, R., Clayton, R., Ganan, C., Grasso, T., Levi, M., Moore, T. & Vasek, M. (2019). *Measuring the changing cost of cybercrime*. Workshop on the Economics of Information Security (WEIS), [https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/294492/WEIS\\_2019\\_paper\\_25.pdf](https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/294492/WEIS_2019_paper_25.pdf) (09/11/2020).
- [24] Aşan, H. & Gökşen, Y. (2020). Web uygulamalarında güvenlik ve süreç etkinliği kapsamında bir araç: DEBSA, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(4), 1407-1430.
- [25] Söğüt, E. & Erdem, O.A. (2020). Endüstriyel kontrol sistemlerine (SCADA) yönelik siber terör saldırı analizi, *Journal of Polytechnic*, 23(2), 557-566.
- [26] Karaman, M.S., Turan, M. & Aydın M. A. (2020). Yapay sinir ağı kullanılarak anomali tabanlı saldırı tespit modeli uygulaması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 17-25.
- [27] Büber, E. & Diri, B. (2017). DDİ yöntemleri ile ortalama saldırılarının URL'den tespit edilmesi. *2nd International Conference on Computer Science and Engineering*, 5 Ekim, Antalya, 1-5.
- [28] Angin, P. (2020). Blockchain-Based data security in military autonomous systems. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 362-368.
- [29] Aslan, Ö. (2020). *Zararlı Yazılımların Göstermiş Oldukları Davranışlara Göre Analiz Ve Tespit Edilmesi*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [30] Altuntaş, V. (2020). Birlikte kural analizi tabanlı izleme ve bayes ağları ile operasyonel teknoloji sistemlerinde siber güvenlik analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı*, 20, 498-505.
- [31] Topal, A. D., Geçer, A.K., Akkaya, O., Güzel, Y. E. & Of, M. (2019). Öğretmen adaylarının bilişim suçları ile ilgili bilgi düzeylerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 45, 159-174.
- [32] Ekşim, A. & Kara, M. (2019). Açık kaynak istihbaratı üzerinden siber saldırı tespiti yöntemleri, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7, 577-593.
- [33] Süzen, A.A., Şimşek, M. A., Gürfidan, R. & Kayaalp, K. (2019). The attack methodology to wireless domains of things in Industry 4.0., *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (Enar Özel Sayı), 143-151.
- [34] Kara, İ. (2019). Web tabanlı zararlı yazılımların saldırı yöntemleri ve analiz teknikleri, *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 5(1), 46-53.
- [35] Yücebaş, S.F. (2019). *An entropy based ddos detection method and implementation*. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [36] Özer, Ç. & Takaoğlu, M. (2019). Saldırı tespit sistemlerine makine öğrenme etkisi. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 3(1), 11-22.
- [37] Ahmetoğlu, H. & Daş, R. (2019). Derin öğrenme ile büyük veri kümelerinden saldırı türlerinin sınıflandırılması. *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. Malatya, 1-9.



- [38] Ateş, Ç., Özdel, S., Yıldırım, M. & Anarım, E. (2019). Network anomaly detection using header information with greedy algorithm. *27<sup>th</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Sivas, 1-4.
- [39] Tok, M.S. & Selçuk, A.A. (2019). nesnelerin internetinin güvenliğine yönelik algı ve tercihlerin tespiti üzerine bir çalışma. *4<sup>th</sup> International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 11-15 Eylül, Samsun, 211-216.
- [40] Atasever, K. N. (2019). *Jaya optimizasyon algoritması tabanlı metamorfik kötüçül kod tespiti*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [41] Şanlıöz, Ş. G., Kara, M., Aydın, M. A. & Balık, H. H. (2019). attack detection of web phishing with machine learning methods. *12<sup>th</sup> International Information Security and Cryptology Conference (ISCTurkey)*, 6-12.
- [42] Özekes, S. & Karakoç, E. N. (2019). Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Anormal Ağ Trafikinin Tespit Edilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 566-576.
- [43] Terzi, M. (2018). Bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı oluşumlar ile bu oluşumların uluslararası ilişkilere güvenlik bağlamındaki etkisi: siber terörizm. *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, 28(1), 73-108.
- [44] Yılmaz, Y. (2018). *Siber suç korkusu ve önlem alma stratejileri: Ankara'daki Teknokentler Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [45] Ünal, A. (2018). *Hizmet reddi saldırılarının, derin öğrenme ile tespiti*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [46] Ünlü, U. (2018). İnternet Bankacılığı Sisteminde Tüketicilerin Karşılaşacağı Olası Saldırı ve Çözüm Önerileri. *Bankacılar Dergisi*, 104, 82-96.
- [47] Ilgaz, B. (2018). *Küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (kobi) için veri güvenliği ve standartları*. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [48] Güven, E.Y. (2018). *Kenar bilişim için siber saldırıları tespit ve önleme yöntemleri*. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [49] Aytan, B., & Barışçı, N. (2018). Siber savunma alanında yapay zekâ tabanlı saldırı tespiti ve analizi. *SETSCI Conference Indexing System*, 3, 1384-1390.
- [50] Kara, I. & Aydos, M. (2018). Static and dynamic analysis of third generation cerber ransomware. *International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism (IBIGDELFT)*, 3-4 Aralık, Ankara, 12-17.
- [51] Çekmez, U., Erdem, Z., Yavuz, A. G., Sahingoz, O. K. & Buldu, A. (2018). Network anomaly detection with deep learning. *26<sup>th</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2-5 Mayıs, İzmir.
- [52] Baykara, M. & Güçlü, S. (2018). Applications for detecting XSS attacks on different web platforms. *6<sup>th</sup> International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS)*, 22-25 Mart, Antalya, 1-6.
- [53] Say, T., Alkan, M., Doğru, İ.A. & Dörterler, M. (2017). Ev ve ofis ağına katılan cihazların güvenliğinin artırılması için basit makina öğrenmesi yöntemiyle ağ geçidi üzerinde güvenlik çözümleri oluşturulması. *10. Uluslararası Bilgi Güvenliği Ve Kriptoloji Konferansı*, 20 - 21 Ekim, Ankara.
- [54] Çelik, S. & Çeliktaş, B. (2017). Güncel siber güvenlik tehditleri: fide yazılımlar. *Cyberpolitik Journal*, 2 (4), 296-323.
- [55] Çatak, F.O. & Mustaoğlu, A.F. (2017). Derin öğrenme teknolojileri kullanarak dağıtık hizmet dışı bırakma saldırılarının tespit edilmesi. *5<sup>th</sup> High Performance Computing Conference*, 14-15 Eylül, İstanbul.
- [56] Kılınç, H. H. & Çağal, U. (2017). Detecting VoIP fuzzing attacks by using a honeypot system. *25<sup>th</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 15-18 Mayıs, Antalya.
- [57] Karslıgil, M. E., Yavuz, A. G., Güvensan, M. A., Hanifi, K. & Bank, H. (2017). Network intrusion detection using machine learning anomaly detection algorithms. *25<sup>th</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 15-18 Mayıs, Antalya.
- [58] Keleş, B., Hakverdi, C. & Karabıyık, E. (2017). Örüntü tanıma ve analiz yöntemleri ile hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik anormallik tespit uygulaması geliştirmesi. *34. TBD National Informatics Symposium*, 20-21 Aralık, Ankara, 58-64.
- [59] Çınar, I. & Bilge, H.Ş. (2016). Web madenciliği yöntemleri ile web loglarının istatistiksel analizi ve saldırı tespiti. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(2), 125-135.
- [60] Tekerek, A., Gemci, C. & Bay, Ö. (2016). Web tabanlı saldırı önleme sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi: yeni bir hibrit model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (3), 645-653.
- [61] Baykara, M. (2016). *Bilişim sistemleri için saldırı tespit ve engelleme yaklaşımlarının tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [62] Yıldız, Ç., Ceritli, T. Y., Kurt, B., Sankur, B. & Cemgil, A. T. (2016). Attack detection in VOIP networks using Bayesian multiple change-point models. *24<sup>th</sup> Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 16-19 Mayıs, Zonguldak, 1301-1304.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Plaka Bölgesi Tespiti Problemi için Yapay Arı Koloni Algoritması ile YSA Eğitiminin APKD’de Gerçeklenmesi

### Implementation of ANN Training with Artificial Bee Colony Algorithm for Plate Region Detection Problem on FPGA

Mehmet Ali Çavuşlu<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 22/02/2021*

*Revize / Revised: 15/05/2021*

*Kabul / Accepted: 31/05/2021*

#### ÖZ

Son zamanlarda Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitimlerinde türev bilgisi gerektiren algoritmalara alternatif olarak küresel arama özelliğine sahip evrimsel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada YSA eğitimi, evrimsel algoritmalarından Yapay Arı Koloni (YAK) algoritması ile Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (APKD) üzerinde donanımsal gerçekleştirilmiştir. APKD tabanlı gerçeklemede sayı formatı ve aktivasyon fonksiyonu yaklaşımı maliyet, hız ve hata duyarlılığı açısından önem arz etmektedir. Çalışmada yüksek hassasiyet ve dinamiklik özelliklerine sahip IEEE 754 kayan noktalı sayı formatı seçilmiştir. Üssel fonksiyonun donanımsal gerçekleşmesinin zor olması nedeni ile aktivasyon fonksiyonunun donanımsal gerçekleşmesinde matematiksel yaklaşım kullanılmıştır. Çalışmada araç plaka bölgesi tespiti probleminin çözümüne yönelik YSA mimarisi tasarlanmış ve YAK algoritması ile APKD üzerinde eğitilmiştir. Eğitilen ağın test verilerindeki %98.82 başarımlı, APDK üzerinde eğitilen YSA’nın iyi bir genelleme yaptığını ve sentezleme sonuçları, uygulamanın APDK’da sadece %9’luk alan tüketimi ile gerçekleştirilebildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler-** *FPGA, YSA, YAK, Kayan Noktalı Sayılar, Plaka Bölge Tespiti*

#### ABSTRACT

Recently, evolutionary algorithms with global search feature are frequently used as an alternative to algorithms that require derivative knowledge in Artificial Neural Network (ANN) trainings. In this study, ANN training was carried out on Field Programmable Gate Arrays (FPGA) with the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, one of the evolutionary algorithms. Number format and activation function approach is important in terms of cost, speed and error sensitivity in FPGA-based implementation. In the study, IEEE 754 floating point number format, which has high sensitivity and dynamism features, was chosen. Since the hardware implementation of the exponential function is difficult, a mathematical approach was used in the hardware implementation of the activation function. In the study, ANN architecture was designed to solve the problem of vehicle license plate region detection and trained on FPGA with ABC algorithm. 98.82% success of the trained network in the test data showed that the ANN trained on FPGA made a good generalization and the synthesis results showed that the application could be realized with only 9% area consumption in FPGA.

**Keywords-** *FPGA, ANN, ABC, Floating Point Number, Plate Region Detection*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [alicavuslu@gmail.com](mailto:alicavuslu@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-8736-3845>)  
*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, İzmit Kocaeli*

## I. GİRİŞ

Farklı uygulama alanlarında birçok problemin çözümünde, sistem girişi-çıkışı arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişki Yapay Sinir Ağları (YSA) [1] ile modellenmiştir [2][9]. Çeşitli türlere sahip olan YSA'ların kullanımında Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA) sıklıkla tercih edilmektedir [10]. YSA öğreneceği sistem modeline ait giriş-çıkış örüntüsüne uygun şekilde modellenmeli ve veri seti ile eğitilmelidir [1].

Geriye yayılım algoritması YSA eğitimlerinde sıklıkla tercih edilen algoritma [11] olmasına rağmen yerel en iyiye takılma problemlerinden dolayı kötü yakınsama [12] ve ağ eğitim performansının düşük olması [11] dezavantajlarına sahiptir. İkinci dereceden türev işlemleri ile ağ eğitimi gerçekleştirilen Newton, Levenberg & Marquardt (LM) gibi algoritmaların sağladığı en önemli avantaj eğitim hızını arttırmalarıdır [12]. Fakat bu algoritmalar yoğun işlem yükü gibi dezavantaja sahiptirler. Türev bilgisi gerektiren eğitim algoritmalarına alternatif olarak küresel arama özelliklerine sahip evrimsel algoritmalar son yıllarda ağ eğitiminde literatürde sıklıkla kullanılmaktadır [14]-[18].

YSA'ların doğası gereği paralel veri işleme özelliğinin donanıma doğrudan aktarımı hız açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. FPGA'lar sağlamış olduğu paralel işlem yapabilme ve ardışık düzen (pipeline) veri işleme yetenekleri ile yoğun işlemler gerektiren uygulamalar için uygun bir platformdur [19]. Bu özellikleri ile son zamanlarda FPGA'lar YSA'ların donanımsal gerçekleştirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir [20]-[24].

FPGA üzerinde YSA'ların gerçekleştirilmesi yönelik çalışmaları parametreleri belirlenmiş (eğitilmiş) ağır gerçekleştirilmesi [25]-[31] ve YSA'nın gerçek zamanlı olarak eğitimi ile gerçekleştirilmesi olarak iki grupta toparlayabiliriz [32]-[37].

YSA'ların FPGA üzerinde gerçekleştirilmesinde en önemli kriterler seçilecek sayı formatı ve kullanılacak aktivasyon fonksiyonu yaklaşımıdır. Çalışma [29], [30], [32], [34]]'te farklı bit uzunluklarında sabit noktalı sayı formatı kullanılmıştır. Çalışma [25], [26], [28], [31]-[33], [35], [37]'de kayan noktalı sayı formatı kullanılmıştır. Çalışma [27]'de ise sayı formatı olarak tam sayı formatı kullanılmıştır.

Çalışmalarda aktivasyon fonksiyonu türü seçimlerinde literatürde sıklıkla tercih edilen logaritmik sigmoidal [25], [27], [28], [30]-[33], [36], [37] ve tanjant hiperbolik [26], [29], [34]-[37] aktivasyon fonksiyonları tercih edilmiştir. İki aktivasyon fonksiyonunda üssel ifadenin donanımsal gerçekleştirilmesinin maliyetli olması nedeni ile gerçekleştirme aşamalarında farklı yaklaşım türleri kullanılmışlardır. Çalışma [27], [28], [30] ve [34]'te bakma tablosu yaklaşımı donanımsal gerçekleştirilmiştir. Çalışma [26], [29] ve [32]'de ise parçalı doğrusal yaklaşım donanımsal gerçekleştirilmiştir. Çalışma [25] parabolik yaklaşım tercih ederken, çalışma [31], [33], [36] ve [37]'de matematiksel yaklaşım kullanarak aktivasyon fonksiyon yaklaşımlarını gerçekleştirmişlerdir.

Eğitimi ile birlikte YSA gerçekleyen çalışmalardan [32] ve [33]'te geriye yayılım algoritması, [35]'te quasi-Newton, [36]'da Levenberg & Marquardt algoritması, [34] ve [37]'de PSO algoritması kullanılmışlardır.

Bu çalışmada, FPGA üzerinde YSA eğitiminin Yapay Arı Koloni algoritması ile gerçekleştirilmesi plaka bölgesi kestirimi üzerinde anlatılmıştır. Gerçekleme aşamasında matematiksel işlemler 32 bit kayan noktalı sayı formatında gerçekleştirilmiştir. YSA gizli katmanında bulunan hücre aktivasyon fonksiyonları için matematiksel yaklaşım tercih edilmiştir. Hafıza bloklarına ihtiyaç duymaması ile bakma tablosuna göre avantaj sağlayan bu yaklaşım, parçalı doğrusal yaklaşım gibi kontrol ifadeleri de gerektirmemektedir. Çalışmada YAK algoritması ile YSA eğitimi Kintex 7 xc7k325tffg900-2 FPGA'sı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

## II. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA'lar, temel olarak insan beyninin çalışmasından ve beyin fonksiyonlarından esinlenerek gerçekleştirilen mühendislik çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Beyin davranışlarının YSA ile modellenbilmesi amacı ile literatürde farklı YSA türleri geliştirilmiştir.

Nöronların matematik modellerinin çıkarımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda hücrelerin komşu olduğu hücreler tarafından bilgi aktarımı gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Her bir hücre diğer hücrelerden topladıkları bilgileri kendi dinamiklerine uygun bir şekilde kullanarak yeni bilgi üretmektedirler.

### A. Yapay Sinir Hücresi

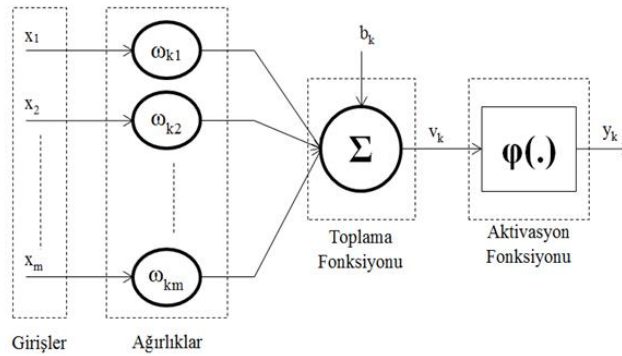
YSA'lar, bir veya birden fazla Yapay Sinir Hücre (YSH)'sinin farklı şekillerde birbirine bilgi aktarımında bulunması ile gerçekleşen hesaplama/modelleme sistemleri olarak ifade edilebilir. Katmanlar halinde tasarlanan YSA'larda her bir katmandaki YSH'ler taşıdıkları bilgileri paralel olarak bir sonraki katmana aktarır.

Şekil 1'de YSH'lere ait genel blok şema gösterilmiştir. Şekil 1'den de görüleceği üzere üç temel işlevi olan YSH'ler ilk olarak sisteme girişindeki ya da diğer YSH'ler tarafından giriş olarak verilen bilgileri, her girişe ait ağırlık değerleri ile çarpma işlemine tabi tutar. Çarpma sonucunda elde edilen ağırlıklandırılmış giriş değerleri eşik değeri ile toplanarak ikinci işlev tamamlanır. Bu iki işleve ait hesaplama yöntemi Denklem (1)'de verilmiştir. Toplama sonucunda elde edilen değer hücre aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek YSH çıkış değeri elde edilmesi ile üçüncü işlem gerçekleşmiş olur (Denklem (2)) [39].

Denklem (1)'de tanımlanan  $\omega_{ki}$  parametresi,  $k$ . YSH'nin  $i$ . girişine ilişkin ağırlık değerini,  $x_i$  ile  $i$ . hücre giriş değeri,  $b_k$  ile eşik değeri ifade edilmektedir.  $m$  ile giriş sayısı ve  $v_k$  ile de ikinci işlem sonucunda elde edilen toplamın sonucu gösterilmektedir [40].

$$v_k = \sum_{i=1}^m \omega_{ki} x_i + b_k \quad (1)$$

$$y_k = \varphi(v_k) \quad (2)$$



Şekil 1. Yapay sinir hücresi modeli

### B. Çok Katmanlı Algılayıcı

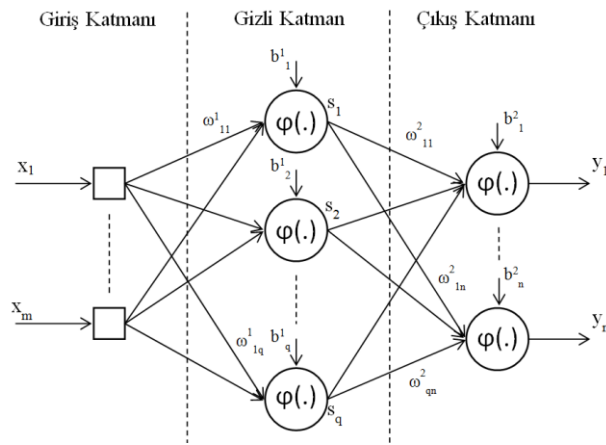
YSH'lerin birbirleri arasındaki bağlantı yapısına, hücre aktivasyon tipine ve ağ eğitim yöntemine uygun olarak çeşitli YSA'lar geliştirilmiştir [38]. Bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA), Multi Layer Perceptron (MLP) tipi YSA donanımsal olarak gerçekleştirilmiş ve eğitilmiştir.

Hücrelerin katmanlar olarak düzenlendiği ÇKA'da, katmanlar arası geçişlerde bilgi aktarımı doğrudan gerçekleştirilmektedir. ÇKA mimarisi 3 katmandan (giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı) meydana gelir. Şekil 2'de örnek ÇKA mimarisi gösterilmiştir. Şekil 2'de gösterilen ÇKA mimarisinde giriş katmanında  $m$  giriş mevcuttur. Gizli katman ise tek katmandan oluşmakta ve katmandaki hücre sayısı  $q$ 'dur. Çıkış katmanında ise  $n$  adet hücre mevcuttur. Kısaca Şekil 2'de gösterilen ÇKA mimarisinin  $m$ - $q$ - $n$  yapısına olduğu söylenebilir.

ÇKA tipi YSA mimarisinde girişlerin ağırlıklandırılarak gizli katmanda çıkışa aktarılması işlemleri Denklem (3)'deki gibi hesaplanmaktadır. Denklem (3)'de tanımlı  $u_k^1$ , gizli katmanda ağırlıklandırılmış girişlerin  $k$ . hücre eşik değeri ile toplanması ile elde edilen değerini gösterir.  $m$  giriş sayısını,  $x$  giriş değerini,  $\omega$  ağırlık değerini göstermektedir. Ağırlıkların gösteriminde kullanılan üst indis parametresi gizli katman numarasını göstermektedir. Gizli katmanda her bir hücrede elde edilen çıkış değerleri ise çıkış katmanına doğrudan aktarılır. Aktarılan bu değerler çıkış katmanında ağırlıklandırıldıktan sonra çıkış değeri Denklem (4)'deki gibi hesaplanır. Denklem (4)'de  $n$  çıkış katmanındaki hücre sayısını göstermektedir.

$$u_k^1 = \sum_{i=1}^m \omega_{ik}^1 x_i + b_k \quad \left. \begin{array}{l} \\ s_k = \varphi(u_k^1) \end{array} \right\} k=1, \dots, q \quad (3)$$

$$u_k^2 = \sum_{i=1}^q \omega_{ik}^2 s_i + b_k^2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ y_k = \varphi(u_k^2) \end{array} \right\} k=1, \dots, n \quad (4)$$



Şekil 2. ÇKA mimarisi

### III. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Arıların yiyecek arama süreçlerinin incelenerek modellenen Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması [41] uzayda farklı konumdaki kaynaklar arasında nektar yoğunluğu en fazla olan kaynağa ulaşmayı hedeflemektedir [42]. Algoritma doğası gereği her bir kaynağa ulaşabilmek için kaynağa özel arı atamaktadır. Bu doğrultuda kaynak sayısı ile işçi ve gözcü arı sayısı eşit olmaktadır. Algoritmaya ait adımlar aşağıda sırası ile listelenmiştir [42]:

1. Popülasyon başlangıç pozisyonlarının atanması
2. Tekrarla
3. İşçi arılar aşaması
4. Gözcü arılar aşaması
5. Kaşif arılar aşaması
6. En verimli kaynağı hafızaya alınması
7. Koşul şartları sağlanmamışsa 2. Adıma dön aksi taktirde algoritmayı sonlandır.

Yeni kaynak belirleme işlemleri işçi arılar tarafından gerçekleştirilir. İşçi arılar tarafından bulunan yeni kaynağın eski kaynaktan iyi olup olmadığı durumu kontrol edilir. Eğer bulunan yeni kaynak eski kaynaktan daha iyi ise kaynak kaydedilir. İşçi arılara tarafından gerçekleştirilen bu sürece ait model Denklem (5)'de verilmiştir. Denklem (5)'de  $x$  mevcut kaynağı,  $V$  güncel kaynak pozisyonunu gösterir.  $i$  ve  $k$  ise birbirine eşit olmayan rastgele tam sayılardır.  $\theta$  ise rastgele üretilmiş bir gerçel sayıdır.

$$V_{ij} = x_{ij} + \theta_{ij} \times (x_{ij} - x_{kj}) \quad (5)$$

Gözcü arılar aşamasında pozisyonunda iyileştirme yapılacak kaynakların belirlenmesinde istatistiksel seçim yöntemi kullanılır. Bu yöntemde iyi konumların seçilme olasılıklarının daha fazla olması gerekmektedir. YAK algoritmasında kullanılan istatistiksel yöntem Denklem (6)'da gösterilmiştir. Denklem 6'dan da görüleceği üzere her bir kaynağın uygunluk değeri ( $E_i$ ) tüm kaynakların uygunluk değerlerinin toplam değerine bölünerek kaynağa ait istatistiksel değer elde edilir. Bu aşamada rastgele üretilen değer kaynağa ait olasılık değerden küçük olması durumunda güncelleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Güncelleme sonucunda yeni kaynak eski kaynaktan daha iyi ise hafızaya alınır ve deneme değeri sıfırlanır. Aksi durumda deneme değeri artırılır.

$$P_i = \frac{E_i}{\sum_{n=1}^N E_n} \quad (6)$$

Kaşif arı aşamasında ise deneme değerinin tanımlanan limit değerinden fazla olup olmadığı kontrol edilir. Limitin geçilmesi durumunda mevcut kaynak pozisyonu etrafında aramaya gerek olmadığına karar verilir. Mevcut kaynak yerine rastgele bir kaynak pozisyonu üretilerek bu kaynak pozisyonunda arama gerçekleştirilir.

#### IV. YAPAY SİNİR HÜCRESİNİN DONANIMSAL GERÇEKLENMESİ

YSA'ların doğası gereği paralel mimari üzerinde gerçekleşmesi, işlem hızını artırarak işlem süresini kısaltmaktadır. Paralel mimari üzerinde gerçeklemler bu avantajları sağlarken kaynak tüketimini artırmaktadır. YSA'ların donanımsal gerçekleşmesi aşamasında veri gösteriminin ve aktivasyon fonksiyonu gerçekleştirme yaklaşımları kaynak tüketimini ve işlem hızını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan aktivasyon fonksiyonu yaklaşımı ve sayı formatı aşağıda özetlenmiştir.

##### A. Aktivasyon Fonksiyonu

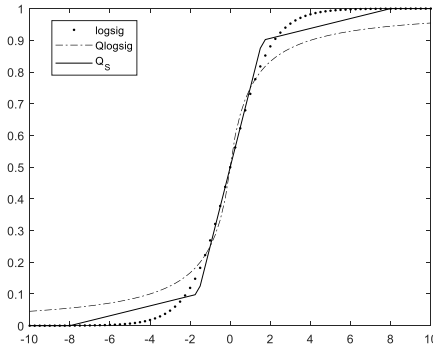
Aktivasyon fonksiyonu modellenecek sistemin gereksinimlerine uygun olarak YSH'lerde farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Çalışma kapsamında logaritmik sigmoidal aktivasyon fonksiyonu gizli katmanda bulunan YSH'lerde kullanılmıştır. Logaritmik sigmoidal (Denklem (7)) aktivasyon fonksiyonunun gerçekleşmesinde üssel fonksiyonunun doğrudan gerçekleşmesinin zor ve maliyetli olması nedeni ile çalışma kapsamında matematiksel model (Denklem (8)) yaklaşımı kullanılmıştır [43]. Denklem (9)'da ise literatürde kullanılan parçalı doğrusal yaklaşım örneği gösterilmiştir [32].

$$\text{logsig}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{logsig}}(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{x}{1+|x|} \right] \quad (8)$$

$$Q_S(x) = \begin{cases} 0 & x < -8 \\ (8-|x|)/64 & -8 \leq x \leq -1.6 \\ x/4 + 0.5 & x < |1.6| \\ 1 - (8-|x|)/64 & 1.6 \leq x \leq 8 \\ 1 & x > 8 \end{cases} \quad (9)$$

Şekil 3'te Denklem (7)-Denklem (9)'da verilen yaklaşımların karşılaştırılmaları gösterilmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği üzere Denklem (8)'de önerilen yaklaşımın logaritmik sigmoid fonksiyonuna yakın davranış sergilediği görülmektedir. Bu yaklaşımın kullanımı ile doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu kullanımı tam donanım aktarımı Denklem (9)'da gösterilen yaklaşıma göre daha başarılı şekilde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Yapay sinir hücresi modeli Aktivasyon fonksiyonu yaklaşımlarının karşılaştırılması

### B. Sayı Formatı

Sabit noktalı sayı formatı ve kayan noktalı sayı formatı, aritmetik işlemleri gerçekleştirebilmek amacı ile sayısal ortamlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada kayan noktalı sayı formatının kullanıcıya sunduğu yüksek hassasiyet ve dinamiklik sebebiyle tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan FPGA donanımları IEEE 754 kayan noktalı sayı gösterim standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [31], [33],[37].

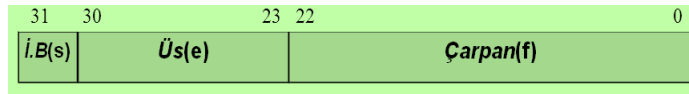
Denklem (10)'de gerçel bir sayının kayan-noktalı sayılarda gösterimi verilmiştir. Denklem (10)'da  $s$  işaret biti,  $e$  üs değerini ve  $f$  çarpan değerini gösterir. Denklem (10)'de  $bias$  değeri Denklem (11)'de ki gibi hesaplanır. Denklem (11)'de  $n$ ,  $e$  ifadesinin kaç bit ile temsil edildiğini gösterir. Denklem (10)'da üs değeri ise Denklem (12)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{Sayı} = (-1)^s 2^{e-bias} (1.f) \quad (10)$$

$$bias = 2^{n-1} - 1 \quad (11)$$

$$e = bias + \text{floor}(\log_2^{\text{Sayı}}) \quad (12)$$

Şekil 4'den de görüleceği üzere IEEE 754 kayan noktalı sayı gösteriminde ilk bit işaret biti ( $s$ ) olmaktadır. İşaret biti sonrasında gelen 8 bit üs değeri ( $e$ ) tutmaktadır. Üst ifadesi sonrasındaki bitler ise çarpan ( $f$ ) değerini tutmaktadır.



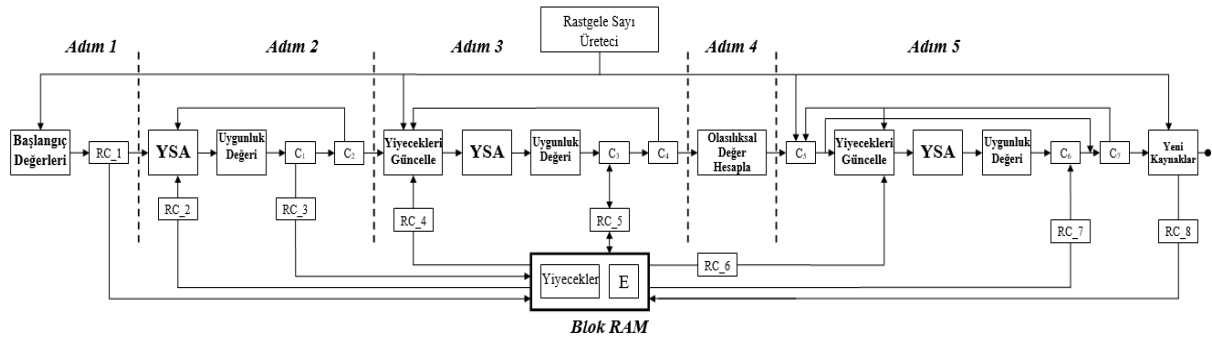
Şekil 4. IEEE 754 Kayan-noktalı sayı gösterimi

## V. YAK ALGORİTMASI İLE YSA EĞİTİMİNİN DONANIMSAL GERÇEKLENMESİ

YSA eğitiminin YAK algoritması ile FPGA tabanlı gerçekleştirilmesine ait blok şema Şekil 5'de gösterilmiştir. Donanım tabanlı gerçeklemede öncelikle kullanılacak olan hafıza birimlerinin oluşturulması gerekmektedir. Şekil 5'den de görüleceği hafıza birimleri uygunluk değeri sonuçlarının saklanması ve kaynakların uzaydaki konumlarının saklanması için oluşturulacaktır. Kaynaklar için gerekli gerekli hafıza uzunluğu kaynakların sayısı ( $N$ ) ile optimize edilecek parametre sayısının çarpımı ( $N \times D$ ) ile hesaplanır. Uygunluk değeri saklama işlemleri gerekli hafıza bloğu uzunluğu kaynak sayısına eşittir. Her iki hafıza bloğunun derinliği kullanılacak sayı formatı uzunluğuna eşit olacak şekilde jenerik olarak ayarlanmıştır.

Blok şemadan da görüleceği üzere FPGA tabanlı eğitim 5 aşamada gerçekleştirilmektedir Bu aşamalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.





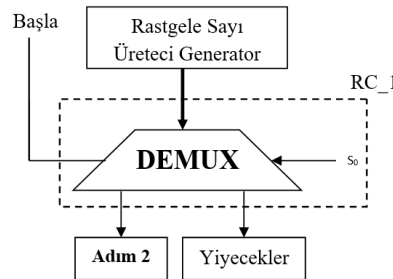
Şekil 5. YAK algoritması ile FPGA üzerinde YSA eğitimi blok yapısı

### A. Başlangıç Değerlerinin Atanması

Bu aşama Bölüm 3'te anlatılan YAK algoritmasının 1. adımınıdır. Çalışma kapsamında kaynakların başlangıç kayan noktalı sayı formatında 32 bit uzunluğunda ve Denklem (13)'de verilen hesaplama yöntemi ile [0-1] aralığında üretilmiştir [44].

$$X_{n+1} = (aX_n + b) \text{ mod } c \quad (13)$$

Şekil 5'den RC\_1 bloğu kaynakların başlangıç konumlarının üretilip hafızada saklanması işlemlerini yürütmektedir. Tüm kaynakların konumlarının üretilip hafızaya alınma işleminden sonra Adım 2'ye geçilir (Şekil 6).



Şekil 6. Başlangıç değerlerinin atanması

### B. Uygunluk Fonksiyonu Değerlerinin Hesaplanması

Bu aşamada başlangıç pozisyonları için uygunluk fonksiyonu değerlerinin ilk aşamada hesaplanmaktadır. Çalışmada YSA'nın FPGA tabanlı gerçekleştirilmesinde en önemli blok ÇKA'nın gerçekleştirilmesidir. Bölüm 4'te bu işlem bloğunun gerçekleştirilmesine ilişkin detaylar verilmiştir. Bu bloktaki parametrelerinin atanması işlemleri Şekil 5'de gösterilen RC\_2 işlem bloğu ile gerçekleştirilmektedir. Bu blok her bir kaynağa ait konum parametrelerini Yiyecekler hafıza bloğuna okuma ve YSA işlem bloğuna aktarma işlemlerini sürdürmektedir. Tüm kaynak parametreleri için YSA çıktıları kullanılarak "Uygunluk Değeri" bloğunda her bir kaynak için uygunluk değerleri hesaplanır ve C<sub>1</sub> işlem bloğu güncel uygunluk değerini RC\_3 bloğuna aktarır. RC\_3 bloğunda uygunluk değeri hafızadaki yerine yazılır. C<sub>2</sub> işlem bloğu için ise tüm kaynaklar için güncel uygunluk değerlerinin hesaplanıp hesaplanmadığı kontrolü yapılır.

### C. İşçi Arılar ile Kaynakların Veriminin Hesaplanması

Bu adımda işçi arı safhası gerçekleştirilmektedir. Kaynakların güncelleme işlemleri rastgele seçilen bir kaynak referans alınarak gerçekleştirilmektedir. Rast gele seçilmiş r<sub>s</sub> indisli bir parametre güncellenecek kaynak ve rastgele seçilen bir kaynak tarafından RC\_4 bloğu ile hafızadan okunur. Okunan değerler Denklem (3) kullanılarak "Yiyecekleri Güncelle" işlem bloğunda hesaplanarak kaynağın r<sub>s</sub> indisli güncel parametresi hesaplanır. Güncellenmiş kaynak pozisyonları ile yeni uygunluk değerlerini hesaplama üzere kaynakların eski konumlarına ait uygunluk değerleri RC\_5 işlem bloğu hafızadan alınır. Güncellenene parametreler kullanılarak elde edilen uygunluk değerleri ile hafızadan okunan uygunluk değerleri karşılaştırılır. Güncel kaynak konumların

daha verimli olması durumunda uygunluk değeri ile birlikte hafızaya alınırlar. Tüm kaynaklar işlemlerin yapıp yapılmadığı C<sub>4</sub> bloğu ile kontrol edilir.

#### D. İstatistiksel Değerlerin Hesaplanması

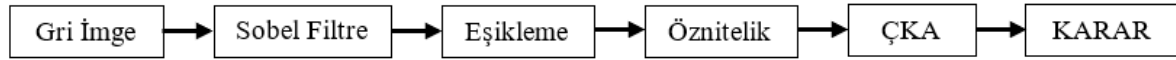
Bu adımda, uygunluk değerlerinin normalize işlemler gerçekleştirilir. Uygunluk değerleri, en büyük uygunluk değerine bölünerek her bir kaynak için istatistiksel değerler elde edilir.

#### E. Kaynakların Güncellenmesi

Bu aşamada hem gözcü arı aşaması hem de kaşif arı aşaması gerçekleştirilmiştir. Kaynakların güncellenmesi aşamasında rastgele üretilen sayının kaynağa ait istatistiksel değer ile karşılaştırma işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler Şekil 5’de gösterilen C<sub>5</sub> bloğu ile gerçekleştirilir. Karşılaştırma sonucunda istatistiksel değer üretilen sayıdan büyük ise “Yiyecekleri Güncelle” işlem bloğuna geçilir. Bu blokta C bölümünde gerçekleştirilen işlemler tekrarlanır. Eşit ya da küçük olması durumunda işlemlere C<sub>7</sub> işlem bloğu ile devam edilir. C<sub>7</sub> bloğu ile gerçekleştirilen güncelleme sayısının kaynak sayısı ile karşılaştırmasını gerçekleştirir. İşlem sayısının kaynak sayısından daha az olduğu durumda C<sub>5</sub> işlem bloğuna dönüşür. Büyük olması durumunda ise “Yeni Kaynaklar” bloğu vasıtası ile kaynaklara ait güncel parametre değerleri oluşturulur ve RC\_8 işlem bloğu ile hafıza bloğuna aktarılırlar.

## VI. PLAKA YERİ BULMA PROBLEMİ İÇİN YAK TABANLI YSA EĞİTİMİNİN APKD TABANLI GERÇEKLENMESİ

Çalışma kapsamında YAK algoritması ile YSA eğitiminin donanımsa gerçekleştirme işlemleri plaka yeri bulma tespiti için gerçekleştirilmiştir. YSA uygulamada seçilen aday bölgelerin plaka olup olmadığına karar veren mekanizma olarak kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Plaka tespit işlem süreci

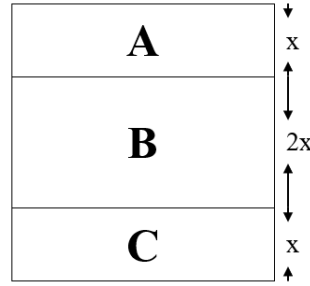
Şekil 7’te de gösterildiği gibi öncelikle gri imge kenarların belirginleştirilmesi amacı ile dikey sobel filtresinden geçirildikten sonra eşikleme işlemine tabi tutularak ikili imge haline getirilmektedir. Daha sonra ikili imge üzerinde seçilen her bir aday bölgesine ait öznitelik çıkarım işlemleri gerçekleştirilmektedir. Çıkarılan öznitelikler ÇKA tipi YSA’ya giriş olarak verilmektedir. YSA sonucunda seçilen bölgenin plaka olup olmadığına karar verilmektedir [3].

Çalışma kapsamında YSA’ya giriş olarak verilen özniteliklerin hesaplama yöntemleri Denklem(14)-Denklem(16)’da gösterilmiştir. Denklem (14)’den görüleceği üzere 1. öznitelik çıkarım işlemlerinde bölge içerisinde bulunan siyah piksellerin toplam piksellerin oranı ve 2. öznitelik çıkarım işlemlerinde değişinti (varyans) değeri hesaplanmaktadır (Denklem (15)). 3. özniteliğin çıkarımında plaka bölgesi yatayda 3 bölgeye ayrılarak işlemler gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Aday bölgelerdeki bilgiler kullanılarak özniteliğin hesaplanma yöntemi Denklem (16)’da gösterilmiştir.

$$\text{Öznitelik 1} = \text{Oran} = \frac{\text{Toplam Siyah Piksel}}{\text{Toplam Piksel}} \quad (14)$$

$$\text{Öznitelik 2} = \text{Değişinti} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{İmge}(i) - \text{Ortalama}) \quad (15)$$

$$\text{Öznitelik 3} = R_c = \frac{\text{Siyah Piksel B} - (\text{Siyah Piksel A} + \text{Siyah Piksel C})}{\text{Toplam Piksel}} \quad (16)$$



Şekil 8. Aday bölgenin bölgelere ayrılması

APDK tabanlı gerçekleştirme için 3 girişli, 3 hücreden oluşan bir gizli katman ve 1 çıkış hücresinden oluşan YSA yapısı tasarlanmıştır. Gizli katmanda bulunan hücrelerde logaritmik sigmoidal aktivasyon fonksiyonu, çıkış hücresinde ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitimde kullanılan veri seti 50 adet plaka içeren görselden (Şekil 9.(a)) ve 50 adet plaka bölgesi içermeyen görsellerden (Şekil 9.(b)) oluşturulmuştur.



Şekil 9. Plaka ve plaka olmayan imgeler

Eğitim sonrasında ağ performansını test etmek amacıyla eğitimde ağa gösterilmeyen 1863 plaka imgesi ve 1863 adet plaka olmayan imge kullanılmıştır. Tablo 1.'de YAK algoritması ile APDK üzerinde eğitilmiş YSA'nın plaka tanıma işlemindeki başarımları test verileri üzerinde gösterilmiştir. Tablo 1.'den de görüleceği üzere eğitilen ağ parametreleri ile YSA test verilerinde %98,82 başarımları göstermiştir.

Tablo 1. YAK algoritması ile eğitilmiş ÇKA'nın test verilerinde başarımları

N=3726	Plaka	Plaka Değil	
Plaka	1853	10	99,46
Plaka Değil	34	1829	98,17
	98,19	99,45	<b>98,82</b>

Tablo 2.'de YAK algoritma ile eğitilmiş YSA'nın APDK üzerinde gerçekleştirilmesine ilişkin sentez sonuçları verilmiştir. Tablo 2'den de görüleceği üzere kullanılan APDK üzerinde bulunan dilim saklayıcıların %1'i dilim bakma tablosunun ise %9'u kullanılmıştır. Kaynak konumlarının saklanması için ise APDK üzerinde bulunan blok hafızalardan 5 adet (%1) tüketilmiştir. APDK üzerinde bulunan DSP bloklarının ise sadece %3'ü kullanılmıştır.

**Tablo 2.** APDK üzerinde YAK algoritması ile eğitilmiş YSA'ya ait sentez sonuçları

	Dilim Saklayıcı	Dilim Bakma Tablosu	Blok Hafıza	DSP48E1s
Mevcut	407600	203800	445	840
Kullanılan	5699	21514	5	30
Yüzde	1	9	1	3

## VII. SONUÇLAR

Paralel veri işleme yeteneğine sahip YSA'ların gerçekleşmesinde bu özelliğini ön plana çıkarabilecek donanım seçilmesi işlem süresi açısından önem arz etmektedir. Paralel veri işleme yeteneğine sahip APKD'lar YSA'ların paralel veri işleme yeteneğini donanıma aktarmak için en iyi alternatiflerden biridir.

Bu çalışma kapsamında YAK algoritması kullanılarak YSA eğitimi APKD üzerinde donanımsal olarak gerçekleştirilmiştir. Plaka yeri bulma problemi kullanılarak eğitilen ve eğitim sonucunda elde edilen ağ parametreleri ile test edilmiştir. Tablo 1'de APKD üzerinde YAK algoritması ile eğitilen YSA'nın plaka bölgelerinin tespitinde %99,42'lik bir başarıma sahip olduğu, plaka olmayan bölgelerin tespitinde ise %98,17'lik bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Toplamda ise %98,82'lik başarıma ise eğitilen ağın iyi bir genelleme yaptığını göstermektedir. Tablo 2'den de görüleceği üzere çalışmada APDK üzerinde YAK algoritması ile YSA eğitiminin düşük maliyetle gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Merchant, S., Peterson, G. & Kong, S. (2006). Intrinsic Embedded Hardware Evolution of Block-based Neural Networks, *International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems & Algorithms*, 26-29 Haziran.
- [2] Karakuzu, C. & Öztürk, S. (2000). A Comparison of fuzzy, neuro and classical control techniques based on an experimental application, *Journal of Quafquaz University*, 6, 189-198.
- [3] Çavuşlu, M.A., Karakaya, F. & Altun, H. (2008). ÇKA Tipi Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Plaka Yeri Tespitinin FPGA'da Donanımsal Gerçeklenmesi, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamalar Sempozyumu*.
- [4] Issa A. H., Humod A.T. & Gitaffa S.A. (2021). Fpga Implementation of Reconfigurable Intelligent Controller for Mobile Robot, *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (1), 254-264.
- [5] Chun-Hsian Huang, (2021). An FPGA-Based Hardware/Software Design Using Binarized Neural Networks for Agricultural Applications: A Case Study, *IEEE Access*, 9, 26523 - 26531.
- [6] Tobias Schindler; Armin Dietz. (2020). Real-Time Inference of Neural Networks on FPGAs for Motor Control Applications, *10th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*.
- [7] Li, X. & Areibi, S. (2004). A Hardware Software Co-design Approach for Face Recognition, *16th International Conference on Microelectronics*, 6-8 Aralık.
- [8] Narendra, K. S. & Parthasaraty, K. (1990). Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Network, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1, 4-27.
- [9] Economou, G.P.K., Mariatos, E.P. Economopoulos, N.M., Lymberopoulos, D. & Goutis, C.E. (1994). FPGA implementation of artificial neural networks: an application on medical expert systems, *Fourth International Conference on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems*.
- [10] Mandal, S. K., Sural, S. & Patra, A. (2008). ANN- and PSO-Based Synthesis of On-Chip Spiral Inductors for RF ICs, *IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 27(1), 188-192.
- [11] Ferrari, S. & Jensenius, M. (2008). A constrained optimization approach to preserving prior knowledge during incremental training, *IEEE Trans. Neural Netw.*, 19(6), 996-1009.
- [12] Wilamowski, B. & M., Chen, Y.(1999). Efficient algorithm for training neural networks with one hidden layer", *International Joint Conference on Neural Networks*, 3, 1725-1728.
- [13] Karaboga, D. (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*, 1 - 4.
- [14] Karaboga, D. Akay, B. V. & Öztürk, C. (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm For Training Feed-Forward Neural Networks, *4th International Conference Modeling Decisions for Artificial Intelligence*, 318-319.

- [15] Kumbhar, P. Y. & Krishnan, S. (2011). Use Of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm in Artificial Neural Network Synthesis, *International Journal of Advanced Engineering Sciences And Technologies*, 11(1), 162 – 171.
- [16] Şahin, S. & Çavuşlu M. A. (2018). FPGA Implementation of Wavelet Neural Network Training with PSO/iPSO, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 27(6)
- [17] Li, Y. & Chen, X. (2006). A New Stochastic PSO Technique for Neural Network Training, *International Symposium on Neural Networks*, 564-569.
- [18] Vilovic, I., Burum, N. & Milic, D. (2009). Using particle swarm optimization in training neural network for indoor field strength prediction, *International Symposium ELMAR*, 275 – 278.
- [19] Martinez, J., Toledo, F.J., Fernandez, E. & Ferrandez, J.M. (2008). A retinomorphic architecture based on discrete-time cellular neural networks using reconfigurable computing, *Neurocomputing*, 71(4-6), 766-775
- [20] Krips, M., Lammert, T. & Kummert, A. (2002). FPGA implementation of a neural network for a real-time handtracking system, *The First IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications*, 313 – 317.
- [21] Ossoinig, H., Reisinger, E., Steger, C. & Weiss, R. (1996). Design and FPGA-Implementation of a Neural Network, *7th International Conference on signal Processing Applications and Technology*, 939-943.
- [22] Zhang, L. (2017). Artificial Neural Network Model Design and Topology Analysis for FPGA Implementation of Lorenz Chaotic Generator, *IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*
- [23] Sahin, S., Becerikli, Y. & Yazici, S. (2006). Neural Network Implementation in Hardware Using FPGAs, *Lecture Notes in Computer Science 4234*, 1105-112.
- [24] Mousa, M., Areibi, S. & Nichols, K. (2006). On the Arithmetic Precision for Implementing Back-Propagation Networks on FPGA: A Case Study, *FPGA Implementations of Neural Networks*, 37-61.
- [25] Nedjah, N., Silva, R.M.D., Mourelle, L.M.M. & Silva, M.V.C.D. (2009). Dynamic MAC-based architecture of artificial neural networks suitable for hardware implementation on FPGAs, *Neurocomputing*, 72(10-12), 2171-2179.
- [26] Ferreira, P., Ribeiro, P., Antunes, A. & Dias, F.M. (2006). A high bit resolution FPGA implementation of a FNN with a new algorithm for the activation function, *Neurocomputing*, 71(1-3), 71-77.
- [27] Won, E. (2007). A hardware implementation of artificial neural networks using field programmable gate arrays, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 581(3), 816-820.
- [28] Li, Z., Huang Y. & Lin W. (2017). FPGA implementation of neuron block for artificial neural network, *International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC)*
- [29] Ferrer, D., Gonzalez, R., Fleitas, R., Acle, J.P. & Canetti, R. (2004). NeuroFPGA - Implementing Artificial Neural Networks on Programmable Logic Devices, *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*, s, 218-223.
- [30] Sarić R., Jokić D., Beganović N., Pokvić L.G. & Badnjevi A. (2020), FPGA-based real-time epileptic seizure classification using Artificial Neural Network, *Biomedical Signal Processing and Control*, 62
- [31] Çavuşlu, M.A., Karakuzu, C. & Şahin, S. (2006). Neural Network Hardware Implementation Using FPGA, *3rd International Symposium on Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium Proceedings*, 287-290.
- [32] Savich, A.W., Moussa, M. & Areibi, S. (2007) The Impact of Arithmetic Representation on Implementing MLP-BP on FPGAs: A Study, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 18(1), 240 – 252
- [33] Çavuşlu, M. A., Karakuzu, C., Şahin, S. & Yakut, M. (2011). Neural Network Training Based on FPGA with Floating Point Number Format and It's Performance, *Neural Computing and Applications*, 20(2), 195-202.
- [34] Farmahini-Farahani, A., Fakhraie, S. M. & Safari, S. (2008). Scalable Architecture for on-Chip Neural Network Training using Swarm Intelligence, *Design, Automation and Test in Europe Conf.*, 1340-1345.
- [35] Liu, Q., Liu, J., Sang R., Li J., Zhang T. & Zhang, Q. (2018). Fast Neural Network Training on FPGA Using Quasi-Newton Optimization Method, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 26(8), 1575 – 1579.
- [36] Çavuşlu M. A. & Şahin S. (2018). FPGA Implementation of ANN Training using Levenberg and Marquardt Algorithm, *Neural Network World*, 28(2), 161-178.
- [37] Çavuşlu, M. A., Karakuzu, C. & Karakaya, F. (2012). Neural Identification of Dynamic Systems on FPGA with PSO Learning, *Applied Soft Computing*, 12(9), 2707-2718.
- [38] Haykin, S. (1999). *Neural Networks A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall Publishing, New Jersey 07458, USA,

- [39] Yu, X. & Deni D. (1999). Implementing Neural Networks In FPGAs, *The Institution of Electrical Engineers*, London WC2R 0BL, UK.
- [40] Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık.
- [41] Karaboga, D. (2005). An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, *Technical Report-Tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department*
- [42] Akay, B. & Karaboga, D. (2009). Parameter Tuning for the Artificial Bee Colony Algorithm, *1st International Conference on Computational Collective Intelligence - Semantic Web, Social Networks & Multiagent Systems*.
- [43] Elliot, D. L. (1993). *A Better Activation Function for Artificial Neural Networks*, Technical Research Report T.R. 93-8, Institute for Systems Research, University of Maryland.
- [44] Brysbaert, M. (1991). Algorithms for randomness in the behavioral sciences: A tutorial, *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 23, 45-60.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması

## Overview of UAV Photogrammetry: Cost Comparison with Traditional Topographic Mapping Technique

Ali Ulvi<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 23/02/2021*

*Revize / Revised: 16/04/2021*

*Kabul / Accepted: 16/04/2021*

### ÖZ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak fotogrametri alanında da hızlı gelişmeler olmakta, gittikçe kısalan zaman dilimleri içinde yeni metotlar gelişmektedir. Bu gelişmeler resim çekim teknikleri ve resimlerin değerlendirme teknikleriyle kendini göstermiştir. Son zamanlarda İnsansız hava araçları (İHA) fotogrametrik değerlendirme sürecinde kendine yer bulmuştur. Buna bağlı olarak da İHA fotogrametrisi literatürde adını sıkça duyurmaya başlamıştır. Bu çalışmada İHA fotogrametrisinin çalışma mantığı, doğruluk analizi ve maliyet analizi üzerinde durulmuştur. Geleneksel yöntemler ile maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Gerek zaman ve maliyet tasarrufu açısından, gerekse doğruluk ve görsellik açısından İHA fotogrametrisinin mühendislik projelerinde etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler-** *İHA Fotogrametrisi, SfM, Maliyet Analizi*

### ABSTRACT

In parallel with the development of technology, rapid developments are taking place in the field of photogrammetry, and new methods are developed in shorter time frames. These developments showed themselves with the taking picture technique and the evaluation techniques of the pictures. Recently, unmanned aerial vehicles (UAV) have found a place in the photogrammetric evaluation process. Accordingly, UAV photogrammetry has begun to make a name for itself in the literature. In this study, the logic of UAV photogrammetry, accuracy analysis and cost analysis are emphasized. It was compared with traditional methods in terms of cost. It was that UAV photogrammetry can be used effectively in engineering projects in terms of time and cost savings, accuracy, and visibility.

**Keywords-** *UAV Photogrammetry, SfM, Cost Analysis*

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [aliulvi@mersin.edu.tr](mailto:aliulvi@mersin.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-3005-8011>)

*Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Topografik harita arazi üzerindeki doğal ve yapay detayların belirli ölçeklerde kıymetlendirildiği, eş yükseklik eğrilerinin çizildiği, bu bilgilerin belirli işaretlerle kullanıcıya sunulduğu bir üründür. Bu ürün yersel tekniklerle, teknolojinin gelişmesiyle birlikte hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden ve son yıllarda İHA kullanılarak üretilmektedirler. İHA lar fotogrametrik tekniklerle üretilen haritalar için gerekli olan hava fotoğraflarının elde edilebilmesi için bir platform olarak kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri alanında yapılmıştır. Fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri ile başlamış olsa da zaman içerisinde harita yapımında geniş olanaklar sağlaması nedeni ile yerini hava fotogrametrisi almıştır. Birçok alanda olduğu gibi fotogrametri alanında da hızlı gelişmeler olmakta, gittikçe kısalan zaman dilimleri içinde yeni metotlar gelişmektedir. Özellikle son zamanlarda fotogrametri alanında da, dijital fotogrametri uygulamaları ile çok hızlı değişiklikler yaşanmaktadır. Dijital fotogrametri sayesinde, gerek resim çekiminde, gerekse bu resimlerin değerlendirilmesinde büyük kolaylıklar sağlanmıştır. Klasik hava fotogrametrisinde kullanılan ekipmanlar (özellikle kullanılan hava kameraları) açısından bakıldığında ürünlerin elde edilmesine kadar geçen süreçte maliyet çok fazladır. Ayrıca istenilen zamanda uçuş yapılamaması ve uçuş iznine tabi olmasıyla zamansal açıdan dezavantaj sağlamaktadır.

Son zamanlarda, metrik olmayan dijital kameraların, yersel fotogrametri amaçlı değerlendirme çalışmalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu tip kameraların yersel fotogrametri amaçlı metrik kameralara göre fiyatlarının çok daha düşük olması kullanıcıların ilgisini çekmekte ve birçok projede yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotogrametrik amaçlar için üretilmemelerine rağmen, film kameralarına oranla çok yoğun bir uygulama avantajına sahip olan dijital kameralar fotogrametri de güçlü ve etkin dijital veri elde etme aracı olarak kullanılmaktadırlar [1]. Teknolojideki gelişmeler dijital kameraları taşıyan taşıyıcı platformlarda da kendini göstermiştir. Buna bağlı olarak dronların ve sabit kanatlı hava araçların kullanımı mühendislik projelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Süreç içerisinde bu taşıyıcı platformların ismi İHA olarak anılmaya başlanmıştır. İHA ların taşıyıcı platform olarak kullanılmasıyla birlikte uçuş irtifasını da göz önüne alarak İHA fotogrametrisi yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi arasında literatürde kendine yer bulmuştur.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat kampüsünde 512 Ha lık alan pilot bölge olarak seçilmiştir. Bu bölgede fotogrametrik çalışmaların sonuç ürünleri ele alınmış, maliyet analizi yapılmış ve aynı alanın geleneksel yöntemlerle yapılması durumundaki maliyetler araştırılmıştır. İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaların maliyet analizlerinde iki farklı İHA sistemi incelenmiştir. Bu sistemler sabit kanatlı ve döner kanatlı sistemlerdir.

## II. İHA FOTOGRAMETRİSİ

İHA fotogrametrisi, genel olarak içerisinde herhangi bir insan taşımadan, otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametrik sürecin genel tanımıdır. Bu bağlamda İHA fotogrametrisi özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri ile mimari, arkeolojik ve tarihi eserlerin 3B modelleme çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir.

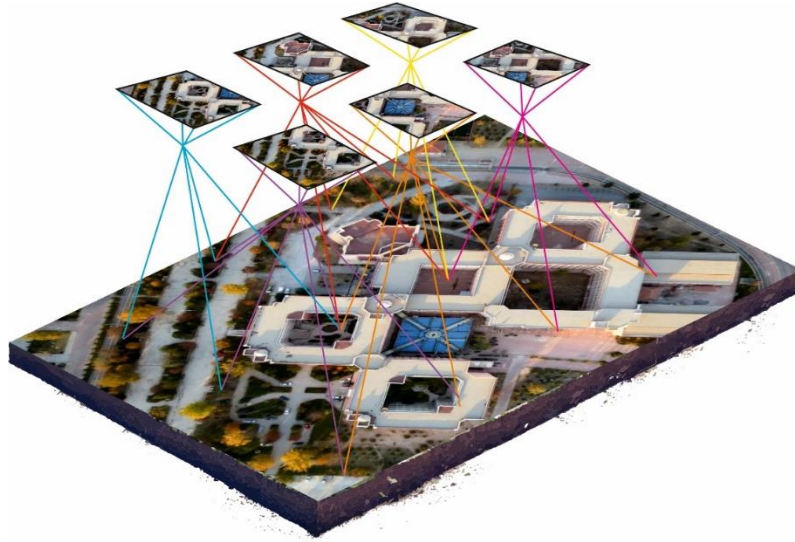
İHA'lar ile geleneksel veri toplama yöntemlerine göre daha fazla esneklik sağlanırken çalışma alanında daha az zaman harcanmaktadır ve ayrıca maliyet açısından önemli avantajlar sağlanmaktadır [2]. Ayrıca yeni tip İHA'lara entegre edilen Global Position System (GPS) sayesinde çekilen resimlerin enlem, boylam ve yükseklik bilgilerinin olması bu sistemin avantajları arasında yer almaktadır. Ek olarak hem GPS modülünün olması hem de bu İHA'lar ile otomatik resim çekebilmesi distorsiyonun (öteleme, dönüklük ve kayıklık) önemli derecede azalmasına katkı sağlamaktadır. Dahası, İHA'ların alçak irtifadan uçuş kabiliyeti ve gelişmiş teknik görüntüleme sistemleri ile birlikte elde ettikleri veriler, uydu görüntülerinden ve insanlı uçaklardan elde edilen verilere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek çözünürlüğe sahip ve çok daha detaylı bilgiler içermektedir.

İHA'lar ilk olarak askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra sivil kullanıma izin verilmesi ile birlikte hassas tarım [3] ve ormancılık çalışmalarında [4] kullanılmaya başlanmış ardından yangın izleme [5, 6] kültürel miras ve arkeoloji [7, 8] trafik izleme [9, 10] çevresel araştırma [11, 12] ve üç boyutlu (3B) rekonstrüksiyon [13-15] gibi alanlarında teknolojinin gelişmesi ile birlikte birçok disiplin tarafından farklı amaç doğrultusunda kullanılmaya devam etmiştir.

İHA fotogrametrisinin ile bütünlük çalışan açık kaynak kodlu ve ticari birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımların pek çoğu Structure from motion (SfM) özel algoritmalara dayanmaktadır. SfM, iki boyutlu (2B) görüntü dizilerinden 3B yapıları tahmin etmek için kullanılan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir. SfM

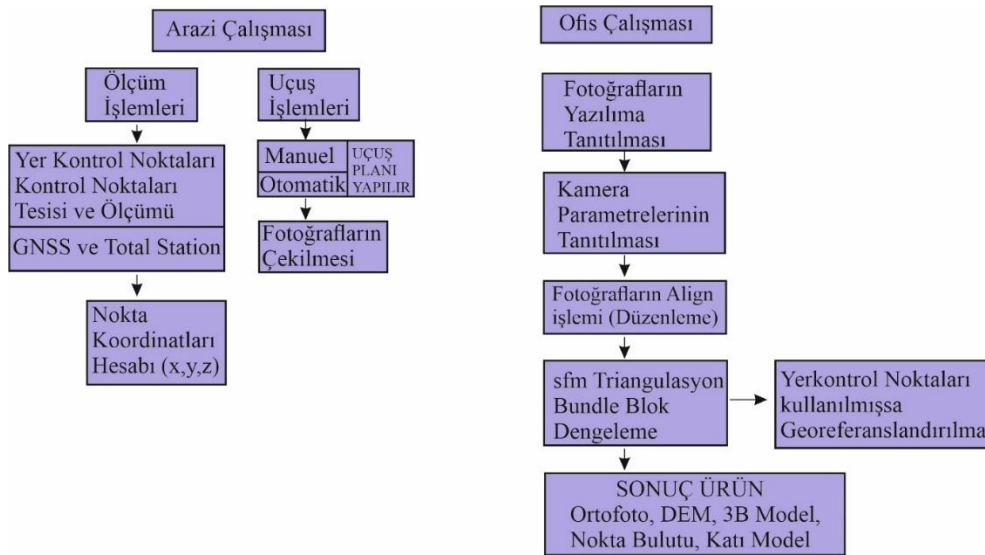


yönteminde, üst üste binen çerçevelerin bir dizisinden 3B yapılar oluşturulur (Şekil 1). Kısa bir süre içinde SfM; olağanüstü hızlı, düşük maliyetli ve kolay 3D ölçümler sağlayan yerbilimi araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahip olmuştur [16]. Bunun sebebi SfM tekniği, belirli çalışma yöntemlerine uyulduğu takdirde yersel ve havadan farklı çekim platformlarından alınan fotoğrafların entegre edilmesi olanağını da sunmaktadır. Geleneksel stereoskopik fotogrametri ile SfM yöntemi arasındaki temel fark, 3B uzayda bir noktanın kesin konumunun elde edilmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas konumlandırılmasına gerek olmamasıdır.



Şekil 1. SfM mantığı ile arazinin fotoğraflanması işlemi

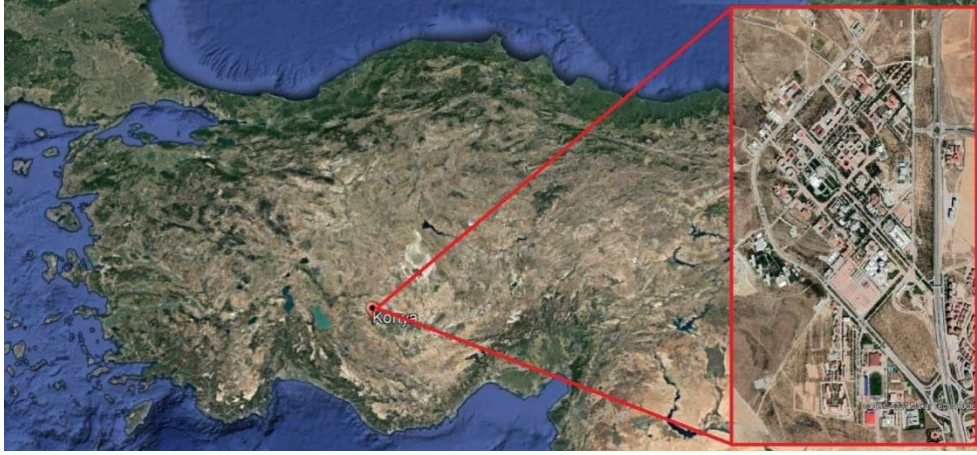
İHA fotogrametrisi genel olarak arazi çalışması ve ofis çalışması olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmanın genel iş akış şeması Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. İHA fotogrametrisi iş akış şeması

### III. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Konya ili Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat kampüsünde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Çalışma alanı 512 ha oluşmaktadır.



Şekil 3. Selçuk üniversitesi kampüsü çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

### IV. METODOLOJİ

#### A. Verilerin Toplanması

Çalışma alanının ortofoto haritasının üretilebilmesi için öncelikle alana 24 adet Yer kontrol noktası (YKN) , 30 adet test noktası tesis edilmiştir. Tesis edilen noktaların kalıcı olabilmesi için karayolları kurumunun kullandığı yol çizgi boyası kullanılmıştır (Şekil 4). Tesis edilen YKN lerin koordinatlandırılması işlemi ise Topcon GR5 Global Positioning System (GPS) cihazı ile ITRF96 datum sisteminde yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. YKN'lerin koordinatlandırılması işlemi

Çalışma alanının fotoğrafları 2 farklı cihaz tarafından çekilmiştir. Bu cihazlar ebee (Şekil 5a) ve microcopter (Şekil 5b) hava araçlarıdır. Ebee cihazı sabit kanatlı, microcopter ise döner kanatlı insansız hava araçlarıdır. Ebee cihazı üzerinde Canon IXUS 125, microcopter üzerinde ise Canon A810 dijital kamerası bulunmaktadır. Uçuş için yer örnekleme aralığı 5.76 cm olarak belirlenmiştir. Bu kameraların teknik özellikleri Tablo 1 de gösterilmektedir.

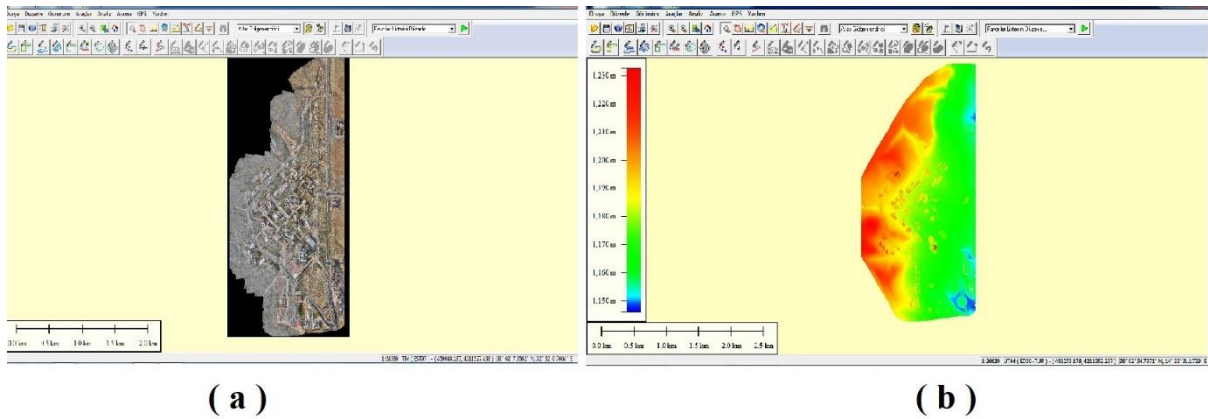


Şekil 5. (a) Ebee İHA, (b) microcopter İHA

Tablo 1. İHA kamera teknik özellikleri

Uav	Number of photos	Uav camera	Resolution (pixel)	Pixel pitch
Microcopter	810	Canon A810	4608 × 3456	1.34 µm
Ebee	725	Canon IXUS 125	4608 × 3456	1.34 µm

Fotoğrafların dengelenmesi ve değerlendirilmesi işlemi Leica Photogrammetric Suit (LPS) tarafından yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda çalışma alanına ait ortofoto harita (Şekil 6a) ve digital elevation model (DEM) (Şekil 6b) haritası üretilmiştir.



Şekil 6. (a) Çalışma alanına ait ortofoto harita, (b) Çalışma alanına ait DEM haritası

### B. Doğruluk Değerlendirmesi

Çalışma alanına 30 adet test noktaları homojen olarak tesis edilmiştir. Bu noktaların koordinatları GNSS cihazı ile ölçülmüştür. Bu koordinatlar referans koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Doğruluk analizinde karesel ortalama hata denklemleri kullanılmıştır. Fotogrametrik projenin doğruluğu geo referanslamada kullanılmayan kontrol noktaları kullanılarak hesaplanmıştır[17,18]. Bu kapsamda, kontrol noktaları orto görüntülerde tanımlanmış ve koordinatları incelenen GNSS koordinatlarıyla karşılaştırılarak aşağıda verilen denklemlerde tanımlandığı gibi RMSE x, RMSE y yatay doğruluk ölçüleri elde edilmiştir:

$$RMSE_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2}{n} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2}{n} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{O_i} - Z_{GNSS_i})^2}{n} \quad (3)$$

$$RMSE_{xyz} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2 + (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2 + (Z_{O_i} - Z_{GNSS_i})^2}{n}} \quad (4)$$

- (a) N, her proje için test edilen kontrol nokta sayısıdır.  
(b)  $X_{O_i}$  and  $Y_{O_i}$  sırasıyla ortofotodan ölçülen x ve y koordinatlarıdır.  
(c)  $X_{GNSS}$  and  $Y_{GNSS}$  kontrol noktalarının GNSS ile ölçülen x ve y koordinatlarıdır.

Ayrıca, yükseklik değerleri orto görüntüdeki CP'nin x ve y koordinatları için gridDSM'den türetilmiş ve GNSS koordinatı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Denklem (3) 'te tanımlandığı gibi z yönü için bir  $RMSE_z$  doğruluk ölçüsü üretilmiştir.

- (a)  $Z_{O_i}$  ortofotoda ölçülen x ve y koordinatları dikkate alınarak DSM'den türetilen kontrol noktasındaki yüksekliktir.  
(b)  $Z_{GNSS}$  kontrol noktasının GNSS ile ölçülen Z koordinatıdır.

**Tablo 2.** Kesin koordinatlar ve ortofoto koordinatlar

KESİN KOORDİNATLAR				ORTOFOTO NOKTALAR (EBEE)				ORTOFOTO NOKTALAR (Microcopter)			
N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)	N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)	N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)
1	457065.005	4209572.14	1169.564	1	457065.082	4209572.22	1169.54	1	457064.95	4209572.09	1169.622
2	457060.601	4209573.86	1169.646	2	457060.632	4209573.93	1169.694	2	457060.641	4209573.8	1169.701
3	457056.281	4209571.95	1169.652	3	457056.317	4209571.99	1169.595	3	457056.337	4209571.98	1169.583
4	457054.539	4209567.54	1169.641	4	457054.561	4209567.62	1169.593	4	457054.485	4209567.58	1169.693
5	457056.491	4209563.1	1169.672	5	457056.509	4209563.12	1169.595	5	457056.436	4209563.07	1169.605
6	457060.924	4209561.33	1169.631	6	457060.998	4209561.36	1169.675	6	457060.859	4209561.32	1169.655
7	457065.225	4209563.24	1169.69	7	457065.303	4209563.31	1169.728	7	457065.275	4209563.29	1169.746
8	457066.974	4209567.73	1169.794	8	457067.027	4209567.77	1169.757	8	457066.925	4209567.68	1169.743
9	457074.304	4209583.87	1169.512	9	457074.384	4209583.79	1169.546	9	457074.374	4209583.82	1169.445
10	457073.263	4209584.94	1169.525	10	457073.316	4209584.91	1169.592	10	457073.215	4209584.96	1169.582
11	457006.003	4209973.45	1174.02	11	457005.945	4209973.39	1173.996	11	457005.961	4209973.49	1173.978
12	457014.99	4209982.31	1173.742	12	457014.914	4209982.33	1173.764	12	457014.928	4209982.34	1173.771
13	457002.343	4210008.29	1174.559	13	457002.256	4210008.26	1174.488	13	457002.403	4210008.33	1174.612
14	456997.061	4209992	1174.99	14	456997.017	4209992.06	1174.918	14	456997.123	4209991.95	1174.943
15	457173.555	4210559.09	1172.677	15	457173.513	4210559.12	1172.597	15	457173.603	4210559.12	1172.635
16	457173.524	4210559.09	1172.539	16	457173.458	4210559.01	1172.559	16	457173.56	4210559.13	1172.565
17	457189.098	4210521.43	1172.732	17	457189.1	4210521.49	1172.765	17	457189.136	4210521.46	1172.674
18	457189.064	4210521.42	1171.858	18	457188.983	4210521.45	1171.788	18	457189.111	4210521.45	1171.818
19	457108.975	4210622.3	1174.897	19	457108.897	4210622.31	1174.869	19	457108.897	4210622.33	1174.846
20	457091.317	4210639.66	1175.397	20	457091.396	4210639.67	1175.319	20	457091.383	4210639.68	1175.329
21	457082.98	4210659.6	1175.852	21	457082.954	4210659.58	1175.785	21	457083.045	4210659.56	1175.794
22	457069.209	4210675.32	1176.217	22	457069.241	4210675.25	1176.237	22	457069.261	4210675.27	1176.259
23	457057.021	4210689.29	1176.925	23	457057.1	4210689.36	1176.881	23	457056.975	4210689.32	1176.875
24	457044.067	4210771.02	1179.344	24	457044.146	4210771	1179.414	24	457044.126	4210771.06	1179.404
25	457047.645	4210774.55	1179.292	25	457047.708	4210774.54	1179.355	25	457047.615	4210774.5	1179.342
26	456994.315	4209599.58	1171.171	26	456994.335	4209599.65	1171.244	26	456994.362	4209599.63	1171.125
27	456976.789	4209616.72	1171.934	27	456976.757	4209616.77	1171.92	27	456976.722	4209616.75	1171.96
28	456976.876	4209622.5	1172.017	28	456976.859	4209622.57	1172.094	28	456976.899	4209622.56	1172.071
29	456793.097	4210602.15	1181.819	29	456793.169	4210602.15	1181.856	29	456793.03	4210602.21	1181.857
200	456530.869	4210884.75	1202.494	200	456530.914	4210884.67	1202.464	200	456530.902	4210884.7	1202.534

**Tablo 3.** Fark değerlerinin karesi

	EBEE			OCTOCOPTER			EBEE			OCTOCOPTER			
	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	
1	60.1	58.5	5.8	29.7	33.1	33.6	16	42.9	57	4	13.3	20.7	6.8
2	9.6	51.8	23.5	16	29.2	30.8	17	0.1	36	10.9	14.8	13	33.6
3	13.3	15.6	33	31.9	9.9	48.3	18	64.8	13.7	49	22.6	12.3	16
4	5.1	58.5	23	28.6	14.8	27	19	60.8	0.8	8.1	60.8	7.3	26.5
5	3.2	4.4	59.3	30.3	14.4	44.9	20	62.4	1.8	60.1	43.6	5.5	45.6
6	54.8	10.9	19.4	42.3	1.7	5.8	21	6.5	4.4	44.9	42.9	16.8	33.6
7	60.8	51.1	14.4	25	24.5	31.4	22	10.6	56.3	4	27.6	24	17.7
8	28.1	17.6	13.7	24	17.6	26	23	62.4	46.9	19.3	21.2	11.9	25
9	64	53.3	11.9	49	25	44.3	24	62.4	2	48.3	34.8	16	35.4
10	28.6	4.8	44.9	22.6	4.8	32.5	25	40.3	1	39.1	8.7	27	24.5
11	33.1	33.1	5.7	17.2	17.2	17.6	26	4	42.3	53.3	22.1	17.6	21.2
12	57	7.8	4.6	37.8	15.2	8.1	27	10.2	24.5	1.8	44.9	12.6	7
13	75.7	6.3	50.4	36	16.8	28.1	28	2.7	54	59.3	5.5	29.7	29.2
14	18.9	45.6	51.1	39.1	17.2	21.6	29	51.8	0.2	13.7	44.9	31.4	14.4
15	17.6	9	64	23	13	17.6	200	20.2	62.4	9	10.9	21.2	16

Bu veriler ışığında İHA ile fotogrametrik teknikler kullanılarak üretilen hâlihazır haritanın hassasiyet araştırmasında İHA lara ait y, x ve z koordinatlarında ortalama konum hataları  $\pm 9.5$  cm ,  $\pm 8.5$  cm bulunmuştur (Tablo 4).

**Tablo 4.** İHA lar ile üretilen ortofoto haritaların karesel ortalama hataları

my	mx	mz	myxz	İHA
5.9	5.3	5.3	9.5	(Ebee-SabitKanat)
5.4	4.2	5.1	8.5	(Octocopter-DönerKanat)

## V. MALİYET ANALİZİ

### A. İHA Fotogrametrisi Maliyet Analizi

İHA ile yapılan fotogrametrik çalışmaların maliyet analizlerinde iki farklı İHA sistemi incelenmiştir. Bu sistemler sabit kanatlı ve döner kanatlı sistemlerdir. Uçuş planlaması ve kıymetlendirme işlemlerinde çalışan teknik personel olarak harita mühendisi düşünülmüştür. HKMO 2020 yılı 2.yarıyılı birim fiyatları baz alınarak bir mühendisinin gündelik ücreti 250 TL, saatlik ücreti ise 6.92 TL dir.

İncelenen sistem İHA olan sabit kanatlı uçak sistemidir. Pilot bölgede yapılan uçuşlar sonucunda bölgeye ait harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda tüm maliyetler çıkarılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yazılım ve donanımların mevcut olduğu varsayılmıştır. Arazide Yer Kontrol Noktalarının (YKN) ölçülmesi işinde kullanılan GNSS cihazının yaklaşık maliyeti 40000 tl olarak belirlenmiştir. Ölçüm cihazının üç yıl sonra üst modelinin çıkacağı hesap edilmiştir. Bu süre içerisinde yaklaşık yüz elli defa araziye çıkılıp ölçüm yapılacağı hesap edilerek amortisman süresi üç yıl olarak belirlenmiştir. GNSS cihazının arazideki her ölçümü iki saat olarak hesap edilmiştir. GNSS saatlik maliyet = [Satın alma maliyeti/(150x2) ]

Bu formüle göre GNSS in bir saatlik ölçüm maliyeti=[40000/(150x2)] = 133.33 TL dir.

Kullanılan İHA nın bedeli 380.800 TL dir. İHA nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonucunda amortisman gideri uçağın satın alma maliyetidir. İHA'nın saatlik uçuş maliyetini ise her uçuşu iki saat olarak değerlendirdikten sonra aşağıdaki formül bulunmuştur. İHA Saatlik maliyet = [Satın alma maliyeti/(100x2)]

Bu formüle göre İHA' nın bir saatlik uçuş maliyeti= $[380.800/(100 \times 2)] = 1904$  TL dir. Pilot bölgenin fotogrametrik olarak alınımının yapılması için uçuş planlaması yapılmıştır. Bu planlama bir saat sürmüş planlama sonucunda uçulacak kolon sayısı, uçuş yüksekliği ve fotoğrafların enine ve boyuna bindirme oranları hesap edilmiştir. Bu çalışmada otuz adet Yer Kontrol Noktası (YKN) tesis edilmiştir. YKN tesisinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kullandığı güneş ışınları ve kış şartlarına dayanıklılığından dolayı yol çizgi boyası kullanılmıştır. Burada harcanan boya miktarı 5 kg boyanın kg maliyeti ise 120 TL dir. Bu boyanın 1 adet YKN maliyeti ise;  $(120 \times 5) / 30 = 20$  TL dir.

Bölgenin fotoğraflanması çalışması 725 adet fotoğraf çekimi ile tamamlanmıştır. Bu fotoğraflar iki adet uçuş yapılarak iki adet lipo pil harcanarak elde edilmiştir. Bir pilin satın alma maliyeti 2100 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise:  $[(2100 \times 2) / 100] / 725 = 0.05$  TL dir. Fotoğrafların değerlendirildiği yazılım maliyeti ise 4045 \$ dır. 22.10.2020 Günü Saat 21:30'da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası doların kur fiyatı ise 7,94 TL olarak alınmıştır. Yazılımın yaklaşık fiyatı  $4045 \times 7,94 = 32117$  TL dir. Yazılımın üst versiyonu ortalama üç yılda çıktığı öngörülerek amortismanı hesap edilmiştir. Dolayısıyla bu üç yıl süre içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme işlemi yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti;  $[32117 / (100 \times 24)] = 13.38$  TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda Sabit kanatlı İHA fotogrametrisinin yaklaşık maliyet hesabı Tablo 5 de bulunmuştur.

**Tablo 5.** Sabit kanatlı hava fotogrametrisi yaklaşık maliyet hesabı

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (250 TL/Gün)	Uçuş Ücreti (TL/Saat)	Yazılım Ücreti (13.38tl/Saat)	Donanım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ (TL)
<b>Uçuş Hizmet Bedeli</b>									
1	İntikal								
	Uçuş	2	1	250	1904				4058
<b>Uçuş öncesi ve sonrası gerçekleştirilen hizmetler</b>									
2	Uçuş Planlaması	1	1						
	<b>Yer Kontrol Noktası inşaatı ve ölçüm hizmeti (Arazi) (GNSS cihazı)</b>	2				133.33			266.66
3	Araç Kirası	4						250	250
	Fotogrametrik Nokta Tesis	2	1	250			30	20	850
	Fotogrametrik Nokta Ölçüm	2	1						
4	<b>FotoğrafÇekimi (725 Adet / 0.05)</b>						36.25	0.05	36.25
5	<b>Dengeleme</b>	3	1	250	40.14				290.14
6	<b>Kıymetlendirme Hizmeti</b>	24	1	750	321.12				1071.12
7	<b>Bütünleme Hizmeti</b>	48	1	1500	642.24				2142.24
<b>Toplam =</b>									<b>8643.29</b>

İncelenen diğer sistem döner kanatlı İHA sistemidir. Döner kanatlı İHA sisteminin maliyeti 13000 TL dir. Sabit kanatlı İHA sisteminde olduğu gibi İHA nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonucunda amortisman gideri satın alma maliyetidir. İHA' nın bu projedeki bir saatlik uçuş maliyetini ise = [Satın alma maliyeti/(100x17)] dir. Buradaki 17 rakamı ise kampüs alanında saat biriminde uçuş süresidir. Bu formüle göre İHA' nın bir saatlik uçuş maliyeti=[13.000/(100x17)]= 7.65 TL dir. Pilot bölgenin fotogrametrik olarak alımının yapılması için uçuş planlaması yapılmıştır. Bu planlama bir saat sürmüş planlama sonucunda uçulacak kolon sayısı, uçuş yüksekliği ve fotoğrafların enine ve boyuna bindirme oranları hesap edilmiştir. Sabit kanatlı İHA da kullanılan YKN bu çalışmada da ortak kullanılmıştır. Bir adet YKN maliyeti 20 TL dir. Bölgenin fotoğraflanması çalışması 800 adet fotoğraf çekimi ile tamamlanmıştır. Bu fotoğraflar altı adet lipo pili şarj edip otuz adet uçuş yapılarak elde edilmiştir. Bir pilin satın alma maliyeti 2100 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise:  $[(2100 \times 6) / 100] / 800 = 0.16$  TL dir.

Yazılımın yaklaşık fiyatı  $4045 \times 7,94 = 32117$  TL dir. Yazılımın üst versiyonu ortalama üç yılda çıktığı öngörülerek amortismanı hesap edilmiştir. Dolayısıyla bu üç yıl süre içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme işlemi yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti;  $[32117 / (100 \times 24)] = 13.38$  TL dir. Bu hesaplamaların sonucunda döner kanatlı İHA fotogrametrisinin yaklaşık maliyet hesabı Tablo 6'da bulunmuştur.



**Tablo 6.** Döner kanatlı hava fotogrametrisi yaklaşık maliyet hesabı

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (250 TL/Gün)	Uçuş Ücreti (TL/Saat)	Yazılım Ücreti (TL/Saat)	Donanım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ (TL)
<b>Uçuş Hizmet Bedeli</b>									
1 İntikal									
Uçuş	17	1	750	130.05					880.05
<b>Uçuş öncesi ve sonrası gerçekleştirilen hizmetler</b>									
2 Uçuş planlaması	1	1							
<b>Yer control noktası inşaatı ve ölçüm hizmeti (Arazi) (Gnss Cihazı)</b>									
	2					133.33			266.66
3 Araç kirası	17							750	750
Fotogrametrik Nokta tesis	2	1	250				30	20	850
Fotogrametrik Nokta ölçüm	2	1							
4 Fotoğraf çekimi (800 Adet)							800	0.16	128
5 Dengeleme	3	1	250		40.14				133.89
6 Kıymetlendirme hizmeti	24	1	750		321.12				1071.12
7 Bütünleme hizmeti	48	1	1500		642.24				1071.12
<b>Toplam=</b>									<b>6221.90</b>

### B. Yersel Ölçüm Tekniği Maliyet Analizi

Çalışma alanının yersel ölçüm teknikleri ile yapılması durumunda maliyetin araştırılması için iki farklı kaynaktan faydalanılmıştır. Bunlar; İller bankası ve Harita Kadastro Mühendisleri Odası (HKMO)'nın belirlemiş olduğu yıllara göre değişiklik gösteren birim fiyatları tablosudur.

İlk analiz İLBANK A.Ş.'nin resmi internet sitesinde yer alan İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli esas alınarak hazırlanmıştır (Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2020). Çalışma alanı toplam 512 ha dır. Bu çalışma alanının 400 ha gayrimeskûn saha, 112 ha ise meskûn saha olarak dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu maliyet analizinde %20 yüklenici karı ve %18 KDV oranları göz önünde bulundurulmuştur.

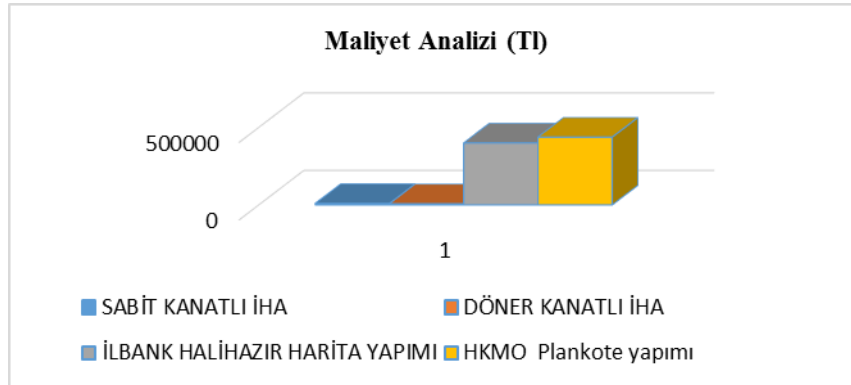
**Tablo 7.** İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveline göre hazırlanmış çalışma alanına ait yersel ölçüm tekniği ile hâlihazır harita yapımı maliyet analizi

İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâli hazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli					
	İş	Birim	Birim Fiyat	Çarpan	Fiyat (TL)
Gayrimeskûn	1/1000 Ölçekli hâli hazır harita yapım işi	Hektar	685.24	400	274096
Meskûn	1/1000 Ölçekli hâli hazır harita yapım işi	Hektar	1114.73	112	124849.80
<b>Toplam =</b>					398945.80

HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; ücretler cetvelinde yaklaşık 10x10 m aralıklı plankote yapımı için 0-500 m<sup>2</sup> alan için 1760 TL fiyat belirlenmiştir. Çalışma alanı 500 m<sup>2</sup> den büyük ise; 500 - 10.000 m<sup>2</sup> ' ye kadar her 500 m<sup>2</sup> için 310,00 TL eklenir. 10.000 m<sup>2</sup> ' den büyük alanlarda her ha için 1.540,00 TL eklenir denilmektedir. Bu veriler dikkate alarak çalışma alanımızdaki maliyet hesap edilmiş ve Tablo 8 de gösterilmiştir. Hesaplamalar yapılırken yöresel katsayı 1 olarak kabul edilmiştir. Tüm tekniklerin maliyet analiz grafiği şekil 7 de görülmektedir.

**Tablo 8.** HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; çalışma alanına ait yersel ölçüm tekniği ile yaklaşık 10x10 m aralıklı Plankote yapımı maliyet analizi

HKMO Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli 2020/2; Yaklaşık 10x10 m aralıklı Plankote yapımı			
ALAN	0-500 m <sup>2</sup>	500-10000 m <sup>2</sup> (TL)	10000 m <sup>2</sup> büyük her hektar için (TL)
512	1760	155	845
		2945	431795
<b>Toplam =</b>			436500



Şekil 7. Kullanılan tekniklerin maliyet analizi grafiği

## VI. SONUÇLAR

Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği de Detay ölçme doğruluğu (Madde 46- (1) Detay noktalarının izdüşüm koordinatları ve yükseklikleri, elektronik takeometre, GNSS, LİDAR veya diğer teknik ve yöntemler kullanılarak; yatay konum doğruluğu  $\sqrt{(\sigma x^2 + \sigma y^2)} \pm 7$  cm (dâhil)'den daha iyi ve Helmertortometrik yükseklik doğruluğu  $(\sigma H) \pm 7$  cm (dâhil)'den daha iyi olacak şekilde ölçülmelidir.) denmektedir. İHA ile üretilen ortofoto haritalardaki konumsal doğruluklar incelendiğinde  $\pm 7$  cm biraz üstünde olduğu görülmektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için uçuş için belirlenen Yer örnekleme aralığı değeri düşürülmelidir.

Analizler sonucunda, İHA fotogrametrisi ile harita üretilmesinde sabit kanatlı İHA ile üretilen harita, döner kanatlı İHA ile üretilen harita maliyetine göre % 38.91 oranında daha yüksek maliyet oranı çıkmıştır. Yersel yöntemler ise; İLBANK A.Ş. 2020 Yılı Sayısal Hâlihazır Harita yapımı 398945.8 TL lik maliyeti ile döner kanatlı İHA sistemine göre 64.12 kat daha maliyetlidir. 10x10 m aralıklı Plankote yapımı ise 436500 TL lik maliyeti ile döner kanatlı İHA sistemine göre 70.16 kat daha maliyetlidir.

Çalışma kapsamındaki uygulamanın sonuçlarından da anlaşılacağı üzere insansız hava araçları ile fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlemi gelişen teknoloji ile beraber mühendislik projelerinde kullanılır hale gelmiştir. Gerek zaman ve maliyet tasarrufu açısından, gerekse doğruluk ve görsellik açısından İHA fotogrametrisinin mühendislik projelerinde etkin olarak kullanılabileceği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ahmad, A. & Chandler, J. H. (1999). Photogrammetric Capabilities of the Kodak DC40, DCS420 and DCS460 Digital Cameras, *Photogrammetric Record*, 16 (94), 601–615.
- [2] Habib, A., Shan, J. & Toth, C. K. (2009). Accuracy, quality assurance, and quality control of LiDAR data. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, 269-94.
- [3] Salleh, M. R. M., Ismail, Z. & Rahman, M. Z. A. (2015). Accuracy assessment of lidar-derived digital terrain model (DTM) with different slope and canopy cover in tropical forest region. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(2), 183.
- [4] Torge, W. & Müller, J. (2012). Geodesy, 3rd ed;Walter de Gruyter: New York, NY, USA
- [5] Erol, S. & Erol, B. (2021). A comparative assessment of different interpolation algorithms for prediction of GNSS/levelling geoid surface using scattered control data. *Measurement*, 173, 108623.
- [6] Wang, Y. M., Becker, C., Mader, G., Martin, D., Li, X., Jiang, T., ... & Bürki, B. (2017). The Geoid Slope Validation Survey 2014 and GRAV-D airborne gravity enhanced geoid comparison results in Iowa. *Journal of Geodesy*, 91(10), 1261-1276.
- [7] Kayı, A., Erdoğan, M. & Eker, O. (2015). LiDAR test results carried out using OPTECH HA-500 and RIEGL LMS-Q1560. *Map J.* 153, 42–46.
- [8] Yılmaz, N. & Cakir, L. (2016). A research of consistencies and progresses of geoid models in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 1-11.
- [9] Wever, C. & Lindenberger, J. (1999). Experiences of 10 years laser scanning. In: *Photogrammetric Week 99*.

- [10] Sties, M., Kruger, S., Mercer, J. B. & Schnick, S. (2000). Comparison of digital elevation data from airborne laser and interferometric SAR systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B3/2; PART 3), 866-873.
- [11] Lichti, D. & Skaloud, J. (2010). Registration and calibration. In Air borne and Terrestrial Laser Scanning; Vosselman, G., Maas, H.G., Eds.; *Whittles Publishing*, 336.
- [12] Ravi, R. & Habib, A. (2020). Fully Automated profile-based calibration strategy for airborne and terrestrial mobile LiDAR systems with spinning multi-beam laser units. *Remote Sensing*, 12(3), 401.
- [13] Beraldin, J.A., Blais, F., & Lohr, U. 2010. Laser scanning technology. In Air borne and Terrestrial Laser Scanning; Vosselman, G., Maas, H.G., Eds. *Whittles Publishing*: Scotland, UK, 2010; 336.
- [14] Zhang, W. & Li, Q. (2006). A preliminary simulation to study the potential of integration of LIDAR and imagery. In Remote Sensing for Environmental Monitoring, *GIS Applications, and Geology VI* (Vol. 6366, p. 63660W). *International Society for Optics and Photonics*.
- [15] Süleymanoğlu, B. & Soycan, M. (2019). Comparison of filtering algorithms used For DTM Production from airborne LiDAR data: A case study in Bergama, Turkey.
- [16] Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L. & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- [17] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. & Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221-227.
- [18] Tahar, K. N. (2013). An Evaluation On Different Number of Ground Control Points in Unmanned Aerial Vehicle. *Photogrammetric Block XL*. 27–29.

*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Mondrian Based Real Time Anonymization Model

## Mondrian Tabanlı Kimliksizleştirme Modeli

İrem Civelek<sup>1\*</sup>, M. Ali Aydın<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 20/04/2021*

*Revize / Revised: 04/05/2021*

*Kabul / Accepted: 04/05/2021*

### ABSTRACT

The presence of private information belonging to individuals in data heaps called "Big Data" causes the privacy of the person to be endangered against disclosure attacks. To protect personal privacy in big data, it is ensured that anonymous data is created, stored, and shared in systems with anonymization methods. However, de-identified data cannot be reinstatement. The aim of this study is to create a new method that provides instant disidentification and does not disrupt the data structure in the system. In the study, the Hadoop ecosystem was used to process large data heaps. With the proposed model, it has been ensured that the requests from the user are processed in the Hadoop ecosystem with the services in the middle layer, thus obtaining anonymous data. The algorithm used for disidentification is optimized and results are compared according to algorithms in the literature. With the proposed model, it has been observed that the user is user-friendly in terms of querying and obtaining an anonymous data set. According to the analysis results, an algorithm that works with 40% efficiency compared to other algorithms in terms of processing speed was created with the disidentification algorithm used in the model.

**Keywords- De-Identification, Privacy Protection Model, Spark**

### ÖZ

“Büyük Veri” olarak adlandırılan veri yığınlarında kişilere ait özel bilgilerin bulunması ifşa ataklarına karşı kişinin mahremiyetinin tehlikeye girmesine neden olmaktadır. Büyük veride kişi mahremiyetinin korunması için kimliksizleştirme yöntemleri ile kimliksiz veri oluşturup sistemlerde bu şekilde saklanması ve paylaşılması sağlanmaktadır. Fakat kimliksiz hale getirilen veride bilgi kaybı olduğu için veri eski haline döndürülemez. Bu çalışmanın amacı; büyük veri yığınları için anlık olarak kimliksizleştirme sağlayan ve sistemdeki veri yapısını bozmayan yeni bir yöntem oluşturmaktır. Çalışmada büyük veri yığınlarını işleyebilmek için Hadoop ekosistemi kullanılmıştır. Önerilen model ile kullanıcıdan gelen isteklerin ara katmanda bulunan servisler yardımı ile Hadoop ekosisteminde işlenmesi sağlanarak kimliksiz veri elde edilmesi sağlanmıştır. Kimliksizleştirme için kullanılan algoritma optimize edilerek kullanılmış ve literatürdeki algoritmalara göre avantajları kaydedilmiştir. Önerilen Modelle, kullanıcının sorgu çekmesi ve kimliksiz veri seti elde etmesi bakımından kullanıcı dostu olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, modelde kullanılan kimliksizleştirme algoritmasıyla işleme hızı bakımından diğer algoritmalara göre %40 verimli çalışan bir algoritma oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler- Kimliksizleştirme, Mahremiyet Koruma Modeli, Spark**

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [irem\\_civelek@hotmail.com](mailto:irem_civelek@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-8995-7161>)

Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, MSÜ Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yeşilyurt, İstanbul

<sup>2</sup>İletişim: [aydinali@istanbul.edu.tr](mailto:aydinali@istanbul.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1846-6090>)

Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, MSÜ Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yeşilyurt, İstanbul

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Avcılar, İstanbul

## I. INTRODUCTION

Nowadays, wide variety and large numbers of data are emerging with the processes that produce digital data, the development of Internet of Things (IoT) devices, the use of social media, digitalization, and the management of all processes through programs, etc. In particular, IoT devices transfer the information they receive from sensors to databases continuously every millisecond. For this reason, it creates continuously increasing data size [1]. With the combination of these data, the concept of big data emerges, and problems arise regarding the storage and management of these data [2]. One of the problems in big data is the protection of personal privacy during the processing and storage of the collected data [3]. This protection is generally provided by methods, such as encryption, masking, and anonymization. Unlike other methods, the de-identification method provides data benefit because it does not break the data structure.

Direct sharing of relational data kept on my systems reveals three privacy threats: identity disclosure, membership disclosure, and sensitive attribute disclosure [4-6]. To eliminate these privacy threats, the identifiers that characterize the person are generalized by replacing them with the less specific value. However, as the size of the data grows, data consolidation, estimation, etc. privacy violations can be made with disclosure attacks. At this point, there is a need for systems and algorithms that can provide data security and process large amounts of data within an acceptable period. With the creation of the Hadoop system, big volumes of data can be processed with small and costless systems. Venugopal et al. [7] provide an improvement of up to 36 percent in processing speed by adapting the de-identification algorithm on the Hadoop environment. Jadhav et al. [8] also apply the same algorithm on a distributed basis to different data set sizes. However, as the data set grows, it cannot provide the same rate of performance increase. As the data grows, performance problems increase, Canbay [9] has proven that detecting and removing outlier data before de-identification before de-identification will increase processing speed to reduce the data set that will enter de-identification. However, in the studies conducted, there is a loss of information on the data after de-identification and data cannot be retrieved. In cases where the loss of information is not desired, a structure that will work with performance in different data set sizes is required for instant de-identification for each query transmitted to the system.

This paper has the following main contributions.

- We create a user-friendly system by anonymizing the data returned from the query.
- We provide that the data structure kept in the system is not damaged by not interfering with the data in main the system.
- We provide faster anonymization by using the memory calculation method of the Spark application.
- Our aim is to create a safe structure by choosing as a method that outlier data determine whether identity disclosure was made or not, and provide fast anonymization algorithm for real-time queries.
- We demonstrate that the performance of anonymization is increased with outlier data optimization.

In the rest of the article, sections are explained. General information about anonymization and big data technologies is mentioned in Section II. The related works on the subject are reviewed and the advantages of the model are introduced in Section III. The Mondrian-based real-time anonymization model is explained in Section IV. The results of the experiments are evaluated in Section V. Conclusions are present in Section VI.

## II. ANONYMIZATION AND BIG DATA TECHNOLOGIES

In this part of the article, the concepts of anonymization are discussed to better understand its methods. In addition, the advanced technologies used for processing data in large data sets and applying anonymization algorithms to data are mentioned.

### A. Anonymization

Anonymization is the replacement of attributes containing personal data with a more general value through generalization and suppression, permutation and anatomization methods [10]. In this way, the disclosure of attributes is prevented without spoiling the data structure. Table 1 shows examples of anonymized data.

**Table 1.** Identified Data and Anonymized Data

Identified Data			Anonymized Data		
Age	Gender	Illness	Age	Gender	Illness
24	Female	HIV	20-30	Person	HIV
30	Male	Ulcer	20-30	Person	Ulcer
32	Female	Asthma	30-40	Person	Asthma

Attributes must be classified to anonymization. These attributes are explained below [11].

- **Explicit Identifier:** Attributes that directly reflect the person. Name, Surname, ID, etc.
- **Quasi Identifier:** These are attributes that, even if they do not directly reflect a person, have the potential to reflect a particular person when combined with other attributes. Age, Gender, Profession, etc.
- **Sensitive attribute:** These are the sensitive attributes belonging to the person who will cause problems in case of being handled by third parties. Disease, Disability situation, etc.
- **Non-Sensitive attribute:** These are non-sensitive attributes that do not cause any problems if they are captured by third parties.

For anonymization algorithms to be viable and prevent disclosure attacks, they must meet the k-anonymity, l-diversity, t-proximity criteria.

- **K-anonymity [4]:** It means that there are k-1 of the same value in each of the combinations formed by combining the features in the data set.
- **L-diversity [6]:** For the same attribute combinations in the data set, the sensitive attribute must have at least L diversity.
- **T-closeness [12]:** In the case that each of the features in the data set is subclassified according to their proximity to each other, the T-proximity state must be provided.

Since the data set given in Table 2 does not meet the above criteria, it causes sensitive attribute disclosure of the person known to be a male and an engineer in the data set according to the values in the 3rd and 4th rows.

**Table 2.** Anonymized Data Set

Order	Age	Gender	Profession	Illness
1	40-50	Female	Lawyer	HIV
2	40-50	Female	Lawyer	Ulcer
3	40-50	Male	Engineer	Hepatitis
4	40-50	Male	Engineer	Hepatitis
5	30-40	Female	Doctor	Ulcer
6	30-40	Female	Doctor	Asthma

### **B. Outlier Data**

For the data to be generalized, it must first be divided into certain clusters. When data is classified according to attributes, data that cannot be included in any cluster are called outlier data. Data that cannot belong to A and B clusters in Figure 1 are outliers. Since generalization cannot be provided for such data, it creates a weakness for anonymization algorithms [13].

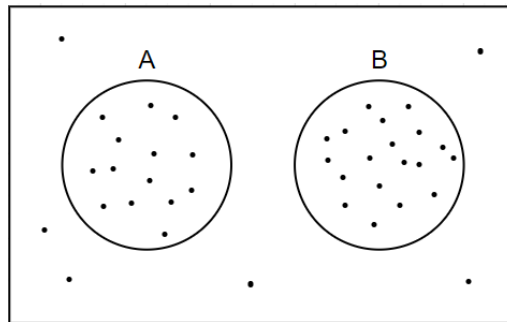


Figure 1. Clustered Data

### C. Apache Hadoop

Along with the concept of big data, this size of data processing, storage, etc. problems are starting to occur. Hadoop is an ecosystem that overcome these problems, providing the opportunity to store and process data in cheaper and smaller systems instead of large and costly systems [14]. It brings together many idle and low-performance computers in its ecosystem, allowing them to be stored and processed in different computers with the HDFS [15] (Hadoop Distributed File System) file system.

There is a Master node and many Slave nodes in the Hadoop architecture. Job Tracker in the master node ensures that the transactions are transmitted to the nodes and coordinated. There is a Data Node in each Slave node that enables its data to be stored. With the HDFS file system, this data behaves like a single database. To distribute the tasks to be done to Slave Nodes, it uses the Map-Reduce [16] method, which was first used by Google. There are 2 functions in this method, Map and Reduce. The map function divides the process into smaller pieces and distributes it to other worker nodes. After the worker nodes perform the given task in parallel, it sends the result to the master node. The results returned from the worker node are combined with the Reduce function. Hadoop architecture is shown in the Figure 2.

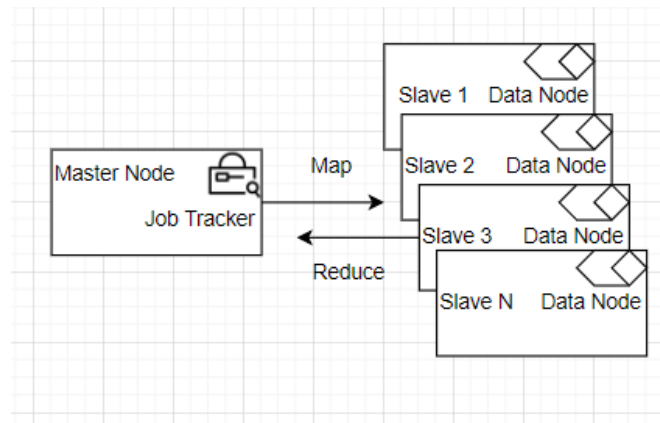


Figure 2. Hadoop Architecture

Projects are developed to solve performance problems on the Hadoop ecosystem, such as data access or processing speed. Cloudera Impala and Spark are projects developed as a solution to these problems.

1) *Cloudera Impala*: HIVE is used within the Hadoop ecosystem to access data via HDFS. HIVE derives SQL queries from Slave nodes by converting them to the Map-Reduce method [17]. However, HIVE does not respond quickly enough to real-time queries. The Impala project, developed by Cloudera as a solution to this problem, is an open-source distributed SQL technology that provides low latency, high-performance data queries in the Hadoop environment [18]. To obtain data over HDFS, instead of the Map-Reduce method, it accesses data directly with distributed queries. In this way, Cloudera impala runs 6 to 55 times faster than HIVE [19].



2) *Apache Spark*: Apache Spark is a technology developed on the Hadoop flexible architecture to process big data in a fast and scalable way. It is claimed to work 100 times faster than HDFS and Map-Reduce methods [20]. It does in-memory computation by characterizing distributed clusters and thus obtains much faster results.

According to the Spark architecture, Tasks (T1, T2, ..., TN) that will work in each cluster are created and these Tasks are run in parallel with the Executer. Cluster Manager, on the other hand, ensures the coordination and operation of the components. Spark architecture is shown in Figure 3.

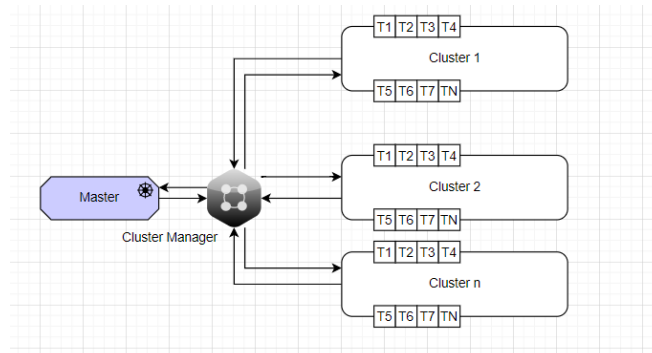


Figure 3. Spark Architecture

### III. RELATED WORK

In the generalization methods used in the anonymization algorithms, the frequency value of the data was first used by Sweeney [21] to create a greedy generalization algorithm. K-anonymity is provided by the fact that the frequency values of the identifiers formed are lower than k. However, this algorithm is insufficient to provide minimum generalization. Sweeney [22] created an algorithm that gives many minimal generalizations based on an information metric called Precision. It prefers generalization with minimal distortion from generalizations created by creating many generalizations. Since it tries all the generalizations one by one, it does not work well in medium-sized data. Wang et al. [23] proposed an algorithm that provides generalization from the bottom upwards. According to this algorithm, the rate of distortion in the data increases according to the number of the hierarchy level. Therefore, it provides a local optimum solution instead of a general optimum solution. Fung et al. [24] try to achieve optimum k-anonymity by performing top-down generalization (TDS). However, the TDS algorithm works slowly compared to other algorithms, since it is tried and created sequential sets for each feature. LeFevre et al. [25], unlike other algorithms, proposed the Mondrian algorithm, which makes multi-dimensional generalization rather than one-dimensional generalization. Mondrian uses a multidimensional re-encoding method using a greedy algorithm to find an equivalence class. In this way, it gets faster results compared to one-dimensional generalization algorithms.

The presence of outlier data in the data set to be created creates identity disclosure risk. Therefore, Wang et al. [26] while detecting and removing the anomalous data in anonymization in the anonymization algorithm they developed, Majeed et al. [27], on the other hand, provide data benefit by including it again in the data structure. However, this creates an extra cost for the algorithm. Canbay [28], in his study with the Mondrian algorithm to reduce this cost, ensures that the outlier data is detected and removed from the data before anonymization. In this way, A more performance structure is obtained with the Mondrian algorithm. Canbay is not testing its algorithm for the Spark environment in this study.

Torticar [29], Ashkouti et al. [30] prove that when they adapt the Mondrian algorithm on Spark, they get faster results compared to other studies. However, in these studies, no optimization is carried out for outlier data. In the proposed model, the modified de-identification algorithm, which enables the data set to be optimized for outlier data is implemented in Spark. Accordingly, a real-time anonymization model, which works faster than other studies, is created. Unlike other studies, in this model, while the data is re-anonymized and presented to the client in each query request, no changes are made to the data format stored in the system. In this way, it is aimed to protect the data structure kept in the system.

**Table 3.** Comparison of generalization algorithms

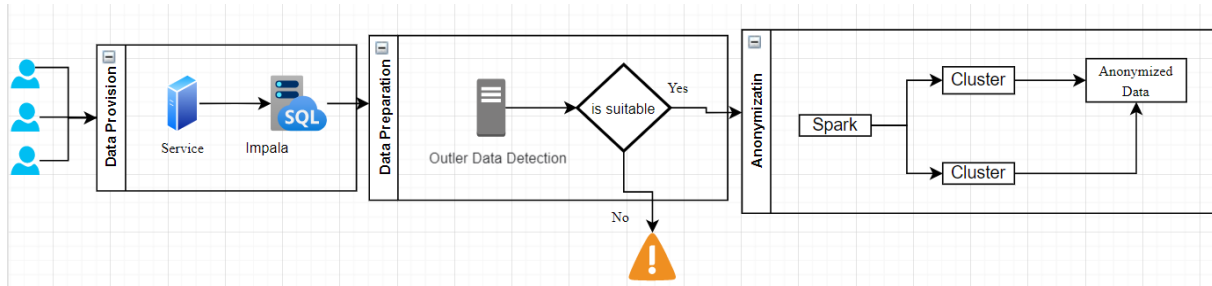
Algorithm	Hierarchy	Dimension	Minimum Generalization	Searching Algorithm	Generalization
Datafly [21]	Bottom Up	Single	No	Complete	Global
MinGen [22]	Bottom Up	Single	Yes	Not feasible	Global
Bottom-up Generalization [23]	Bottom Up	Single	Yes	Greedy	Global
TDS[24]	Top Down	Single	Yes	Greedy	Local
Mondrian [25]	Top Down	Multi	Yes	Greedy	Local

#### IV. MONDRIAN BASED REAL TIME ANONYMIZATION MODEL

The purpose of the model is to provide communication between the Hadoop environment and the relational database users. By adapting the queries from the client in SQL format to the data stored in the Hadoop environment, the obtained data is instantly anonymous and presented to the client. In this way, it is ensured that the client can obtain the data he wants without an identity without the adaptation process to the big data environment.

In the system to be installed, the query results transmitted to the Hadoop environment must pass certain controls to meet the security criteria. To prevent disclosure attacks with the obtained data set, there should be no outlier data in the data set. Therefore, it was ensured that data contradiction was detected before starting the anonymization process. When the data is made ready for anonymization, if the anonymization criteria are not provided, the forwarded query is considered a risky query.

There are 3 basic sections in the model to establish a connection between the client and the Hadoop environment; to parse out the outlier data, to prevent the returning query result from creating identity disclosure, and to perform instant anonymization. The first part provides to obtain data from the Hadoop environment with SQL queries, the second part prepares the data and applies the security criteria, and the third part presents the problem-free data set to the client. The architecture of the proposed model is shown in Figure 4.



**Figure 4.** Mondrian Based Real-Time Anonymization Model

##### A. Data Provision Layer

In the proposed model, the data request of the system is provided directly by the users. SQL queries from the user cannot provide data directly from the Hadoop environment. At this point, a layer is needed to provide communication between the Hadoop system and the clients. Communication between the Hadoop system and the clients is provided at the data provision layer in between. SQL queries transmitted to the system are captured by the service in this layer. Using Impala libraries, data is obtained in a distributed manner in the Hadoop environment. The data obtained is transferred to the second layer to be prepared for the anonymization process. Figure 5 shows the data sets returned from Impala.

	age	workclass	fnlwgt	education	educationnum	maritalstatus	occupation	relationship	race
1	39	State-gov	77516	Bachelors	13	Never-married	Adm-clerical	Not-in-family	White
2	50	Self-emp-not-inc	83311	Bachelors	13	Married-civ-spouse	Exec-managerial	Husband	White
3	38	Private	215646	HS-grad	9	Divorced	Handlers-cleaners	Not-in-family	White
4	53	Private	234721	11th	7	Married-civ-spouse	Handlers-cleaners	Husband	Black
5	28	Private	338409	Bachelors	13	Married-civ-spouse	Prof-specialty	Wife	Black
6	37	Private	284582	Masters	14	Married-civ-spouse	Exec-managerial	Wife	White
7	49	Private	160187	9th	5	Married-spouse-absent	Other-service	Not-in-family	Black
8	52	Self-emp-not-inc	209642	HS-grad	9	Married-civ-spouse	Exec-managerial	Husband	White

Figure 5. Impala Data Set

The data sets obtained from this layer are transmitted to the data preparation layer, which is the preprocessing layer, to be extracted from the outliers.

### B. Data Preparation Layer

The second layer acts as a provision for the anonymization layer, while at the same time protecting against the system's disclosure attacks. Outlier detection and alarm mechanism are in this layer.

Clustering algorithms used in machine learning methods are used to detect outlier data. WEKA program is software written in the java programming language that includes clustering algorithms and can be used by converting libraries into jar files [31]. The data set is clustered with the Expectation-Maximization (EM) [32] algorithm in the WEKA program according to its specified attributes. EM algorithm obtains data sets containing the maximum amount of data with predictive criteria.

Clusters determined according to the specified attributes must have a certain size. Clusters that do not have a predetermined threshold value according to system features and security level are considered as outlier data and extracted from the data. Figure 6 shows the number of records in each cluster as a result of the sample cluster. Accordingly, the third cluster was considered as outliers and separated from the data because it did not have sufficient size.

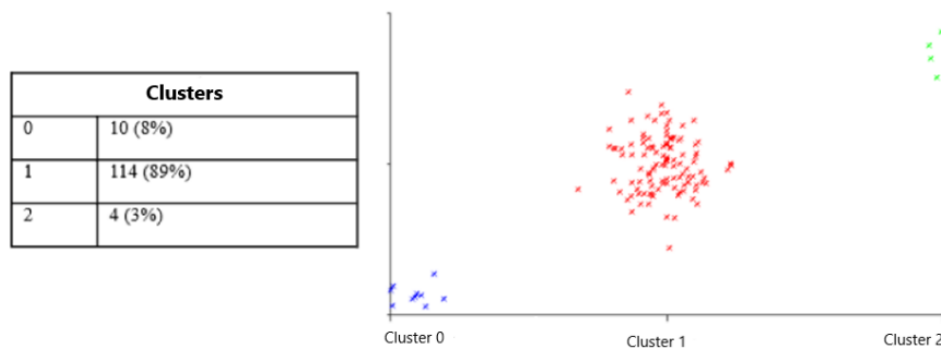


Figure 6. Clusters

After the outliers are cleared from the data set, it is checked whether the data set meets the de-identification criteria. At this stage, if the data set does not have a certain size and does not meet the de-identification criteria, the query sent to the system is evaluated as a query that can allow identity disclosure, and system logging is performed. The recorded query is reported and forwarded to the relevant units.

The dataset obtained from this layer, cleaned from outlier data and ready to be processed, is transferred to the third layer, the anonymization layer.

### C. Anonymization Layer

The data that is cleared from the data contrary to the third layer, the anonymization section, is transferred ready for processing. Through Spark, this data is processed on more than one cluster in parallel. Functions given in Algorithm 1 are transferred to Clusters via Master Node.

The Mondrian-based algorithm is used for anonymization in the system. Mondrian code is given in Pseudocode 1.

PSEUDOCODE 1: MONDRIAN ANONYMIZATION PSEUDOCODE	
1	<b>Input:</b>
2	S: Dataset
3	<b>Output:</b>
4	V: Anonymized dataset
5	<b>Start:</b>
6	Divide S into T clusters
7	
8	<b>For each cluster:</b>
9	
10	fs ← calculate_frequency (S, dim)
11	splitV al ← find_median (fs)
12	lhs ← {t ∈ S: t.dim ≤ splitV al}
13	rhs ← {t ∈ S: t.dim > splitV al}
14	V ← Anonymize ()
15	
16	
17	<b>Return V</b>

Figure 7. Mondrian Anonymization Pseudocode

### D. Summary

The Mondrian-based real-time anonymization algorithm returns an input transmitted in SQL syntax, V anonymous data set. In Pseudocode 2, the pseudo-code of the Mondrian-based anonymization algorithm is explained.

PSEUDOCODE 2: MONDRIAN BASED REAL TIME ANONYMIZATION PSEUDOCODE	
1	<b>Input:</b>
2	S: SQL Query
3	<b>Output:</b>
4	V: Anonymized Dataset
5	<b>Start:</b>
6	S ← SQL query
7	Dataset ← Impala(S)
8	Clustering (Dataset)
9	
10	<b>Loop:</b> Cluster Count
11	
12	<b>If:</b> The amount of data of the cluster is less than the threshold value
13	Detect outlier data.
14	Remove from Dataset.
15	
16	<b>End Loop:</b>
17	
18	<b>If:</b> Dataset is not suitable for anonymization
19	
20	
21	<b>Return:</b> null
22	<b>Alert:</b> disclosure
23	
24	<b>Else:</b>
25	<b>Spark:</b> Send Dataset to clusters
26	Start Process on clusters
27	V ← Mondrian (Dataset)
28	
29	<b>Return:</b> V
30	

Figure 8. Mondrian Based Real Time Anonymization Pseudocode

The input of the model function is SQL statements from the user. The data set is obtained by distributing SQL queries to the HDFS system with Impala libraries. The obtained data set is divided into T clusters after clustering. Each cluster must have more than the threshold value. Data that cannot be included in sets are purged from the data set. The data set suitable for anonymization is de-identified by distributing it to the clusters on the Spark library. The general flow diagram is given in Figure 9.

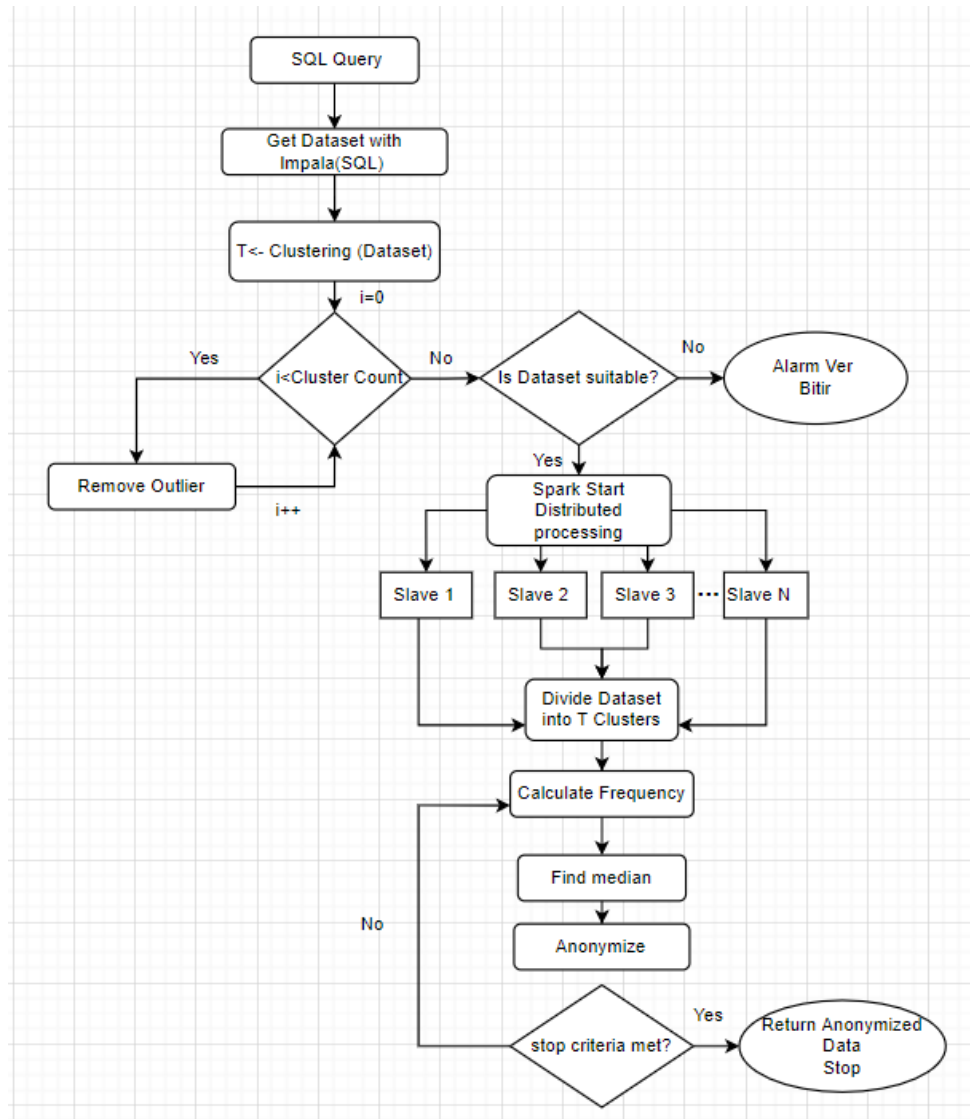


Figure 9. Mondrian Based Real Time Anonymization Model Diagram

## V. RESULTS

In the testing of the model, the Adult data set, which is frequently used in the literature, was used. The Adult dataset was created by Barry Becker in the 1994 Census [33]. There are a total of 15 fields in this data set. It contains 6 semi-descriptive fields used for classification. The model was tested on a 64bit, i7 core processor, 4-core machine. Figure 10 lists the results according to  $k = 2$ ,  $k = 5$  and  $k = 10$  anonymity criteria.

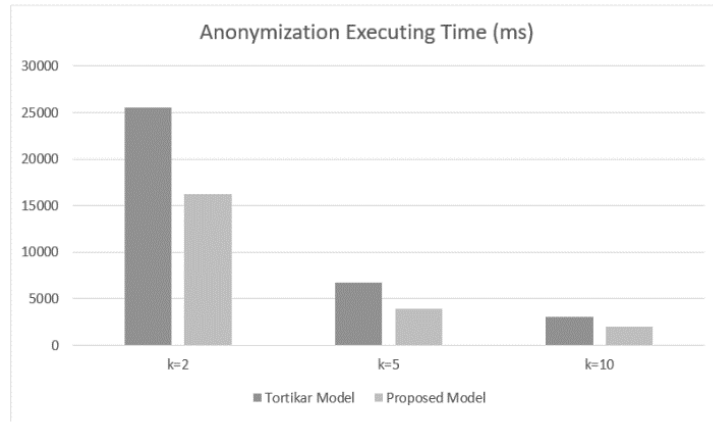


Figure 10. Comparison of the Tortikar [29] Model and the Proposed Model

According to the results, anonymization after removing the outliers from the system according to different anonymity criteria increases the speed of the algorithm. In the study, it is seen that about 40% improvement was made in terms of the rate of anonymization in different anonymity criteria, such as  $k = 2$ ,  $k = 5$ , and  $k = 10$ . Figure 11 shows sample data obtained as a result of anonymization.

```
|sensitive_data|education_num| age|capital_gain|hours_per_week| fnlwgt|
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ >50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
| [ <=50K ] | [ 9,10 ] | [ 30,19 ] | [ 0,5013 ] | [ 40,58 ] | [ 289980,101509 ] |
```

Figure 11. Anonymized Data

## VI. CONCLUSIONS

It seems that the proposed model is a user-friendly model. The purpose of the study is to return a quick response to the client. Unlike HDFS and Map-Reduce methods, using Spark makes the model more powerful. In addition, it is determined that by detecting outlier data in advance and removing it from the data, 40% faster results are obtained compared to Mondrian applications in the literature.

In this study, a new utility-based anonymization model has been proposed that provides real-time anonymization in big data, which increases the performance to be obtained from the anomaly data and aims to make the calculation cost-effective. In the proposed model, the total speed was increased by removing the outlier data. The results obtained from the experiments show that the proposed model is successful in increasing the processing speed for anonymization and ensuring anonymity.

## KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, H., Küçük, K. & Khan, S. A. Endüstriyel IoT Bulut Uygulamaları için Düşük Maliyetli Modbus/MQTT Ağ Geçidi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 170-183.
- [2] Nasser, T. & Tariq, R. S. (2015). Big data challenges. *J Comput Eng Inf Technol* 4: 3. doi: [http://dx.doi.org/10.4172/2324.9307\(2\)](http://dx.doi.org/10.4172/2324.9307(2)).
- [3] Mehmood, A., Natgunanathan, I., Xiang, Y., Hua, G. & Guo, S. (2016). Protection of big data privacy. *IEEE access*, 4, 1821-1834.

- [4] Sweeney, L. (2002). k-anonymity: A model for protecting privacy. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(05), 557-570.
- [5] Nergiz, M. E., Atzori, M. & Clifton, C. (2007). Hiding the presence of individuals from shared databases. In Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 665-676..
- [6] Machanavajjhala, A., Kifer, D., Gehrke, J. & Venkatasubramanian, M. (2007). l-diversity: Privacy beyond k-anonymity. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 1(1), 3-es.
- [7] Venugopal, V. & Vigila, S. M. C. (2018). Implementing Big Data Privacy with MapReduce for Multidimensional Sensitive Data. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(15), 11824-11829.
- [8] Jadhav, R. H. (2018). Distributed Bottom up Approach for Data Anonymization using Map Reduce framework on Cloud. *International Journal*, 3(6).
- [9] Canbay, Y., Vural, Y. & Sağıroğlu, S. (2018). Privacy preserving big data publishing. In 2018 International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism (IBIGDELFT). 24-29
- [10] Goswami, P. & Madan, S. (2017). A survey on big data & privacy preserving publishing techniques. *Advances in Computational Sciences and Technology*, 10(3), 395-408.
- [11] Wang, L., Jajodia, S. & Wijesekera, D. (2004). Securing OLAP data cubes against privacy breaches. In IEEE Symposium on Security and Privacy, 2004, 161-175.
- [12] Li, N., Li, T. & Venkatasubramanian, S. (2007). t-closeness: Privacy beyond k-anonymity and l-diversity. In 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering, 106-115.
- [13] Kohlmayer, F., Prasser, F. & Kuhn, K. A. (2015). The cost of quality: Implementing generalization and suppression for anonymizing biomedical data with minimal information loss. *Journal of biomedical informatics*, 58, 37-48.
- [14] Apache Hadoop. (2006). The Apache Software Foundation, <https://hadoop.apache.org/> (25.03.2021)
- [15] Shvachko, K., Kuang, H., Radia, S. & Chansler, R. (2010). The hadoop distributed file system. In 2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST), 1-10.
- [16] Dean, J. & Ghemawat, S. (2004). MapReduce: Simplified data processing on large clusters. 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation, 137-149
- [17] Apache Hive. (2011). Apache Hive TM, <https://hive.apache.org/> (18.04.2021).
- [18] Apache Impala. (2021). Apachecon, <https://impala.apache.org/overview.html> (18.04.2021).
- [19] Kornacker, M., Behm, A., Bittorf, V., Bobrovitsky, T., Ching, C., Choi, A., ... & Yoder, M. (2015). Impala: A Modern, Open-Source SQL Engine for Hadoop. In *Cidr*, 1, 9.
- [20] Spark Apache. (2011). The Apache Software Foundation, <http://spark.apache.org/> (26.03.2021).
- [21] Sweeney, L. (1998). Data fly: A system for providing anonymity in medical data. In *Database Security XI*, 356-381.
- [22] Sweeney, L. (2002). Achieving k-anonymity privacy protection using generalization and suppression. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(05), 571-588.
- [23] Wang, K., Yu, P. S. & Chakraborty, S. (2004.). Bottom-up generalization: A data mining solution to privacy protection. In Fourth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'04), 249-256.
- [24] Fung, B. C., Wang, K. & Yu, P. S. (2005). Top-down specialization for information and privacy preservation. In 21st international conference on data engineering (ICDE'05), 205-216.
- [25] LeFevre, K., DeWitt, D. J. & Ramakrishnan, R. (2006). Mondrian multidimensional k-anonymity. In 22nd International conference on data engineering (ICDE'06), 25-25.
- [26] Wang, H. & Liu, R. (2009). Hiding distinguished ones into crowd: privacy-preserving publishing data with outliers. In Proceedings of the 12th International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology, 624-635.
- [27] Majeed, A. (2019). Attribute-centric anonymization scheme for improving user privacy and utility of publishing e-health data. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 31(4), 426-435.
- [28] Canbay, Y., Vural, Y. & Sağıroğlu, Ş. (2020). OAN: outlier record-oriented utility-based privacy preserving model. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 355-368.
- [29] Tortikar, P. (2019). K-Anonymization Implementation Using Apache Spark, Master of Science, North Dakota State University, Department of Computer Science, Fargo, North Dakota.
- [30] Ashkouti, F. & Sheikhamadi, A. (2021). DI-Mondrian: Distributed improved Mondrian for satisfaction of the L-diversity privacy model using Apache Spark. *Information Sciences*, 546, 1-24.

- [31] Gündüz, H. (2020). WEKA Veri Madenciliği Yazılımının Sürümleri Arasındaki Kalite Değişimlerinin QMOOD ile İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 825-836.
- [32] Sezgin, E. & Çelik, Y. (2013). Veri madenciliğinde kayıp veriler için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. Akademik Bilişim Konferansı, Akdeniz Üniversitesi, 23-25.
- [33] Adult Data Set. (1994). The UCI Machine Learning Repository, <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Adult> (26.03.2021).



*Derleme Makale - Review Article*

# Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi ve Tayininde Kullanılan Yöntemler

## Methods of Soil Moisture Content Monitoring and Determination

Ali Kaan Yetik<sup>1\*</sup>, Mehmetcan Aşık<sup>2</sup>

*Geliş / Received: 17/12/2020*

*Revize / Revised: 13/01/2021*

*Kabul / Accepted: 18/01/2021*

### ÖZ

Su kaynaklarının etkili kullanımının önemi, dünya nüfusunun katlanarak büyümesi ve iklim değişikliğinin etkileriyle beraber her geçen gün artmaktadır. Büyük bir su tüketicisi olan tarım sektöründe, doğal kaynaklar için kritik öneme sahip olan suyun verimli kullanılması hedefinin küresel anlamda etkileri ve olumlu sonuçları olacaktır. Tarımda suyun verimli kullanılması hem aşırı sulamalardan kaçınmak hem de bitkilere su stresi yaşatmamak için önemlidir. Bu nedenle kullanılacak su miktarının belirlenmesi amacıyla topraktaki mevcut nem miktarının izlenmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Uygulanacak olan sulama programının oluşturulmasıyla, düzenli sulama uygulamaları yapılacak ve minimum sudan maksimum verim elde edilmesi amacının ilk aşaması tamamlanacaktır. Toprak nem içeriğinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayrılmaktadır. Gravimetrik yöntem doğrudan toprak nem içeriğini belirlemek için kullanılırken; dolaylı yöntemler, elektromanyetik yansıma zamanının ve frekansının ölçülmesi, elektriksel direnç yöntemi, nötron saçılımı yöntemi ve toprak su potansiyelinin ölçülmesi olarak açıklanmıştır. Dolaylı ölçüm yöntemleri, doğrudan ölçüm yöntemlerine göre toprak nem içeriğinin izlenmesini uygulamada daha pratik hale getirmek için geliştirilmiştir. Ancak bu geliştirmelerin; ekipman fiyatlarının görece yüksek olması, çalışma aralıklarının sınırlı olması, insan sağlığına tehdit oluşturacak unsurlar barındırması ve ekonomik ömürlerinin sınırlı olması gibi farklı sonuçları olmuştur. Bu çalışmada toprak nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş ve sahip oldukları avantaj ve dezavantajlar incelenmiştir.

*Anahtar Kelimeler- Gravimetrik Yöntem, TDR, FDR, Nötronmetre, Tansiyometre*

### ABSTRACT

The importance of efficient use of water resources is increasing with the exponential growth of the world population and the effects of climate change. In the agricultural sector, which is a great water consumer, the goal of efficient using of water, which is critical for natural resources, will have global effects and positive results. Efficient use of water in agriculture is important both to avoid excessive irrigation and to not being in water stress for plants. For this reason, it has become a necessity to monitor the amount of moisture in the soil in order to determine the amount of water to be used. With the constitute of the irrigation scheduling to be implemented, regular irrigation applications will be made and the first phase of the aim of obtaining maximum efficiency from minimum water using will be completed. Determination of soil moisture content methods is divided into two as direct and indirect. While gravimetric method is used to directly determine soil moisture content; indirect methods are described as measurement of electromagnetic reflection time and frequency, electrical resistance method,

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [alikaanyetik@ohu.edu.tr](mailto:alikaanyetik@ohu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-1372-8407>)

*Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [mehmetcan28a@gmail.com](mailto:mehmetcan28a@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-1816-747X>)

*Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye*

neutron probe method and measurement of soil water potential. Indirect measurement methods have been developed to make monitoring soil water content more practical in application than direct measurement methods. But these improvements caused different consequences, such as relatively high equipment prices, limited working intervals, threats to human health, and limited economic life. In this study, information was given about the methods used in determining soil moisture content and their advantages and disadvantages were examined.

**Keywords- Gravimetric Method, TDR, FDR, Neutron Probe, Tensiometer**

## I. GİRİŞ

Su yenilenebilir bir kaynaktır ancak bulunabilirliği değişken ve sınırlıdır [1]. Günümüzde iklim değişikliğinin de etkisi ile birlikte su kaynakları büyük bir tehdit altındadır. Mevcut su yönetimi uygulamaları, iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan tehdidi ile başa çıkacak kadar güçlü olmayabilir. Meydana gelecek düzensiz yağışlar ve ortalamanın altındaki veya üstündeki sıcaklıklar sebebiyle büyük sel ve/veya kuraklık olayları yaşanması beklenebilir. Bu tehditle mücadelenin ilk adımı olarak; iklim değişikliği hakkındaki mevcut bilgilerin su yönetimine adapte edilmesi ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması, uzun vadeli etkilerin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Aksi takdirde iklim değişikliği etkilerine nüfus artışının da eklenmesiyle birlikte oluşabilecek hasarının telafi edilemez noktaya gelmesi kaçınılmazdır [2].

Dünya üzerindeki mevcut su varlıklarının sektör bazında kullanım verileri incelendiğinde; tarımsal faaliyetlerin sahip olduğu oranın yaklaşık %70 olduğu görülmektedir. Kalan %30'luk kısmın ise %11'i evsel, %19'u sanayi sektöründeki kullanımlara aittir [3, 4]. 20. Yüzyılın sonlarından itibaren farkındalığı artmaya başlanan su kıtlığı, tarımsal kalkınmayı kısıtlayan en büyük faktör haline gelmiştir [5]. Mevcut suyun %70'ini kullanan tarım sektöründe kaynakların verimli kullanılması küresel anlamda olumlu sonuçlar doğuracaktır. Tarımda suyun etkili kullanımın en önemli aşamalarından biri bitkinin su ihtiyacının belirlenmesidir. Zira verim ve su ihtiyacı arasındaki ilişki ile optimum sulama yöntemleri, sulama suyu miktarı ve su kaynaklarının önemi yapılan birçok bilimsel çalışmayla ortaya konmuştur [6, 7]. Dolaylı etkileri ve uluslararası anlamda öneminden bahsedilen bitki su ihtiyacının belirlenmesi işleminin ana unsurlarından biri ise topraktaki nem miktarının takip edilmesidir.

Toprak nem içeriğinin kesin ve mutlak bir şekilde tahmin edilmesi, başta sulama programları ve yönetimi, bitkinin su ihtiyacının karşılanması, faydalı gübre uygulamaları, su kaynaklarının verimli kullanılması ve birçok teknik çalışma için gereklidir [8]. Zira yetiştiricilikte tatmin edici sonuçlar elde etmek için bitkilerde su stresini en aza indiren bir sulama programına sahip olmak gerekir. Bunu yaparken aşırı sulamadan kaçınmak da sürecin önemli bir basamağıdır. Yetersiz sulama eğilimi, bitki kökü su alma mekanizmasında strese sebep olacaktır. Bu durum fotosentez faaliyetlerinin yanı sıra hücre genişlemesinde de yavaşlamalara sebebiyet verdiğinden verimde oluşacak kayıplar kaçınılmazdır. Öte yandan aşırı sulama, su kaynaklarının tüketilmesinin dışında toprak için de olumsuz sonuçlar doğurabilir. Gelişen bir bitki, atmosferik su talebini topraktan karşılayabildiği miktarla dengeleyebilmelidir. Toprakta mevcut bulunan su evapotranspirasyon yoluyla tüketilirken, sulama veya yağışla yenilenir ve toprak katmanlarında tutulur. Toprak ve su ilişkileri, bitki büyümesi ve yetiştiricilik üzerindeki etkisinin yanında yüzey akış ve drenajla olan bağlantıları sebebiyle de geçmişten günümüze insanoğlunun ilgisini çekmiştir [9].

Toprak su içeriğinin geleneksel tanımı, topraktan alınan numunenin kurutulmadan önce içerdiği su kütlesinin, 105°C'de kurutulduktan sonraki toplam numune kütlesine oranı şeklindedir [10]. Alternatif olarak ise birim hacim toprakta bulunan suyun hacmi, toprak su içeriğinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Bu sebeple bitki-toprak-su ilişkileri çalışmalarında genellikle kullanılan su içeriği boyutsuz bir oran veya yüzde olarak görülmektedir. Bu gravimetrik ve hacimsel tanımların eşdeğer olmadığı göz önüne alındığında, belirtilen su içeriğinin iki kütle mi yoksa iki hacmin oranı olarak mı belirlendiğini belirtmek oldukça büyük önem taşımaktadır. Nem içeriğinin belirlenmesi yöntemleri temelde, doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrudan yöntemler, kavramın tanımını da içeren toprak numunesindeki su miktarının ölçülmesi ve kurutulduktan sonra orantılanması prensibine dayanırken; dolaylı yöntemler ise toprak su potansiyelinden ve toprak numunesinin barındırdığı suyun bazı kimyasal veya fiziksel özelliklerinin kullanılmasıyla yapılan ölçümlerdir. Bu özellikler arasında dielektrik sabiti, iletkenlik, ısı kapasitesi, hidrojen miktarı ve manyetik duyarlılıklar gibi kavramlar mevcuttur. Doğrudan yöntemlerin aksine dolaylı yöntemler toprağa daha az zarar verir ve arazide tahribat oluşturmaz. Dolaylı yöntemlerin doğruluğu, kullanılan yöntemin ilkelerine ne kadar sadık kalındığı veya kullanılan cihazın kalibrasyonunun doğruluğuna göre değişebilmektedir [11].

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte toprak nem içeriğinin belirlenmesi yöntemlerinde de devrim niteliğinde ilerlemeler yaşanmıştır [12]. Gravimetrik yöntem olarak adlandırılan ve “Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi” kavramının tanımını oluşturan doğrudan ölçüm tekniğine ek olarak geliştirilen; nötron saçılımı, dielektrik sabitinin belirlenmesi, elektromanyetik yansıma frekansları, elektriksel direncin ve matris potansiyelin ölçülmesi gibi dolaylı yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Bu derleme çalışmasında toprak nem içeriğinin izlenmesinde kullanılan yöntemler ve ekipmanlar incelenerek ulusal literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## II. DOĞRUDAN YÖNTEMLER

### A. Gravimetrik Yöntem

Gravimetrik yöntem yardımıyla toprak içerisinde bulunan nem miktarı doğrudan belirlenebilmektedir. Toprak nem içeriğinin belirlenmesinde örneklem burğu yardımıyla önceden belirlenen toprak derinliklerinde yapılmaktadır. Örneklemelerde kullanılan ekipmanlar ve farklı burğu çeşitleri Şekil 1. ve Şekil 2.’de gösterilmiştir. Toprakta örnek alınırken oldukça hassas davranılmalı ve belirli ağırlıktaki örneklerin yapısının bozulmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir [13]. Bu yöntemde kullanılan alüminyum kaplar yüksek sıcaklıktaki etüvlerde ısıya maruz kalacağı için; erimeyecek ve önemli bir ağırlık kaybetmeyecek şekilde seçilmektedir. Alınan toprak örnekleri, daraları belirli olan bu kaplara hızlıca ulaştırılıp, herhangi bir nem kaybının meydana gelmesini engellemek yöntemin önemli bir basamağını oluşturmaktadır. Daha sonrasında içerisinde toprak örnekleri bulunan kaplar hassas terazi yardımıyla ağırlıkları belirlenerek not edilmekte ve ardından 105°C’ de 24 saat boyunca bekletilmektedir[14]. Etüvden çıkarılan kapların ağırlıkları hassas terazi yardımıyla yeniden belirlendikten sonra iki tartım işlemi arasındaki fark, toprak örneğindeki mevcut suyun ağırlığını vermektedir. Toprak nem içeriği ise toprak örneğindeki mevcut suyun ağırlığının kuru toprağın ağırlığına oranlanmasıyla bulunmaktadır. Uygulaması açıklanan işlem, Eşitlik 1. ile ifade edilmiştir. Toprak içeriğinde yüksek oranda organik madde var ise 50°C’nin üzerindeki numuneler, organik maddenin buharlaşması nedeniyle ağırlık kaybetme riski taşımaktadırlar. Numune kurutma süreleri ve sıcaklıklarının daha kapsamlı bir tartışması Gardner[15] tarafından verilmiştir. Veriler tipik olarak numune kuru ağırlığına veya numune hacmine bölünerek normalleştirilmektedir. Doğrudan su içeriği ölçümleri, kurutma sırasında kaybedilen su miktarının tartılmasına dayandığından gravimetrik ölçümler olarak adlandırılmaktadırlar.

$$W_{H_2O} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} * 100 \quad (1)$$

Eşitlikte;

$m_0$ : Boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi, g

$m_1$ : Nemli toprak örneği bulduran kabın kütlesi, g

$m_2$ : 105°C de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi, g

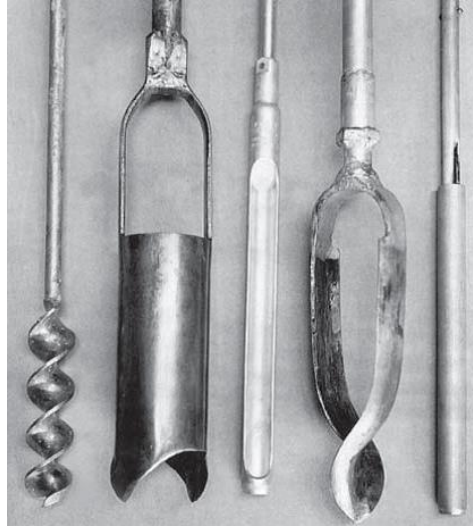


Şekil 1. Toprak örneği alma teçhizatı [16].

Gravimetrik yöntemin uygulanmasında her ne kadar örnek alımı esnasında fazla iş gücüne ihtiyaç duyuluyor ve örnekler 24 saat etüvide bekletilmesi gerekiyorsa da ölçümler sonunda elde edilen değerler ile gerçek değerler arasında büyük benzerlikler vardır. Bu durum etkili bir sulama programının oluşturulmasında oldukça önemli rol oynamakta ve daha az su kullanarak daha faydalı bir sulama suyu kullanımı sağlamaktadır. Gravimetrik yönteme ait avantajlar ve dezavantajlar Tablo 1.'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Gravimetrik yöntemin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha ucuzdur.	Sonuca örnek alındıktan 24 saat sonar ulaşılabilir.
Daha doğru sonuç vermektedir.	İş gücü fazladır.
Kalibrasyona gerek yoktur.	



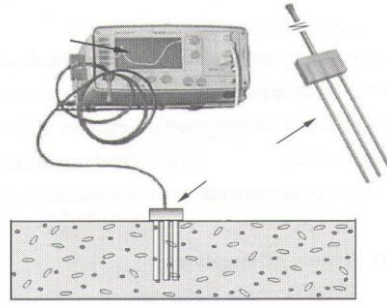
**Şekil 2.** Toprak burguları ve tüpler [17].

### III. DOLAYLI YÖNTEMLER

#### A. Elektromanyetik Yansıma Zamanının Ölçülmesi (TDR)

TDR yöntemi son zamanlarda kullanılmaya başlanan ve toprağın sahip olduğu dielektrik sabitesinin belirlenmesi yoluyla toprak nem içeriğini hesaplamakta kullanılmaktadır. Bu yüzden toprak nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan bu elektromanyetik yansıma yöntemi diğer yöntemlere göre daha yeni bir yöntemdir [18]. TDR ifadesinin İngilizcedeki açılımı Time Domain Reflectometry'dir ve ifadenin Türkçe anlamı, elektromanyetik yansıma zamanını esas alan ölçümdür.

TDR sistemleri bir radar gibi çalışmaktadır, ölçümler yapılırken problemlerden yararlanılmaktadır. Genellikle ikili ve üçlü problemler kullanılmakta ve yapılan araştırmalarda ikili olan problemler üçlü problemlere göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Daha doğru bir okumanın yapılması için prob uzunlukları 30 cm'yi aşmamalıdır. Bir uçtan kablo sistemine hızlı bir yükselme süresi darbesi enjekte edilir. Darbe kablodan aşağıya doğru ilerlerken karakteristik empedansta meydana gelen herhangi bir değişiklik olay sinyalinin bir kısmının geri yansıtılmasına sebep olacaktır. Yansıyan darbe bileşenleri, empedansın kablunun karakteristik empedansından büyük veya küçük olmasına bağlı olarak pozitif veya negatif olarak görülmektedir. Koaksiyel kabloya bağlı bir osiloskop yardımı ile elektromanyetik dalganın dönüş süresi ölçülür. TDR darbelerinin yayılma hızı bilindiğinde veya tahmin edilebildiğinde, zaman mesafeye veya konuma dönüştürülmektedir. Şekil 3.'te 3 problemlü bir TDR aygıtının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. Probları toprağa dikey olarak yerleştirilmiş 3 probu bir TDR aygıtı [19]

TDR ayrıca dielektrik katsayısını ölçmek için kullanılır, bu da toprak nem içeriğini dolaylı olarak ölçüldüğü anlamına gelir. Toprak içerisinde bulunan su miktarı fazla ise aynı oranda dielektrik kuvvetlerde yüksek değerde olmaktadır [20]. Suyun dielektrik katsayısı diğer toprak bileşenlerinden daha büyük olduğundan, nemli toprağın dielektrik katsayısını ölçerek toprak nem içeriğine ulaşılabilmektedir [21]. TDR yardımıyla toprak içerisinde bulunan hacimsel su içeriğinin belirlenmesi Eşitlik 2. ve Eşitlik 3.'te verilmiştir. [22].

$$k_a = [c * t / 2L]^2 \quad (2)$$

$$\theta = 4.3 \times 10^{-6} (k_a)^3 - 5.5 \times 10^{-4} (k_a)^2 + 2.92 \times 10^{-2} k_a - 5.3 \times 10^{-2} \quad (3)$$

Eşitliklerde,  $k_a$ ; toprağın dielektrik sabitini,  $\theta$ ; toprağın hacimsel su içeriğini,  $c$ ; elektromanyetik dalganın boşluktaki yayılma hızını,  $t$ ; zamanı,  $L$ ; probun uzunluğunu göstermektedir.

Toprak tuzluluğu veya yüksek derecede iletken ağır kil içerikleri, yansıyan darbelerin zayıflamasına neden olduğundan TDR'yi etkileyebilir. Başka bir deyişle; TDR, analiz edilebilir bir darbe yansıtıldığı sürece tuzluluğa nispeten duyarsızdır. Yüksek tuzlu koşullara sahip topraklarda, epoksi kaplı prob çubuklarının kullanılması sorunu çözebilmektedir. Ancak bu, hassasiyet kaybı ve kalibrasyonda değişiklikler yapılması anlamına gelmektedir. Gezinme süresine ek olarak, toprakta ilerleyen vuruşun başka bir özelliğinin (yani, boyuttaki değişiklik veya vuruşun zayıflaması) toprak elektrik iletkenliği ile ilişkili olabileceğinin fark edilmesi önemlidir. Buna dayanarak, bazı ticari cihazlar su içeriği ve toprak tuzluluğunu aynı anda ölçme olasılığını içerir. TDR cihazlarına ait avantajlar ve dezavantajlar Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. TDR cihazlarının avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Normal tuzluluk düzeylerine karşı duyarsız olma sebebiyle ölçüm aralığı kısıtlanmıştır.	Tuzlu koşullar altında veya oldukça iletken ağır killi topraklardan etkilenmektedir.
Taşıması ve saklaması oldukça kolaydır.	Test ve analiz sonrası için kalifiye operatörler gereklidir.
Test sırasında toprağa zarar verilmez.	Pahalı cihazlar kullanılmaktadır.
Sulamada otomasyon sistemlerinin kurulmasına olanak sağlamaktadır.	Toprakta bulunan tuz içeriği dielektrik sabitesini değiştirebilir.
Toprağa özgü kalibrasyona ihtiyaç yoktur.	
Bakım ve onarım maliyetleri düşüktür.	
Doğruluk payları oldukça yüksektir.	

### B. Elektromanyetik Yansıma Frekansının Ölçülmesi (FDR)

TDR'largigahertz aralığında mikrodalga frekanslarını kullanırken, FDR sensörleridielektrik sabitini tek bir mikrodalga megahertz frekansında ölçmektedir. Mikrodalga dielektrik prob, belirli bir frekansta genliği ve fazı ölçmek için açık uçlu bir koaksiyel kablo ve prob ucunda tek bir reflektometre kullanır. Toprak ölçümleri hava ile ilgilidir ve tipik olarak dielektrik bloklar ve / veya bilinen dielektrik özelliklere sahip sıvılarla kalibre edilir. Kalibrasyon için sıvı kullanmanın avantajı, prob ucu ile malzeme arasında mükemmel bir elektriksel temasın sürdürülebilmesini sağlamasıdır [23]. FDR ve TDR toprak nemini ölçen sensörlerin çalışma prensipleri birbirine

çok benzemektedir. Ancak FDR sensörlerde elektromanyetik dalgaların frekansları ölçülürken TDR sensörlerde bu dalgaların iletim süreleri ölçülmektedir. İki tip FDR sensör bulunmaktadır. Bunlar; birbirine paralel iki uç ve dairesel metal yüzüğe sahip tiplerdir [24]. Şekil 4.'te kullanılan çeşitli FDR aygıtları verilmiştir.



Şekil 4. Çeşitli FDR aygıtları [24] [25].

Problar genellikle toprağa yerleştirilen iki veya daha fazla elektrottan (yani, bir silindirin etrafındaki plakalar, çubuklar veya metal halkalar) oluşur. Halka konfigürasyonunda, prob sahada kurulu bir erişim tüpüne yerleştirilir. Böylece, bir elektrik alanı uygulandığında, elektrotların etrafındaki (veya tüpün etrafındaki) toprak, salınım devresini tamamlayan kapasitörün dielektriğini oluşturur. Bir erişim tüpünün kullanılması, birden fazla sensörün farklı derinliklerde ölçüm almasına olanak tanımaktadır.

Tek, küçük bir sonda ucu kullanıldığından, yalnızca küçük bir toprak hacmi değerlendirilir ve bu nedenle toprak tipi oldukça kritiktir. Sonuç olarak, bu yöntem laboratuvar veya nokta ölçümleri için mükemmeldir, ancak bir alan ölçeğinde kullanıldığında muhtemelen uzamsal değişkenlik problemlerine maruz kalacaktır [13]. Bu cihazların çalışma frekansı genellikle 100 MHz'in altında olduğu için toprağa özgü bir kalibrasyon önerilmektedir. Bu düşük frekanslarda toprak minerallerinin yığın geçirgenliği değişebilir ve sıcaklık, tuzluluk, yoğunluk ve kil içeriğinden daha fazla etkilenir. Düşük frekansta çalıştıklarından dolayı TDR yönteminde tespit edilemeyen toprakta bulunan bağlı su miktarı da ölçülebilmektedir. Düşük frekanslı standart devrelerin kullanılması nedeniyle bazı cihazlar TDR'ye kıyasla nispeten ucuzdur. Ayrıca geleneksel kaydedicilere bağlanabilmektedir. Bunların aksine FDR sensörlerin algılama alanları küçük olması ve güvenilir ölçümler için sensör ile toprak arasında iyi bir temas olması son derece önemlidir bu yüzden hava boşluklarının oluşmasını önlemek için dikkatli bir kurulum yapılması gerekmektedir. FDR yöntemlerinde kalibrasyon işleminin yapılmasına önem verilmelidir [26]. FDR cihazlarına ait avantajlar ve dezavantajlar Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. FDR cihazlarının avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Doğruluk payları oldukça yüksektir.	Toprağa özgü kalibrasyona ihtiyaç duymaktadır.
Geleneksel kaydedicilere bağlanarak (DC çıkış sinyali) okuma ve depolama yapılabilir.	Sıcaklık, yığın yoğunluğu, kil içeriği ve hava boşluklarına karşı hassasiyetinin yetersiz kaldığı durumlar meydana gelebilir.
TDR cihazlara göre nispeten ucuzdur.	Ölçüm alanları küçüktür.
Yüksek tuzluluk düzeylerinde okumalar yapılabilir.	

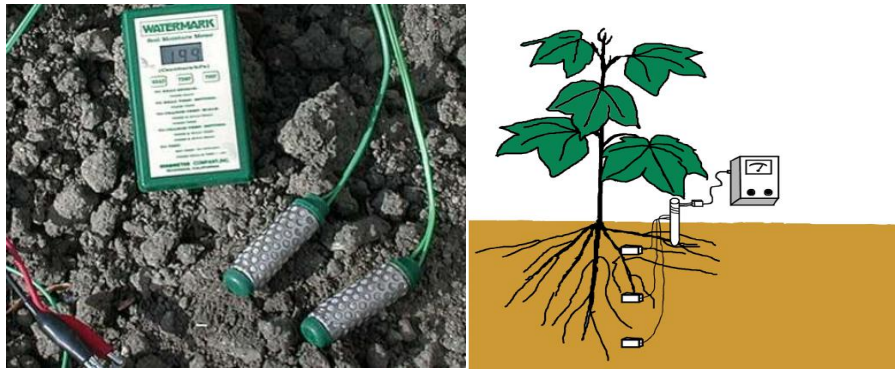
### C. Elektriksel Direnç Yöntemi (Alçı-Jips Blokları)

Yapılan çalışmalarda ilk zamanlar toprak sıcaklığı ve tuz içeriğinde meydana gelen değişikliklerden dolayı elektriksel iletkenlik yoluyla toprağın sahip olduğu su içeriğinin ölçülmesi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Ancak daha sonraki zamanlarda bu yöntemde alçı bloklar kullanılmaya başlanmış ve bundan neredeyse 50 yıl önce Bouyoucus ve ark., hem fiberglas hem de naylon üniteler kullanarak toprağın su ile doymuş durumundan solma noktasına kadar kullanılabileceğini saptamalarıyla gerçekleştirmişlerdir [27].

Elektrik direnci blok sistemi, toprak nem içeriğini ölçmek için küçük alçı blokları ve taşınabilir bir direnç ölçer kullanır. Bazen alçı bloklar olarak adlandırılan elektriksel direnç blokları, ucuz ve basit bir toprak nemi ölçüm aracıdır. Alçı bloklar, bir çift paslanmaz çelik tel veya tel ızgara etrafına alçı dökülerek yapılmaktadır. Bu teller,

sayaca takılan elektrot tellerine bağlıdır ve bloklar toprakla temas edecek şekilde yerleştirildiğinde, alçıtaşının nem içeriği toprağın nem içeriğine eşit olma eğilimindedir. Alçıdaki tellerin elektrik direnci nem içeriğine göre değiştiğinden, metre ile elektrik direnci ölçümü toprak nem içeriğinin iyi bir göstergesidir. Toprak ne kadar kuru olursa elektrik direnci o kadar büyük olmaktadır [28]. Bazı sayaçlar, düşük bir gösterge okuması düşük toprak nemini ve yüksek gösterge okuması yüksek toprak nemini gösterecek şekilde inşa edilmiştir. Genel olarak, alçı blokları toprağa, bitkinin köklenme bölgesine yerleştirilir ve büyüme boyunca toprakta kalır. Elektrik direnç blokları, kök büyümesi ve gelişimi sırasında bir nem kontrolü bölgesi sağlamak için toprağın birkaç derinliğine gruplar halinde yerleştirilir [29]. Şekil 5.'te 3 Alçı blok cihazı ve alçı bloklarının araziye yerleştirme biçimi verilmiştir.

Yüksek asitli veya çok tuzlu topraklarda sorunlar meydana gelebilir. Ölçerler taşınabilir ve bir veya daha fazla alan boyunca çok sayıda ölçümün alınmasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Özel olarak tasarlanmış sayaçlar analog veya dijital olabilir. Sayaç üzerindeki okumalar, toprak nem içeriği ile ilgili okumaları verecek şekilde kalibre edilmiştir [30].



Şekil 5. Alçı blok cihazı ve alçı bloklarının araziye yerleştirme biçimi [28] [31]

Direnç blok yöntemleri çoğu toprak için uygundur ve okumalar sulama yönetimiyle ilgili toprak nem aralıklarının çoğunu kapsar. Böylece toprak nem okumaları sayesinde sulamaların zamanlaması için kullanışlıdır, ancak gerekli sulama suyu miktarı hakkında bilgi sağlamazlar. Bloklar bir sahaya kalıcı olarak monte edilir fakat zamanla bozulma eğilimindedir ve bunları yalnızca bir sezon kullanmak ölçümlerin sağlığı açısından daha doğru olacaktır. Alçı-Jips Bloklarına ait avantajlar ve dezavantajlar Tablo 4.'te verilmiştir.

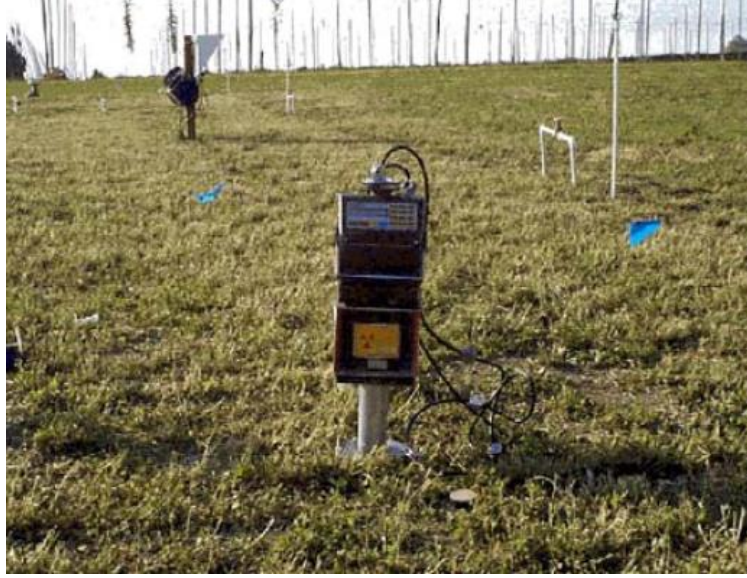
Tablo 4. Alçı-Jips Bloklarına ait avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Bakım gerektirmez.	Üst üste yapılan ölçümlere elverişli değildir.
6 dS/m'ye kadar tamponlanmış tuzluluk etkileri mevcuttur.	Toprak çok susuz kalırsa, çıkarılıp tekrar kurulması gerekmektedir.
Basit ve ucuzdur.	Ölçüm hızı yavaştır.
Sulama zamanı planlanmasında kullanılabilir.	Kumlu topraklarda güvenilir sonuçlar vermemektedir.

#### D. Nötron Saçılımı Yöntemi (Nötronmetreler)

Toprak nem içeriğinin belirlenmesinde nötron atomlarının yayılmalarından faydalanılması 1950'li yılların başlarından itibaren aktif olarak kullanılmaktadır [8]. Tekniğin ana prensibi nötron kaynağına sahip bir probun toprak yüzeyine yerleştirilip kablo aracılığıyla ölçüm yapılacak toprak derinliğine ulaştırılması ve nötron saçılımının ölçülmesine dayanır. Su; topraktaki ana hidrojen kaynağı olduğundan, ölçümün yapıldığı tüp ve radyoaktif kaynak çevresinde oluşan yavaşlamış nötronların yoğunluğu ile toprak nem içeriği takibi mümkün olmaktadır. Nötron atomlarının dağılım (akış) hızı hidrojen atomlarının yoğunluğuyla doğru orantılıdır [32]. Yöntemin uygulanmasında nötronmetre isimli cihaz kullanılmaktadır (Şekil 6.). Nötronmetre, toprak yapısına herhangi bir zarar vermeden tekerrürlü ölçümler yapabilmesi ve çok hızlı sonuç vermesi gibi özellikleriyle ön plana çıkmış bir cihazdır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber cihaz ilk kullanıldığı yıllara kıyasla oldukça gelişmiş durumdadır. Bu gelişim cihazın araziye götürülmesinde sağlanan kolaylıklardan, veri aktarımına; kalibrasyon

kolaylığından kullanıcının sağlığına kadar farklı alanlarda sağlanmıştır. Nötronmetre ile yapılmış birçok araştırma literatürde mevcut bulunmakla beraber, toprak nem içeriğinin izlenmesinde güvenilir bir yöntem olduğu birçok araştırmacı tarafından kabul edilmiştir [33].



Şekil 6. Nötronmetre cihazı [34]

Nötronmetrelerin farklı model ve versiyonları bulunmasına rağmen tüm cihazlar temelde; hızlı nötronlar yayan bir radyoaktif kaynak, yavaşlayan nötronları sayan bir elektronik sayaç ve bu ikisini birbirine bağlayan bir kablodan oluşur [35]. Ölçümler, toprağa bir alüminyum tüpün çakılarak yerleştirilmesiyle mümkün olmaktadır (Şekil 7.). Tüpün çakılmasında toprağı bozulmalara uğratmamak ve toprakta açılan alanda yerleştirme işleminin tamamlanmasından sonra oluşan boşlukların daha küçük toprak taneleri ile tamamen doldurulması, tüp ile toprak arasında boşluk kalmaması oldukça önemlidir. Nötronmetrelerdeki radyoaktif kaynak genellikle Amerikyum-241/Berilyum (Am/Be) karışımı bir maddeden oluşur. Amerikyum-241/Berilyum nötron saçan bir kaynaktır ve ziraat dışında; petrol mühendisliği ve endüstri gibi sektörlerde kullanılır [36]. Bu radyoaktif kaynağa sahip nötron prob çakılan tüplerin içinden ölçülmek istenen derinliğe kadar sarkıtılır. Cihaz ile nötron kaynağını bağlayan kablo üzerindeki kilit sistemi ile farklı derinliklerde ölçüm yapmak mümkündür. Proben ölçüm alanı ıslak toprakta yaklaşık 150 mm, kuru toprakta ise yaklaşık 500 mm çapında dairesel bir kürenin alanı kadardır [37]. İstenilen derinliğe gelindiğinde cihaz çalıştırılır ve nötron saçılımı başlatılır. Nötron atomları ile aynı kütleyle sahip H + iyonundaki protonlar çarpışırlar ve yavaşlama başlar. Yavaşlayan nötron sayıları cihaz içindeki sayaçla ölçülür ve daha önceden hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde karşılığı olan toprak su içeriği doğrudan elde edilir [34, 38]. Kalibrasyon eğrilerinin ölçülen bölgeye özel olarak hazırlanması ölçümün doğruluğunu arttıracaktır. Cihazın kalibrasyonu ile ilgili detaylı bilgi Hauser[39] tarafından verilmiştir.





Şekil 7. Nötronmetre ölçümlerinin gerçekleştiği alüminyum tüp [40].

Nötronmetre cihazı ile yapılan çalışmalarda toprak yüzeyine yakın derinliklerdeki ölçümlerde sapmalar olacaktır. Sapmaların sebebi saçılan nötronların atmosfere dağılması ve derinliğin fazla olmamasından kaynaklı toprak temasının azalmasıdır [9]. Bu durum kullanıcının aldığı radyasyon dozunu da arttırmaktadır. Nötronmetre çalışma prensibi sebebiyle radyoaktif bir kaynak barındırdığı için kullanıcılarının belirli eğitimler ve bu eğitimler sonucunda da kullanım lisansları almaları gerekmektedir. Türkiye’de bu eğitimler ve lisans Türk Atom Enerji Kurumu (TAEK) tarafından verilmektedir. Nötronmetre kullanıcılarının; cihazın araziye taşınmasından başlayarak ölçümlerin tamamlanmasına ve geri götürülmesine kadar olan süreçte TAEK tarafından her kullanıcı için özel numaralandırılmış ve kendilerine ulaştırılmış dozimetrelerini (radyasyon ölçer) yanlarında taşıması gerekmektedir. Bu dozimetreler belirli aralıklarla TAEK tarafından incelenip kullanıcıların maruz kaldıkları radyoaktif madde miktarları takip edilmektedir [41]. Cihazın avantajları ve dezavantajları Tablo 5.’te verilmiştir.

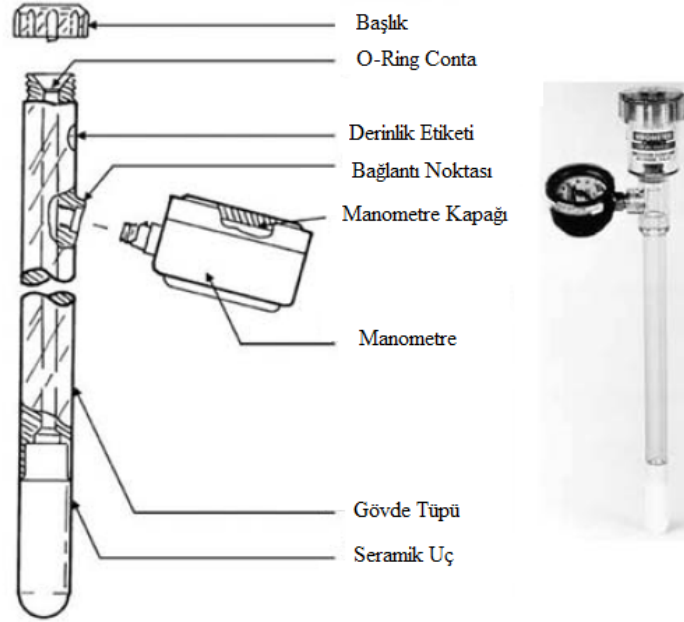
Tablo 5. Nötronmetrelerin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Ölçümler güvenilir ve hızlıdır.	Toprağa özgü kalibrasyon gerektirir.
Aynı cihazla farklı noktalarda çok sayıda ölçüm yapılabilir.	Radyoaktif madde ile çalıştığından insan sağlığı açısından güvenlik tehlikesi bulunur.
Tuzluluktan etkilenmez.	Ağır olduğundan taşınması zordur.
Farklı derinliklerde ölçüm yapmaya elverişlidir.	Kullanılmadan önce sertifika ve eğitim alınmalıdır. Pahalıdır.

### E. Toprak Su Potansiyelinin Ölçülmesi (Tansiyometreler)

Toprak su potansiyelinin ölçümü için tansiyometrenin icadının 1920’nin başlarında Willard Gardner tarafından yapıldığı kabul edilir. Saha uygulamalarında ise yapılan ilk sağlam tasarım ve elde edilen başarılı sonuçlar Lorenzo A. Richards’a aittir [42]. Yöntemle topraktaki nem miktarına su matrik potansiyeli ölçerek ulaşılmaktadır. Su matrik potansiyeli; ozmotik basınç, gaz basıncı, yerçekimi kuvveti, toprakta sıkışmış havanın basıncı gibi topraktaki tüm yük bileşenlerinden ve suyun toprak içindeki hareketleri için ana itici güçlerden bir tanesidir [34]. Matrik potansiyelin ölçümünden elde edilen negatif basınç değerleri ve toprak su içeriği arasındaki toprak su karakteristik eğrisine ait denklemlerle beraber tansiyometrelerin en önemli avantajlarından biri elde edilmektedir. Hem matrik basıncı ölçülebilmesi ve hem de oluşturulan toprak su karakteristik eğrisini kullanılarak toprak su içeriği hakkında bilgi edinilebilmektedir [43]. Hem geçmişte hem günümüzde birçok farklı boyut ve modellerde tansiyometre bulunmaktadır. 1920’li yıllardan sonra kullanılmaya başlandığı yıllardaki durumu ve farklı kullanım tipleri Richards[44] tarafından incelenmiş olup, günümüzde kullanılan yaygın türlerinde üç farklı okuma tipi vardır. Bunlar su manometreli, cıvalı manometreli ve vakum kadranlı tansiyometrelerdir [45]. En çok kullanılan vakum kadranlı manometreye sahip bir tansiyometrenin görüntüsü Şekil 8.’deki gibidir. Tansiyometreler içi su dolu bir gövde, seramik uç ve bir manometreden oluşmaktadır. Gövdenin en alt kısmında bulunan seramik uç, çok küçük gözeneklerden oluşmaktadır ve bu gözeneklerden giren hava basıncının maksimum

değeri -0.8 bar olabilmektedir [46]. Bu düşük hava basıncından sağlanan en büyük fayda suyun uçlara hareketinin kolaylaşması ve bu harekete ters kuvvet oluşturabilecek bir hava girişinin engellenmesidir.



Şekil 8. Tansiyometre [34].

Tüm tansiyometrelerin temel çalışma prensibi; gövdeyi oluşturan su dolu sızdırmaz tüpün, küçük deliklere sahip seramik uç kısmının toprakla temas etmesi ve içerdeki suyun matrik potansiyelinin toprak suyunun matrik potansiyeli ile dengelenmesi mantığına dayanmaktadır [47]. Topraktaki suyun uyguladığı matrik potansiyel, negatif değerle dengelendiği için ölçümler negatif değerlerle okunmaktadır. Tansiyometrelerin arazi kullanımlarından önce ölçüm yapılmak istenen derinliklere kadar çukur açılması gerekmektedir. Tansiyometrenin plastik gövde tüpü bu çukurlara yerleştirilir ve seramik ucun açılan çukura tam olarak oturması ölçülen değerlerin doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Topraktaki nem durumuna bağlı olarak; yerleştirilen seramik uçtan toprağa doğru veya topraktan seramik uç aracılığıyla tansiyometreye doğru bir su akışı olur ve matrik potansiyelin dengesi kurulur. Bu dengeleme sonucunda manometreden okunan değer toprak su potansiyelini vermektedir.

Tansiyometrelerin sağlıklı sonuçlar vermesi için toprağın doymamış durumda olması gerekir, dolayısıyla bitki su ihtiyaçlarının tam karşılanmadığı veya su stresi olan durumlarda sulama daha sık kullanılmaktadır [48]. Ölçülen tansiyon değerleri 10 cbar'ın altında kaldığı durumlarda toprağın doymamış olduğu anlaşılmaktadır. Tarla kapasitesinde ise ölçülen negatif basınç toprağın çeşidine göre 10-30 cbar arasında değişmektedir (Kumlu topraklarda 10, orta bünyeli topraklarda 20, killi topraklarda 30 cbar). Toprak bünyesine göre tarla kapasitesi değerinden 20 cbar yukarıda ölçülen değerler için (ör: killi topraklar için 50 cbar) nem miktarının ideal seviyede olduğu yorumu yapılabilmektedir. 30-55 cbar aralığını geçen okumalar için ise su stresi yorumu yapılmaktadır ve sulama uygulamalarının başladığı aralık olarak kabul edilmektedir. Tansiyometrelerin 70 cbar ve 85 cbar aralığındaki ölçümler topraktaki elverişli nemin çok büyük miktarının tüketildiği anlamına gelmektedir. Bu değerler tansiyometrelerin üst sınırları olarak ve yöntemin sağlıklı sonuçlar verebildiği son aralık olarak tanımlanmaktadır [8, 45]. Ölçüm aralığının doyma noktası ile 80-85 cbar aralığındaki noktaya kadar olması tansiyometrelerin eksik kalan noktalarından biri olarak kabul edilmektedir. Kullanılan aletlerin avantajları ve dezavantajları Tablo 6.'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Tansiyometrelerin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Satın alma maliyeti düşüktür.	Çalışma aralığı sınırlıdır (<85 cbar).
Kullanımı kolaydır.	Ölçümlerin temsil alanı düşüktür.
Tuzluluktan etkilenmez.	Hidrolik iletkenliği düşüktür
Hem kapılar basıncı ölçülebilir hem de toprak su içeriği hakkında bilgi verebilir.	Hidrolik iletkenliğin düşük olduğu durumlarda okumaların güvenilirliği düşmektedir.
Güçtüketimi yoktur.	Kolay zarar görebilmektedir.
Çok sayıda ölçüm ihtiyacı olan durumlar için oldukça uygundur	

#### IV. SONUÇ

Hemen her sektörde olduğu gibi ziraat alanında da geçmişten günümüze yapılan araştırmalar ve Ar-Ge çalışmalarıyla beraber büyük atılımlar gerçekleşmiştir. Su ve toprak kaynaklarının daha etkili ve verimli şekilde kullanılması adına toprak nem içeriğinin takip edilmesi ve ölçümü için de yeni yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Bu gelişme ve farklı yöntemleri daha yakından incelemek amacıyla yapılan literatür çalışmaları sonucunda kullanılan her yöntemin (Gravimetrik yöntem, TDR, FDR, alçı-jips blokları, nötronmetreler ve tansiyometreler) birbirlerine karşı üstünlükleri ve eksiklikleri olduğu görülmüştür. Sonuca daha doğrudan ulaşılması ve kalibrasyon işlemlerine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle gravimetrik yöntem diğer yöntemlere göre tercih edilebilmektedir. Bu durum yöntemin geçmişten günümüze en yaygın kullanılan yöntem olmasının başlıca sebeplerindedir. Dolaylı ölçüm yöntemlerinde ölçümün yapıldığı toprağın fiziksel, kimyasal ve içerdiği organik bileşik miktarına bağlı olarak sapmalar görülmektedir. Bu yöntemlerle yapılan ölçümlerde hatayı en aza indirmek için toprak analizlerinin iyi şekilde yapılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanması gerekmektedir. Ekonomik ömrü diğer yöntemlere göre nispeten az olarak değerlendirilebilecek alçı-jips bloklarının ve geçmişi uzun yıllara dayanan tansiyometrelerin kullanım aralığının sınırlı olması sebebiyle çeşitli toprak tiplerinde beklentiyi karşılamamış ve araştırmacıları farklı yöntem arayışı içine sokmuştur. Nötronmetre ve TDR cihazların pahalı olması ve nötronmetrelerin güvenli kullanımı için gerçekleştirilmesi gerek lisans işlemleri, bu cihazların çiftçiler tarafından kullanılması daha zor hale getirmektedir. FDR cihazları düşük maliyetleri ile son zamanların popüler yöntemlerinden biri olarak öne çıksa da, ölçümlere ait doğrulukların hem sıcaklıktan hem de tuz ve kil varlığından olumsuz etkilendiği görülmüştür. Sonuç olarak; arazi koşulları, toprak çeşidi, finansal durum, kullanıcının yeterliliği ve mevcut imkânlar gibi farklı parametrelerin değerlendirilip elverişli toprak nem tayini yönteminin belirlenmesi ve bu yöntemin prensiplerine bağlı kalınarak uygulama yapılması büyük önem taşımaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., White, O., Fang, H., Mesnick, L. & Alpert, S. (1997). Water resources: agriculture, the environment, and society. *BioScience*, 47(2), 97-106.
- [2] Bates, B., Kundzewicz, Z. & Wu, S. (2008). Climate change and water. *Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat*.
- [3] Aküzüm, T., Çakmak, B. & Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi. *TABAD Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1), 67-74, 2010 ISSN: 1308-3945, E-ISSN: 1308-027X
- [4] FAO, (2013). Food and Agricultural Organization (FAO). <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm> (Erişim Tarihi: 16.11.2020).
- [5] Wang, H., Liu, C. & Zhang, L. (2002). Water-saving agriculture in China: an overview.
- [6] Camp, C.R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. *Trans. ASAE*, 41(5), 1353-1367.
- [7] Sakellariou – Makrantonaki, M. & Vagenas, I.N. (2006). Mapping Crop Evapotranspiration and Total Crop Water Requirements Estimation in Central Greece. *European Water bulletin of EWRA* 13/14:3-13. E. W. Publications.
- [8] Çetin, Ö. (2003). Toprak-su ilişkileri ve toprak suyu ölçüm yöntemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, *Genel Yayın*, (258), 100.
- [9] Smith, R.E. & Warrick, A.W. (2007). Soil water relationships. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 2nd Edition (pp. 120-159). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

- [10] Voroney, P. & Sharpe, P. (2019). Soils for horse pasture management. *Horse pasture management*, 65-78.
- [11] Topp, G.C. & Ferre, P.A. (2002). The soil solution phase. *Methods of soil analysis: Part (4)*, 417-1074.
- [12] Topp, G.C. Parkin, G.W., Ferré, T.P., Carter, M.R. & Gregorich, E.G. (2008). Soil water content. *Soil sampling and methods of analysis*. 2nd edn.(Eds MR Carter, EG Gregorich) 939-962.
- [13] Dirksen, C. (1999). *Soil Physics Measurements*. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany.
- [14] Gardner, C.M.K., Robinson, D.A., Blyth, K. & Cooper, J.D. (2001). Soil water content. In: Soil and Environmental Analysis: Physical Methods (K.A. Smith and C.E. Mullins, eds.), Marcel Dekker, New York, 1-64.
- [15] Gardner, W.H. (1986). Water Content. Chapter 21 in *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- [16] Anonim, (2017). Cole-Parmer Scientific Experts, Virtual Print Catalog. <https://www.coleparmer.com/virtual-catalog/gy44/857> (ErişimTarihi: 03.12.2020)
- [17] USDA, (2015). United States Department of Agriculture. Soil Classification, Tools and Data. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/tools/> (ErişimTarihi 24.11.2020)
- [18] Hanson, B.R. & Peters, D. (1998). Measuring soil moisture. *Irrigation Association Technical Conference Proceedings*. November 1-3, 1998, San Diego, California, USA, 103-110
- [19] Or, D. & Wraith, J.M. (1998). Soil physics. Agricultural and Environmental Department of Plants, Soils and Biometerology, Utah State University, Logan, USA, 243
- [20] Allen, R.G. (1998). Time-Domain Reflectometry (TDR). Appendix Notes for BIE 5010/6010.
- [21] Hoekstra, P. & Delaney, A. (1974). Dielectric properties of soils at UHF and microwave frequencies. *J. Geophys. Res.*, 79, 1699- 1708.
- [22] Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A.P. (1980). Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements In Coaxial Transmission Lines. *Water Resour. Res.*, 16, 574-582. doi:10.1029/WR016i003p00574
- [23] Jackson, T.J. (1990). Laboratory evaluation of a field-portable dielectric/soil moisture probe. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 241-245.
- [24] Muñoz-Carpena, R., Dukes, M.D., Li, Y.C. & Klassen, W. (2005). Field Comparison of Tensiometer and Irrigation on Tomato. *Horttechnology*. 15, 584-590.
- [25] Smethurst, (2019). Condition monitoring for earthworks. <https://www.c-iot.ecs.soton.ac.uk/sites/www.c-iot.ecs.soton.ac.uk/files/Joel%20Smethurst.pdf> (ErişimTarihi: 29.11.2020).
- [26] Prichard, T.L. (2002). Soil moisture measurement technology. University of California.
- [27] Kramer, P.J., & Boyer, J.S. (1995). Water relations of plants and soil. USA, 84-114
- [28] Al-Kaisi, M. (2000). How to evaluate soil moisture in the field. Iowa State University. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/how-evaluate-soil-moisture-field> (ErişimTarihi: 07.12.2020).
- [29] Fiscbach, P. (1971). EC71-752 Scheduling irrigation by electrical resistance blocks. *Historical Materials from University of Nebraska- Lincoln Extension*.
- [30] Werner, H. (1992). Measuring soil moisture for irrigation water management. *Cooperative Extension Service*, South Dakota State University, US Department of Agriculture.
- [31] Martin, E. (2009). Methods of Measuring for Irrigation Scheduling--WHEN. *Arizona Cooperative Extension*. The University of Arizona, Tucson, Arizona Water Series No. 30.
- [32] Robock, A. (2015). Hydrology, floods and droughts: Soil moisture. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition*, 232-239.
- [33] Evett, S.R. & Steiner, J.L. (1995). Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. *Soil Science Society of America Journal*, 59(4), 961-968.
- [34] Muñoz-Carpena, R. (2004). Field devices for monitoring soil water content. *EDIS*, 8.
- [35] Özbek, Ö. & Kaman, H. (2014). The Definition and Monitoring of Soil Water Content. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (Özel Sayı-1), 1067-1071.
- [36] Liamsuwan, T., Channuie, J. & Ratanatongchai, W. (2015). Characterization of neutron calibration fields at the TINT's 50 Ci americium-241/beryllium neutron irradiator. In *Journal of Physics: Conference Series*, 611(1), 012004.
- [37] Grossman, R.B., & Reinsch, T.G. (2002). Bulk density and linear extensibility. *Section 2.1 in Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods*, 201-228. J. H. Dane, and G. C. Topp, eds. Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. America.

- [38] Uytun, A., Pekey, B., & Kalemci, M. (2013). Toprak nemi ölçümleri. VIII. *Ulusal Ölçüm bilim Kongresi*, 26-28.
- [39] Hauser, V.L. (1984). Neutron meter calibration and error control. *Transactions of the ASAE*, 27(3), 722-728.
- [40] Candoğan, B.N. (2009). Soya Fasulyesinin Su-Verim İlişkileri. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa. 37.
- [41] TAEK, (2020). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. 2019 Yılı Faaliyet Raporu. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [42] Or, D. (2001). Who invented the tensiometer?. *Soil Science Society of America Journal*, 65(1), 1-3.
- [43] Mualem, Y. (1990). The use of tensiometer readout for irrigation- Success and Failure. *5th International Conference on Irrigation Proceedings*, 26-27 March 1990, Tel-Aviv, Israel. 118-130
- [44] Richards, L.A. (1949). Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci*, 88, 95–112.
- [45] Kirkham, M.B. (2014). Principles of soil and plant water relations. *Academic Press*.
- [46] Allen, R.G. (1998). Irrigation Engineering Principles. Course Lecture Notes. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA. 298
- [47] Cassell, D.K., & Klute, A. (1986). Water potential: tensiometry. methods of soil analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 2nd Edition. *American Society of Agronomy -Soil Science Society of America*, 677, South Segoe Road, Madison, WI 53711, USA, 23: 563-588
- [48] Richards, S.J. (1965). Soil suction measurements with tensiometers. In *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling* (Black, C.A., Evans, D.D., Ensminger, L.E., White, J.L., and Clark, F.E., Eds.), 153–163. *American Society of Agronomy*: Madison, Wisconsin.

*Derleme Makalesi -Review Article*

## Techniques for Apply Predictive Maintenance and Remaining Useful Life: A Systematic Mapping Study

### Kestirimci Bakım ve Kalan Yararlı Ömür Uygulama için Teknikler: Sistemik Haritalama Çalışması

Begüm Ay Türe<sup>1\*</sup>, Akhan Akbulut<sup>2</sup>, Abdül Halim Zaim<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 20/03/2021*

*Revize / Revised: 30/04/2021*

*Kabul / Accepted: 03/05/2021*

#### ABSTRACT

With prognostic activities, it is possible to predict the remaining useful life (RUL) of industrial systems with high accuracy by following the current health status of devices. In this study, we have collected 199 articles on predictive maintenance and remaining useful life. The aim of our systematic mapping study is to determine which techniques and methods are used in the areas of predictive maintenance and remaining useful life. Another thing we aim is to give an idea about the main subject to the researchers who will work in this field. We created our article repository by searching databases such as IEEE and Science Direct with certain criteria and classified the articles we obtained. By applying the necessary inclusion and exclusion criteria in the article pool we collected, the most appropriate articles were determined and our study was carried out through these articles. When we focused on the results, it was learned that the SupportVector Machine algorithm is the most preferred predictive maintenance method. Most studies aimed at evaluating the performance and calculating the accuracy of the results used the Root Mean Square Error algorithm. In our study, every method and algorithm included in the articles are discussed. The articles were examined together with the goals and questions we determined, and results were obtained. The obtained results are explained and shown graphically in the article. According to the results, it is seen that the topics of predictive maintenance and remaining useful lifetime provide functionality and financial gain to the environment they are used in. Our study was concluded by light on many questions about the application of predictive maintenance.

**Keywords-** *Predictive Maintenance, Remaining Useful Life, Machine Learning, Deep Learning, Root Mean Square Error*

#### ÖZ

Prognostik faaliyetler ile endüstriyel sistemlerin kalan yararlıömürünü (RUL), mevcut sağlık durumlarının takip ederek yüksek doğrulukta tahmin edilmesi mümkündür. Bu çalışmadakestirimci bakım ve kalan faydalı ömür hakkında 199 makale topladık. Sistemik haritalamaçalışmamızın amacı, kestirimci bakım ve kalan faydalı ömür alanlarında hangi teknik ve yöntemlerin kullanıldığını belirlemektir. Amaçladığımız bir diğer konu da bu alanda çalışacak araştırmacılara ana konu hakkında fikir vermektir. IEEE ve Science Direct gibi veritabanları belirli kriterler ile aranarak makale havuzu oluşturuldu ve elde edilen makaleler sınıflandırıldı. Toplanılan makale havuzunda gerekli dahil etme ve hariç tutma kriterleri uygulanarak en uygun makaleler belirlendi ve çalışmamız

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [begummayy@gmail.com](mailto:begummayy@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-5830-175X>)

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye*

<sup>2</sup>İletişim: [a.akbulut@iku.edu.tr](mailto:a.akbulut@iku.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-9789-5012>)

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

<sup>3</sup>İletişim: [azaim@ticaret.edu.tr](mailto:azaim@ticaret.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-0233-064X>)

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

bu makaleler üzerinden gerçekleştirildi. Sonuçlara odaklandığımızda Destek Vektör Makinesi algoritmasının en çok tercih edilen kestirimci bakım yöntemi olduğu öğrenildi. Performansı değerlendirmeyi ve sonuçların doğruluğunu hesaplamayı amaçlayan çoğu çalışmada Kök Ortalama Kare Hatası algoritması kullanılmıştır. Çalışmamızda makalelerde yer alan her yöntem ve algoritma tartışılmıştır. Makaleler, belirlediğimiz amaç ve sorularla birlikte incelenerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar makalede açıklanmış ve grafik olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kestirimci bakım ve kalan faydalı ömür konularının, kullanıldıkları ortama işlevsellik ve finansal kazanç sağladığı görülmüştür. Çalışmamız, kestirimci bakım uygulaması ile ilgili birçok soruyu aydınlatarak sonuçlandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** *Kestirimci Bakım, Kalan Yararlı Ömür, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme, Kök Ortalama Kare Hata*

## I. INTRODUCTION

In recent years, the discipline of maintenance has started to change in the industrial field. When any failure is detected in the production area, it is common to shut down the machine as soon as possible to avoid vastating consequences, however performing such an action, which usually occurs at in appropriate times, typically causes considerable time and economic losses [1]. Therefore, factories have turned to a different maintenance strategy to prevent break down and minimize cost losses. Maintenance is generally divided into two main strategies; reactive and proactive. In a reactive strategy, there are a post-fault diagnostic status and cost losses, however, in the proactive maintenance strategy, the main goal is to reduce the cost and to keep the system operating at the highest level. For this reason, the maintenance strategy has changed from fail and fix practices (diagnostics) to predict and prevent methodology (prognostics) [2].

According to European standard EN 13306: 2010, maintenance is defined as a “Combination of all technical, administrative and managerial actions during the life cycle of an item intended to retain it in, or restore it to, a state in which it can perform the required function” [3]. There are two main types of maintenance; corrective and preventive as shown in Figure 1. Corrective maintenance aims to bring the system back to its proper function after a failure or obvious fault detection. Corrective maintenance is failure-based maintenance performed after failure. On the other hand, preventive maintenance is carried out at predetermined intervals that are in certain period and aim to reduce the break down in the operation of the system.

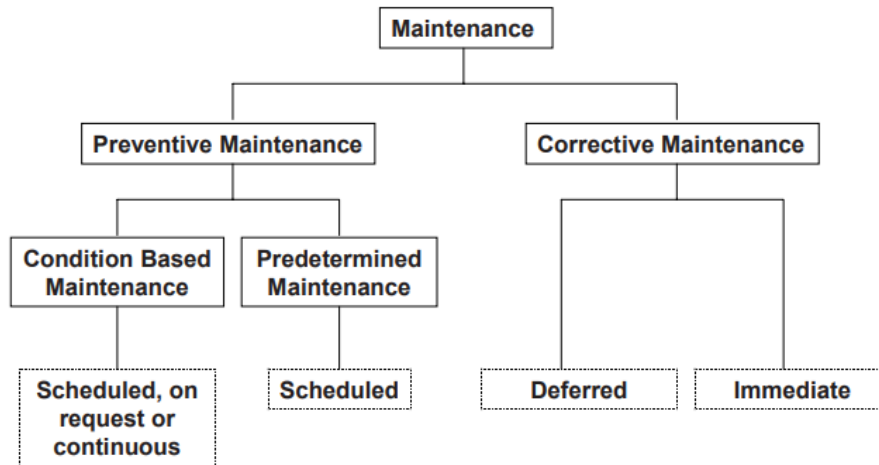


Figure 1. Maintenance Overview (EN-13306: 2010) [3]

According to European standard EN 13306: 2010, the definition of predictive maintenance is “A forecast derived from repeated analysis or known characteristic and evaluation of the significant parameters of the degradation of the item [3].” So predictive maintenance is future planned maintenance based on sensor measurement and analysis of its for mulas. The predictive maintenance integrate into the equipment or system condition monitoring, fault diagnosis, fault predicted maintenance decision support, and maintenance activities,

that is a new maintenance method and it can increase economic efficiency and equipment availability [4]. For this reason, predictive maintenance, which is a type of preventive maintenance, has recently been preferred in maintenance practices.

Prognostic technology includes many aspects such as giving advanced alerts about up coming faults and predicting remaining useful life, which ultimately results in increased availability, reliability, and reduced maintenance and logistics cost [5]. Factories aim to integrate the prognostic maintenance strategy into their factory environments to monitor and manage the production processes comfortably, to set maintenance times, to prevent costly losses, and to interfere in the system without causing system failure in case of any error. Prognostics have started to be applied to industrial environments to reduce cost and maximize working performance, and estimation of remaining useful life time, which is an area of prognosis and health management (PHM), has been more preferable. RUL estimation is a process that uses estimation methods to predict the future performance of the machines or equipment and obtain the remaining life time before the machine loses its ability to operate [2].

With Industry 4.0, factories can obtain information about the status of their equipment with the help of sensors and other tools. By processing this collected data and comparing it with other error conditions, they can predict future error situations and time or predict the remaining useful life of the device. They can make maintenance planning by transmitting information such as error cases that may occur and their remaining useful life estimates, to the relevant departments, change or fix them if the life time of any machine or equipment has expired, and prevent failures that may occur in the system. That's why, proactive maintenance benefits manufacturers by preventing failures in the production line, cost losses, and unnecessary maintenance costs.

## II. SYSTEMATIC MAPPING PROCESS

Systematic mapping studies are like systematic review studies, however, they are intended to map out topics rather than synthesize study results and wide inclusion criteria are used [6]. A systematic literature review is a means of identifying, evaluating and interpreting all available research relevant to a particular research question, or topic area, or phenomenon of interest [7]. The primary studies are used for the systematic review, however, the systematic review is itself a secondary study form. Systematic mapping study (also known as Scoping Studies) provides a wide overview of a research area [8] also focuses on primary studies in a specific topic area and aims to identify, classify, and map studies. A systematic mapping study ensures a categorical architecture for classifying researched reports which are published and their results [6]. The study presented here focuses on predictive maintenance and remaining useful life: conference papers and articles published between 2010 and 2020. Articles and conference papers published up to the 4th month in 2020 were checked.

The general steps of an SMS are shown in the following diagram (see Figure 2). The steps of our systematic mapping study are the determination of research questions, searching for relevant papers, screening of papers, the definition of the keyword of abstracts, and data extraction and mapping also every step has an outcome and the last step of the process is the systematic map [9].

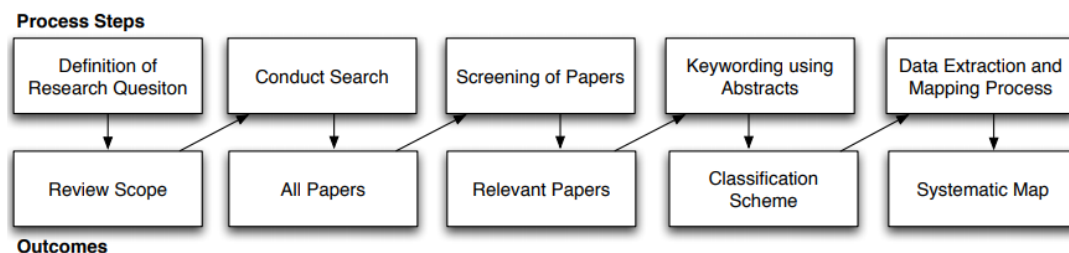


Figure 2. Systematic Mapping Process (Adapted from Petersen et al. [9])

This study was aimed to determine the methods used in predictive maintenance and remaining useful life, and to provide an overview of the topics by using articles and conference papers published between 2010- 2020. When searching the literature for related articles or conference papers, the usual rule is: be thorough, use various key words and data bases, and look at who has mentioned past relevant articles and book chapters [10].



### **A. Goals and Research Questions**

In any study, research questions that are prepared and the study should have a purpose. The aims of this study have shown in the followings:

A1: To understand the content and purpose of articles that contain predictive maintenance and remaining useful life.

A2: To determine the techniques and algorithms used in predictive maintenance and classify articles.

A3: To identify in which area predictive maintenance activities are currently preferred and used.

A4: To learn the latest trends in predictive maintenance and to guide future research.

A5: To determine the most active researchers and the most influential articles in the area for predictive maintenance.

The aims lead to our research questions. Research questions need to determine the purpose and the goals of the study. In this study, we prepared a few research questions to classify studies. A1, A2 and A3 goals lead us to the first research questions set. Related research questions and their goals are shown below:

RQ1.1: What is the main motivation of the published article?

- To identify the goal of the published article and to understand why predictive maintenance is needed.

RQ1.2: Which intelligent techniques are often applied for predictive maintenance and remaining useful life?

- To determine which intelligent techniques are used most in published studies and to classify which method works better.

RQ1.3: Which data set was used? What is the test/training ratio of the data set used?

- To determine whether the data sets were obtained from simulations, sensors, past studies, or public data repositories.

RQ1.4: Which estimation method is used for predictive maintenance?

- To classify in which area has been studied with which prediction method.

RQ1.5: How is feature extraction applied when performing predictive maintenance?

- To determine whether the feature extraction and selection step is applied

RQ1.6: In which venues have the works been published?

- To determine whether the studies have been published in conferences or journals and to identify their distribution in the period.

According to A4 and A5, we ask a few more questions to understand the latest trends, to determine in which area most popular for predictive maintenance, to classify articles, and to identify future aims in predictive maintenance. Aims are A4 and A5 lead us to our second research question set. The questions are shown in following:

RQ2.1: Which domains are the most preferred to apply predictive maintenance?

RQ2.2: Which methods have been used to determine the predictive maintenance performance achieved?

RQ2.3: What is the yearly article count?

### **B. Article Selection**

Articles election is one of the most important steps for secondary studies. This is because the selected articles form the basis of the study. In this study, a three-stage process presented in previous systematic mapping articles [7, 9] has been adopted for the selection phase of the articles: first, the articles are determined using digital libraries and search engines, second, exclusion criteria are defined and the articles outside the scope of the study are

eliminated, finally, the inclusion criteria are defined and the sources that may have been missed include to the study.

- Step 1: Article Determination

First of all, we determinate key words to select the articles from the following digital libraries and search engines: IEEE Xplore and Science Direct. Also, we used Google Scholar to check citation count. The articles that include predictive emaintenance, remaining useful life, remaining useful life time, and machine learning key words and they are between 2010-2020 are selected. 199 articles are collected from the first step.

The query string created to search articles has shown below:

((("machinelearning")) AND "predictive maintenance") AND "remaining useful life")

- Step 2: Exclusion Criteria

In the second step, we identified the exclusion criteria: languages other than English, not relevant to the topic, book chapters, short communications, secondary studies, abstract only, and courses. When we applied these exclusion criteria's, the count of our result articles has been updated as 155 articles [47].

- Step 3: Inclusion Criteria

In the article determination step, we applied the inclusion criteria: primary work, relevant with the topic, the language in English, and using intelligent systems.

### C. Data Extraction

In the data bases we have reviewed, we have identified 199 published studies on predictive maintenance and remaining useful life. Then, we applied the inclusion and exclusion criteria mentioned above to these articles. According to our results, 155 articles [47] in our article pool were found in accordance with the criteria we wanted. Finally, we examined each of the studies obtained according to the research questions we have identified and entered the answers we found in a file of .csv format.

## III. RESULT OF SYSTEMATIC MAPPING

We evaluated all the studies we have obtained according to the research questions and goals we have created for our SMS. We also expressed some of our evaluation results graphically to make them more understandable. We are ready now to answer our original research questions from RQ1.1 to RQ1.6. Our first phase questions and their evaluations are below:

### *RQ1.1: What is the main motivation of the published article?*

Figure 3 shows a pie chart arranging the answers to RQ1.1 for published works that are obtained. As shown in Figure 3, with 37%, most studies' subject is remaining useful life prediction. 29% examined detection of failure, and 13% directly investigated maintenance planning and its time. Usually, the useful life prediction in remaining useful life prediction studies reviewed was made to prevent unnecessary maintenance and to avoid costly losses. As an example, the approach in [11] emphasizes that it is necessary to analyze the history of a system to estimate RUL and calculates the remaining useful lifetime using historical data. The prognostic approach applied in references [12-15] has been made to plan maintenance requirements or time. A new cost-oriented predictive maintenance (CDPM) policy, which provides aircraft safety while minimizing maintenance costs, has been proposed with the prognostic method proposed in [16]. Nowadays, instant detection of failure and instant arrangements to be made without stopping the operation of the system have become important. In these requirements, it has shown up real-time and online failure detection applications. In [17], it is aimed to develop a real-time/online distortion detection application by using machine learning. Moreover, 7% studied condition-based monitoring, whereas %4 focused on modeling the degradation process. In [18-21] references, modeling, and analysis of degradation processes are prioritized. Meanwhile, 3% of works aimed to improve RUL accuracy, also %3 prognostics and health management system creation, %2 focused on feature selection modeling. For instance, [22] uses an adaptive-grade particle filter (AOPF) prognostic process to improve the long-term predictive accuracy of RUL with hybrid methods. [23] provides a hybrid feature selection scheme that provides useful and automated guidance in selecting the most representative features for machine health assessment without human intervention. In [2] proposed methodology includes procedures for identifying critical components, as well as tools for selecting the most appropriate algorithms for specific applications and to show how this methodology can help

in the design of an effective PHM system. Finally, the least studied topics with a ratio of 1% are the feature generation for RUL and classification of prognostic methods. Regarding the feature creation for RUL, the process of automatically generating features in accordance with the useful life estimation remaining in [24] has been carried out.

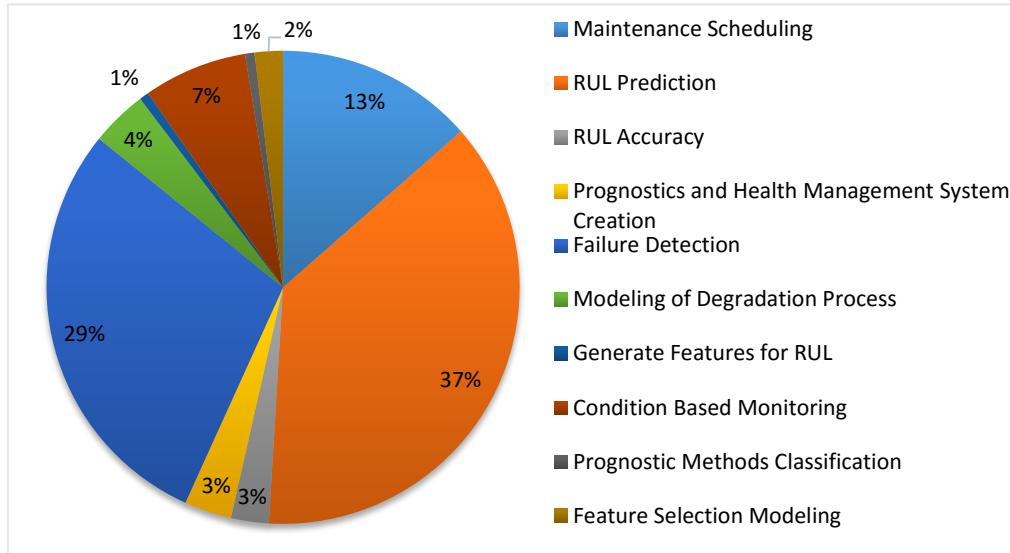


Figure 3. Main motivation of the selected publications

**RQ1.2:** Which intelligent techniques are often applied for predictive maintenance and remaining useful life?

In response to Question 2, Figure 4 shows the intelligent techniques used mostly in the articles we obtain. The algorithms used once or twice have not been included in the graph. Examples for only once or twice preferred algorithms; Probabilistic Neural Network, Multi-branch Hidden semi-Markov Model, Linear Fusion, Extreme Gradient Boosted Regression Tree, Deep belief network, Conditional Inference Tree, Deep Convolutional Neural Network, Deep long Short-Term Memory, Genetic Algorithm. Besides, in 23 of the articles we obtained, no method or explanation was made. For this reason, we could not include these articles in the graph for RQ1.2. When the graphic is examined, it is seen that the algorithm with the highest usage rate is the Support Vector Machine. Among other methods, other Machine Learning algorithms, Artificial Neural Network, Long Short-Term Memory, Decision Tree, Random Forest, Recurrent Neural Network, K-Means, and Bayesian Network algorithms were preferred more frequently than others. In recent years, the trend towards more Deep Learning algorithms has started. Generally, more than one intelligent technique is used in the articles we have examined. Some were used in data set training procedures and some were used to measure method accuracy, and the results were compared with other selected methods. Generally, it has been seen that the Support Vector Machine gives higher accuracy than other methods.

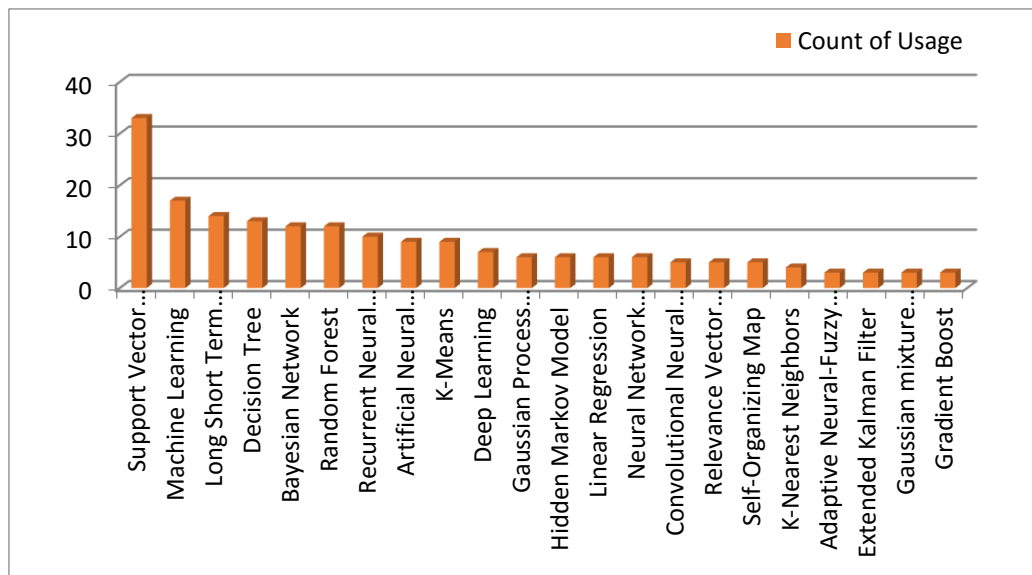


Figure 4. Distribution of the preferred intelligent techniques

**RQ1.3:** Which data set was used? What is the test / training ratio of the dataset used?

A general infographic about all datasets used in the articles we obtained in Figure 5 was created. As seen in the pie chart, the data used in the studies are generally collected from the machines in the working environments via sensors. Then, it is seen that the datasets that are taken from public data repositories at the rates of 9%, 6%, and 4% are preferred. These are the Turbofan Engine Degradation Simulation Dataset, Bearing Dataset of NASA Prognostics Data Repository, and PRONOSTIA System. Turbofan Engine Degradation Simulation Dataset has been preferred more than others. It is shown that on the graph 10% different data sets are used in the studies. Datasets such as Milling Data Set of NASA Prognostics Data Repository, Wind Turbine Dataset of Suzlon, Condition Monitoring of Hydraulic System Data, Battery Dataset of NASA Prognostics Data Repository and Aircraft Engine Simulation Dataset entered 10% slice. Another slice of 6% states that data sets produced by simulation are used. Because in some articles, if the desired working environment or arrangement cannot be provided, the data are produced in this way in a simulated environment and the studies continue. The least preferred data set was the integration of data from past studies into new articles. Generally, in the articles obtained, datasets are randomly divided into 70-80% training data and 20-30% test data. But this is completely related to your study. There is no rule about separating datasets. In some studies, other datasets are used for testing instead of dividing the dataset into training and testing parts.

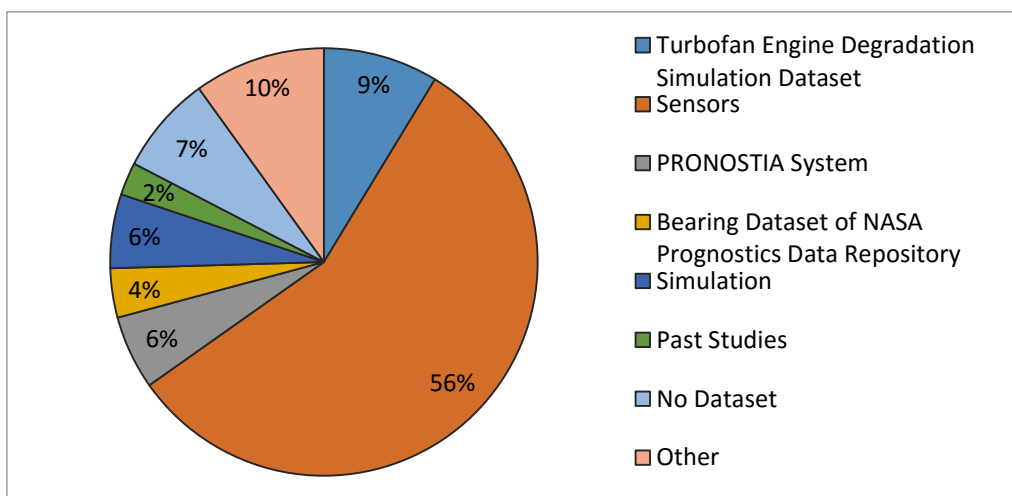
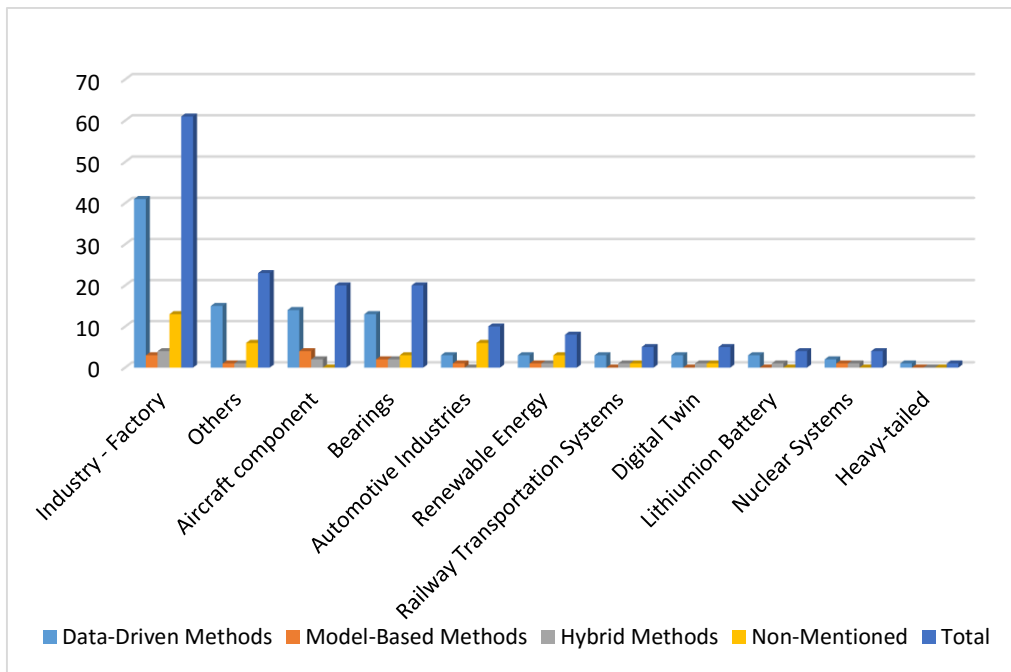


Figure 5. Distribution of the preferred dataset

**RQ1.4:** Which estimation method is used for predictive maintenance?

There are 3 methods for predictive maintenance to be applied to your problem. These are called data-driven methods, model-based methods, and hybrid methods. To summarize; if you have historical data of the problem and if you are going to perform predictive maintenance using this data, this will be the data-driven method, and if you have personal experience and knowledge, this will be the model-based method and finally, in the hybrid method, other two methods will be applied together. In Figure 6, information is given on which predictive maintenance method is used more frequently in which areas. When the graphic is examined, we see that the predictive maintenance method is most preferred in the industry-factory area. Also, the other most frequently used areas are aircraft components and bearings. The least preferred area is the heavy-tailed area. The articles we obtained are shown in the 'Others' section on the chart, which also includes different usage areas. It has been determined that there are 21 different usage areas in our studies. Examples of these areas of use are turbine blades, hydraulic systems, software reliability, power transformers, transportation systems, and medical devices.



**Figure 6.** Distribution of the predictive maintenance methods applied to the preferred areas

**RQ1.5:** How is feature extraction applied when performing predictive maintenance?

Figure 7 shows the pie chart of whether feature extraction or feature selection operations have been made according to the information from the studies. While 56% of the articles are applied the feature extraction step, 44% did not implement the feature extraction step or did not mention it in the article. In the 56% section that applies the feature extraction step, the extracted features, as in references from [25] to [32]; mean, skewness, kurtosis, peak, standard deviation, root mean square, minimum, maximum, etc. In some studies, more than one feature has been extracted according to the time-domain, frequency-domain, and time-frequency domain. For instance, in [33], 13-time domain features, 16 time-frequency domain features, and features based on trigonometric functions are extracted. In [34], a total of 28 features; 11 time-domain features, 9 frequency-domain features, and 8 time-frequency domain features, have been extracted. Moreover [35] and [36] Auto Encoder based, [2] Fast Fourier Transform (FFT) and [37] and [38] K-means based feature extraction method is used.

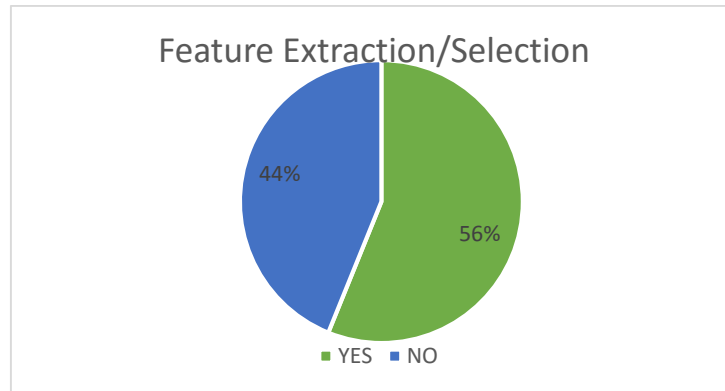


Figure 7. Feature extraction/selection of the selected publications

**RQ1.6:** *In which venues have the works been published?*

In response to RQ1.6, the publication types and publication frequency of the articles we have collected for our SMS study are shown in Figure 8. When the graphic is analyzed, we see that only the conference paper was published in 2010 and the only research paper was published in 2011. In this way, predictive maintenance and the remaining useful life have started to join the literature. Then, only conferences and research papers were published between 2012 and 2015. While no journal paper was published until 2016, all types of publications started to be published together in 2016, and it has been continued until today. When the general structure of the graph is analyzed, we see that generally the research studies have been published and the demand for research publications has increased since 2011. If we pay attention to 2019, we see the highest publishing rates in all types of the published papers. Since the conferences were canceled in 2020 due to the pandemic occurring worldwide, there was no conference paper among the articles we obtained until the period we examined.

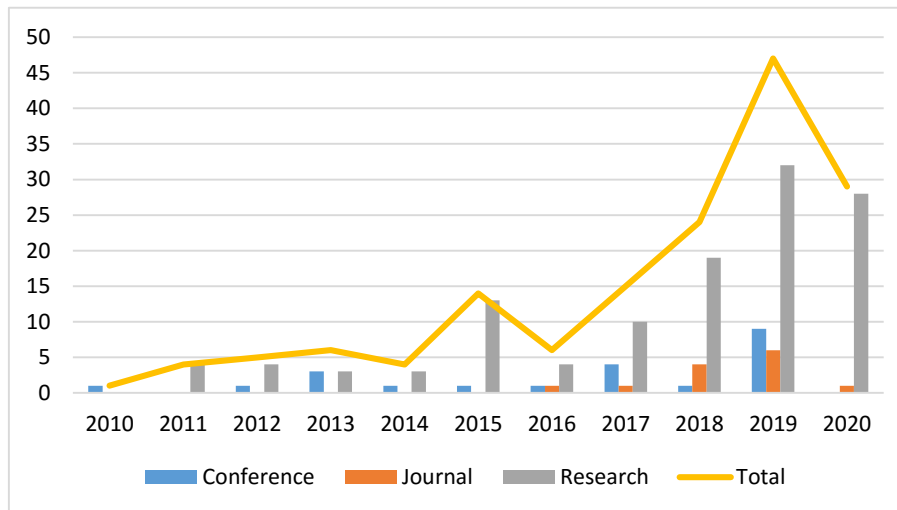


Figure 8. Yearly distribution of the selected publication types

After answering the questions in the first phase, we will answer the questions from RQ2.1 to RQ2.4 that we created in the second phase. You can find the second phase questions and their answers below:

**RQ2.1:** *Which domains are the most preferred to apply predictive maintenance?*

After classifying and examining the studies we have obtained according to the questions we have determined, we have seen that the predictive maintenance activities are preferred more in industrial works and factory environments. The reason for this is that the slightest error or breakdown that will occur in the production environment causes very high-cost losses. For this reason, with Industry 4.0, predictive maintenance activities have become more important in the development of a smart factory environment. In Figure 9, you can examine the graph consisting of the sectors where predictive maintenance is used the most. Also, aircraft component and

bearings are two of the most popular areas which are applied predictive maintenance. When the graphic is analyzed, the field 'Others' stands out. There are many different areas where predictive maintenance is applied and these areas have been considered in the 'Others' category since they are not among the most preferred areas. To give example to the 'Others' category; Hydraulic System, Railway Point Systems, Gas Turbine Exhaust System, Medical Devices and Software Reliability are just a few of them.

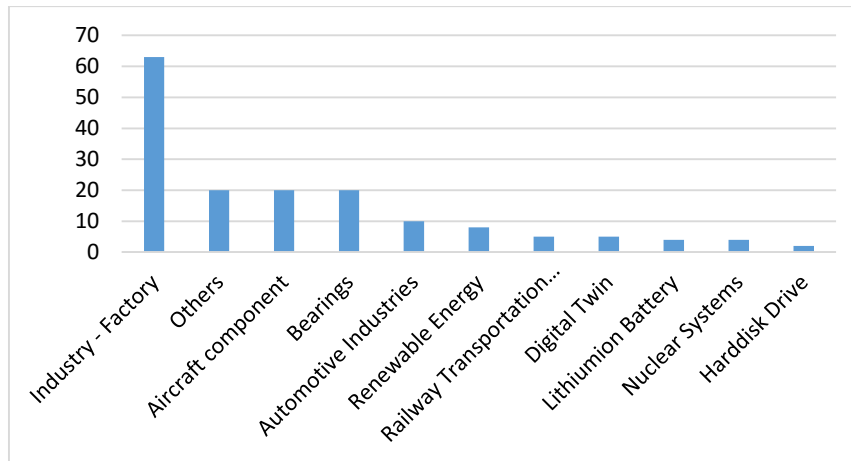


Figure 9. Distribution of the preferred predictive maintenance areas

**RQ2.2:** Which methods have been used to determine the predictive maintenance performance achieved?

In response to question RQ2.2, Figure 10 shows the performance metrics applied to all the studies we have. As can be seen from the bar graph, the most preferred performance measurement method was 'Root Mean Square Error'. The next 'Experimental Study' shows us that the performance measurements of the studies are performed in a simulated or experimental environment. Another preferred method 'Comparison of Intelligent Methods' means measuring the accuracy of the results obtained by comparing them with other methods. As in the studies [17, 34, 39, 40], the results of predictive maintenance are compared with other selected methods or methods. As a result, the most optimum solution is found by comparing methods from given the best results. The area that appears on the graph as 'Other' contains performance metrics such as Model Correlation Coefficient [35], Software Product Quality Metrics (ISO / IEC 9126, 25041, 25051) [41],  $\alpha$ - $\lambda$  Metric [42] and Opinion of a Machining Expert [43]. To evaluate the performance of clustering algorithms, metrics that not sufficiently reliable are used such as homogeneity score, integrity score, V measurement, corrected Rand index, corrected mutual information, silhouette coefficient. In this case, as in [43], the results can be evaluated in the opinion of a machining expert. Another outstanding performance measurement criterion is the 'Compared Actual RUL and Estimated RUL' option. As in [44-46], estimated remaining useful lifetime (RUL) were compared with the real value and the performance was measured.

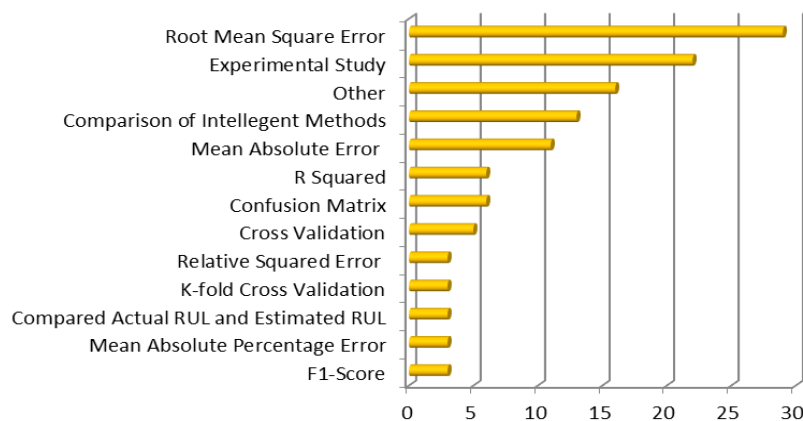
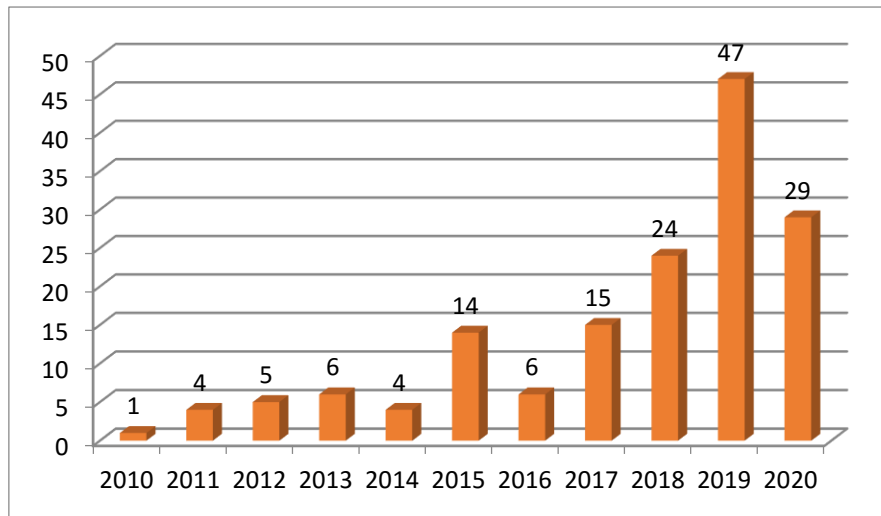


Figure 10. Distribution of the performance metrics

**RQ2.3:** *What is the yearly articles count?*

Figure 11 provides information on the years of publication of the articles we have obtained on predictive maintenance and remaining useful life. As can be seen from the column chart, the predictive maintenance topics more and more became popular between 2010 and 2014, and after 2015, further studies were carried out. Among the studies we have collected, the studies published in 2019 show an increase compared to other years. For this reason, as seen in the graph, 2019 appears to be the year in which most studies were published on predictive maintenance and remaining useful life. Articles we obtained were collected from the period until the middle of 2020, so the published article result could be different for the end of 2020.



**Figure 11.** Distribution of the selected publications per year

We have shown the results graphically by answering all the questions we have created according to the goals we have determined. The answer to all these questions will guide people who will work with predictive maintenance and remaining useful life. The questions we answered responded to a lot of information such as why predictive maintenance is necessary, which areas it is applied to, where datasets are obtained, what techniques are used, and what kind of studies are published in which period.

#### IV. DISCUSSIONS

We evaluated the articles we have collected according to certain criteria according to the questions we have formed in terms of different aspects and functioning of the application areas of predictive maintenance and remaining useful life. By explaining the general results, it has been provided that the results are shown graphically for each question created about the topic discussed in the article. Below, the main results of the systematic mapping study questions we discussed are briefly mentioned.

According to our research results, the most common purpose of using predictive maintenance is the remaining useful life estimation with a ratio of 37%. Next is the detection of the failure with 29% and maintenance planning with 13%. These three methods, whose rates are given in any production area, will prevent time losses by providing financial gain. The most common algorithm used in predictive maintenance is the Support Vector Machine algorithm. Machine Learning algorithms, Long Short-Term Memory, Decision Tree, Random Forest, Recurrent Neural Network, K-Means, and Bayesian Network algorithms come after the Support Vector Machine. Besides, the use of Deep Learning techniques has increased in recent years. Generally, more than one algorithm is used at the same time in the articles we have discussed. Some are used to get results; others are used to evaluate the result and provide a comparison. 56% of the data to be used in the methods discussed are collected through the sensor from the application area. The data and amount of data have varied for each problem. Other data acquisition methods are to take data from public data repositories. If we look at the areas where predictive maintenance is mostly applied; we can see that there are industry and factory environments or aircraft components. Generally, the data-driven method is preferred because the data are taken from the sensors in the application area. To make our



results smoother and more useful, operations, such as extracting the features in the data and selecting the features are performed. In the articles, we collect 56% feature extraction and selection steps have been applied.

If we explain the progress of the studies on predictive maintenance and remaining useful life until today; with the publication of all kinds of studies such as conference, research, and journal after 2016, the topics of predictive maintenance and remaining useful life continued to be included in literature with each type of studies. After 2016, we see that the rate of publishing research articles has increased every year and in 2019, the most research articles were published compared to all years.

The SMS study's findings may have been affected by the determined search criteria and keywords, the selected databases, the period (years) chosen, and the terms preferred. The potential threats to the validity of our SMS have been discussed below and it explained how we take precaution for threats:

*Internal validity:* Internal validity supports that the results of a causal study should be reliable. To collect the articles used in our SMS study, a search was made according to the queries determined in various databases. Afterward, exclusion criteria were applied as mentioned in the Article Selection section, and the studies that remained outside the subject were removed. All the goals of our SMS study and all questions created to achieve the determined goals are directly related and all of them are designed properly to apply the topic of predictive maintenance and remaining useful life.

*External Validity:* External validity supports the generalizability of a study's findings. SMS research findings shed light not only on predictive maintenance and remaining useful life but also on artificial intelligence methods and areas of use. On the other hand, there may be a potential use of an artificial intelligence method that has not been used in the field of predictive maintenance yet, but it is not mentioned in the SMS study because it has not been published yet.

*Conclusion Validity:* By visually presenting the findings of the questions determined for the targeted aims is significant for our SMS study. By visually arranging all the results obtained in our SMS study, subjective interpretation of the collected results was prevented and the follow-up of the results by the researchers was made easier. The findings obtained for each target and each question created for the targeted objectives were supported by using various graphics or figures.

## V. CONCLUSIONS

In this research, we have conducted an SMS study surveying the publications of 2010 and 2020. Studies are obtained about predictive maintenance and remaining useful life. Predictive maintenance activities started to enter our lives with Industry 4.0 to provide smart factory environments. However, maintenance is costly and maintenance times are difficult to set up. Failure of any equipment can cause the system to stop or other parts to malfunction. Continuous unnecessary maintenance and problems that cause the system to breakdown cause cost losses. With predictive maintenance, enterprises can take the information about which equipment will fail and the remaining useful lifetime and they will arrange maintenance planning, equipment replacement. Therefore, the importance of predictive maintenance in businesses is increasing day by day. By using electronic databases, such as IEEE Xplore, Science Direct, and Google Scholar, 199 studies were obtained that meet the criteria we want. Then the exclusion and inclusion criteria we determined were applied to the studies obtained and evaluated. A total of 155 studies were found to be interrelated and they are included in the SMS study. According to our results, the purpose of lots of the studies is related to the remaining useful lifetime prediction. While the general target is the calculation of the remaining useful lifetime, the second purpose is determined as failure detection. Also, the general goal of these studies is the remaining useful life estimation after failure detection. When the studies were examined, it was seen that the studies on predictive maintenance and the remaining useful life have provided functionality and financial gain to the environments in which they are applied.

According to our research results, predictive maintenance studies increase after 2016. Generally, the dataset used is obtained from the sensors. Whichever machine learning is being applied to predictive maintenance, healthier results can be obtained by collecting data from that machine or equipment. If there is no environment to collect data, studies can be continued by applying the intelligence techniques by obtaining data from public data repositories. In the studies we collected, predictive maintenance applications were mostly applied to industrial and factory environments. Considering the results of the studies, most of them preferred the Support Vector Machine algorithm and used Root Mean Square Error for performance evaluation. In future studies, predictive maintenance studies can be used to obtain information about the general condition of the system, not just equipment, and the overall maintenance schedule can be adjusted automatically.

## REFERENCES

- [1] Lei, Y., Li, N., Gontarz, S., Lin, J., Radkowski, S. & Dybala, J. (2016). A model-based method for remaining useful life prediction of machinery. *IEEE Transactions on reliability*, 65(3), 1314-1326.
- [2] Lee, J., Wu, F., Zhao, W., Ghaffari, M., Liao, L. & Siegel, D. (2014). Prognostics and health management design for rotary machinery systems—Reviews, methodology and applications. *Mechanical systems and signal processing*, 42(1-2), 314-334.
- [3] EN13306, “Maintenance terminology,” Br. Stand. Inst., no. CEN (European Committee for Standardization), 58, 2010. (CEN (2001) EN 13306 Maintenance Terminology. Brussels: CEN)
- [4] Wang, H., Ye, X. & Yin, M. (2016). Study on predictive maintenance strategy. *International. Journal of Science and Technology*, 9(4), 295-300.
- [5] Liao, L. & Köttig, F. (2014). Review of hybrid prognostics approaches for remaining useful life prediction of engineered systems, and an application to battery life prediction. *IEEE Transactions on Reliability*, 63(1), 191-207.
- [6] Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G. & Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. *Journal of Educational Technology & Society*, 18(3).
- [7] Keele, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. (Vol. 5). Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE.
- [8] Budgen, D. & Brereton, P. (2006). Performing systematic literature reviews in software engineering. In *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*, 1051-1052
- [9] Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S. & Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. In *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 12, 1-10.
- [10] Pautasso, M. (2013). Ten simple rules for writing a literature review. *PLoSComput Biol*, 9(7).
- [11] Bruneo, D. & De Vita, F. (2019). On the use of LSTM networks for Predictive Maintenance in Smart Industries. In *2019 IEEE International Conference on Smart Computing*, 241-248.
- [12] Schenkendorf, R., Groos, J. C. & Johannes, L. (2015). Strengthening the rail mode of transport by condition based preventive maintenance. *IFAC-PapersOnLine*, 48(21), 964-969.
- [13] Said, A. B., Shahzad, M. K., Zamaï, É., Hubac, S. & Tollenaere, M. (2016). Towards proactive maintenance actions scheduling in the Semiconductor Industry (SI) using Bayesian approach. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 544-549.
- [14] Bousdekis, A., Papageorgiou, N., Magoutas, B., Apostolou, D. & Mentzas, G. (2017). A proactive event-driven decision model for joint equipment predictive maintenance and spare parts inventory optimization. *Procedia Cirp*, 59, 184-189.
- [15] Mathew, V., Toby, T., Singh, V., Rao, B. M. & Kumar, M. G. (2017, December). Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of turbofan engine using machine learning. In *2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*, 306-311.
- [16] Yiwei, W., Christian, G., Binaud, N., Christian, Haftka, R. T. & Kim, N. H. (2017). A cost driven predictive maintenance policy for structural airframe maintenance. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(3), 1242-1257.
- [17] Li, X., Er, M. J., Ge, H., Gan, O. P., Huang, S., Zhai, L. Y., ... & Torabi, A. J. (2012). Adaptive network fuzzy inference system and support vector machine learning for tool wear estimation in high speed milling processes. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2821-2826.
- [18] Xia, L., Fang, H. & Zhang, H. (2013). HMM based modeling and health condition assessment for degradation process. In *2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2945-2948
- [19] Blancke, O., Tahan, A., Komljenovic, D., Amyot, N., Lévesque, M. & Hudon, C. (2018). A holistic multi-failure mode prognosis approach for complex equipment. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 136-151.
- [20] Quatrini, E., Costantino, F., Poggi, C. & Tronci, M. (2020). Predictive model for the degradation state of a hydraulic system with dimensionality reduction. *Procedia Manufacturing*, 42, 516-523.
- [21] Chen, F., Yang, Y., Tang, B., Chen, B., Xiao, W. & Zhong, X. (2020). Performance degradation prediction of mechanical equipment based on optimized multi-kernel relevant vector machine and fuzzy information granulation. *Measurement*, 151, 107116.

- [22] Tongyang, L. I., Shaoping, W. A. N. G., Jian, S. H. I. & Zhonghai, M. A. (2018). An adaptive-order particle filter for remaining useful life prediction of aviation piston pumps. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(5), 941-948.
- [23] Yu, J. (2011). A hybrid feature selection scheme and self-organizing map model for machine health assessment. *Applied Soft Computing*, 11(5), 4041-4054.
- [24] Liao, L., Jin, W. & Pavel, R. (2016). Enhanced restricted Boltzmann machine with prognosability regularization for prognostics and health assessment. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(11), 7076-7083.
- [25] Susto, G. A., Wan, J., Pampuri, S., Zanon, M., Johnston, A. B., O'Hara, P. G. & McLoone, S. (2014, August). An adaptive machine learning decision system for flexible predictive maintenance. In 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (pp. 806-811). IEEE.
- [26] Melendez, I., Doelling, R. & Bringmann, O. (2019, December). Self-supervised Multi-stage Estimation of Remaining Useful Life for Electric Drive Units. In 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 4402-4411). IEEE.
- [27] Benkedjouh, T., Medjaher, K., Zerhouni, N. & Rechak, S. (2013). Remaining useful life estimation based on nonlinear feature reduction and support vector regression. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(7), 1751-1760.
- [28] Bagheri, B., Yang, S., Kao, H. A. & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622-1627.
- [29] Aye, S. A. & Heyns, P. S. (2017). An integrated Gaussian process regression for prediction of remaining useful life of slow speed bearings based on acoustic emission. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 84, 485-498.
- [30] Kraus, M. & Feuerriegel, S. (2019). Forecasting remaining useful life: Interpretable deep learning approach via variational Bayesian inferences. *Decision Support Systems*, 125, 113100.
- [31] Calabrese, F., Regattieri, A., Botti, L. & Galizia, F. G. (2019). Prognostic Health Management of Production Systems. New Proposed Approach and Experimental Evidences. *Procedia Manufacturing*, 39, 260-269.
- [32] Heng, W., Guangxian, N., Jinhai, C. & Jiangming, Q. (2020). Research on rolling bearing state health monitoring and life prediction based on PCA and Internet of things with multi-sensor. *Measurement*, 107657.
- [33] Zhu, J., Chen, N. & Shen, C. (2020). A new data-driven transferable remaining useful life prediction approach for bearing under different working conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 139, 106602.
- [34] Wu, H., Huang, A. & Sutherland, J. W. (2020). Avoiding Environmental Consequences of Equipment Failure via an LSTM-Based Model for Predictive Maintenance. *Procedia Manufacturing*, 43, 666-673.
- [35] Chen, C., Liu, Y., Wang, S., Sun, X., Di Cairano-Gilfedder, C., Titmus, S. & Syntetos, A. A. (2020). Predictive maintenance using cox proportional hazard deep learning. *Advanced Engineering Informatics*, 44, 101054.
- [36] Cui, L., Jianzhong, S., He, L., Shiyong, L. & Xinhua, H. (2020). Complex Engineered System Health Indexes Extraction Using Low Frequency Raw Time-Series Data Based on Deep Learning Methods. *Measurement*, 107890.
- [37] Li, Z., Wu, D., Hu, C. & Terpenney, J. (2019). An ensemble learning-based prognostic approach with degradation-dependent weights for remaining useful life prediction. *Reliability Engineering & System Safety*, 184, 110-122.
- [38] Zhang, C., Wang, C., Lu, N. & Jiang, B. (2019). An RBMs-BN method to RUL prediction of traction converter of CRH2 trains. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 46-56.
- [39] Utah, M. N. & Jung, J. C. (2020). Fault state detection and remaining useful life prediction in AC powered solenoid operated valves based on traditional machine learning and deep neural networks. *Nuclear Engineering and Technology*.
- [40] Sadoughi, M., Lu, H. & Hu, C. (2019, June). A Deep Learning Approach for Failure Prognostics of Rolling Element Bearings. In 2019 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM) (pp. 1-7). IEEE.
- [41] Hwang, H. J., Lee, J. H., Hwang, J. S. & Jun, H. B. (2018). A study of the development of a condition-based maintenance system for an LNG FPSO. *Ocean Engineering*, 164, 604-615.

- [42] Ahmad, W., Khan, S. A. & Kim, J. M. (2017). A hybrid prognostics technique for rolling element bearings using adaptive predictive models. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(2), 1577-1584.
- [43] Diaz-Rozo, J., Bielza, C. & Larranaga, P. (2017). Machine learning-based CPS for clustering high throughput machining cycle conditions. *Procedia Manuf.* 10, 997-1008.
- [44] Kim, H. E., Tan, A. C., Mathew, J. & Choi, B. K. (2012). Bearing fault prognosis based on health state probability estimation. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5200-5213.
- [45] Liao, L. & Köttig, F. (2016). A hybrid framework combining data-driven and model-based methods for system remaining useful life prediction. *Applied Soft Computing*, 44, 191-199.
- [46] Luo, W., Hu, T., Ye, Y., Zhang, C. & Wei, Y. (2020). A hybrid predictive maintenance approach for CNC machine tool driven by Digital Twin. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65, 101974.
- [47] Selected papers of SMS study (2021).  
[https://drive.google.com/drive/folders/1-EwSqppnBnCaAEnFOrPV7IHdP\\_1RzcC9?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1-EwSqppnBnCaAEnFOrPV7IHdP_1RzcC9?usp=sharing)